

ISSN 2221-5182

Импакт-фактор РИНЦ: 0,485

# «НАУКА И БИЗНЕС: ПУТИ РАЗВИТИЯ»

научно-практический журнал

№ 11(173) 2025

*Главный редактор*

**Тарандо Е.Е.**

*Редакционная коллегия:*

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

**В ЭТОМ НОМЕРЕ:**

## **МАШИНОСТРОЕНИЕ:**

– Роботы, мехатроника и  
робототехнические системы

## **ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ:**

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

## **ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ:**

– Управление качеством продукции.  
Стандартизация. Организация  
производства

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

## **ЭКОНОМИЧЕСКИЕ НАУКИ:**

– Региональная и отраслевая 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 – Московкой 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@imb.ru.

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

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

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

**Джаманбалин 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

- Зайцева И.В., Никулина О.Н., Карнадуд О.С.** Теоретико-игровая модель исследования оптимального роста экономики..... 8
- Кузенко С.Е., Лотарев П.А.** Методы построения цифровых двойников в работе промышленных предприятий ..... 12

#### Информационная безопасность

- Аменицкий А.В., Воробьев Е.Г.** Методологические проблемы внедрения агентных систем искусственного интеллекта (ИИ) в критически важные бизнес-процессы..... 16

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

- Абрамов И.Л., Тихонов А.А., Голицын В.С., Сидоренко Д.А.** BIM как инструмент повышения прозрачности и точности строительных процессов ..... 21
- Горячкина А.Ю., Корягина О.М., Суркова Н.Г.** Электронная модель изделия ..... 24
- Чупин С.А., Исаев А.И., Левашов Д.С.** Генеративный дизайн и топологическая оптимизация в ТЭК: цифровые технологии нового поколения для устойчивого проектирования оборудования ..... 33
- Чупин С.А., Исаев А.И., Левашов Д.С., Натчук М.В.** Разработка цифровой модели симуляционного комплекса в Unreal Engine для повышения устойчивости добывающих производств ..... 43
- Швецова В.В., Леонова О.Н.** Потенциал традиционных графических дисциплин (начертальной геометрии и инженерной графики) в контексте цифровизации проектных решений ..... 50

### МАШИНОСТРОЕНИЕ

#### Роботы, мехатроника и робототехнические системы

- Решетов Д.В., Дьяченко В.А.** Верификация математической модели мехатронного ударного стенда ..... 55
- Филатов Н.С., Бахшиев А.В.** Составление оптимальных последовательностей токенов и их позиционных признаков для трехмерного обнаружения объектов ..... 61

### ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

#### Управление качеством продукции. Стандартизация. Организация производства

- Бром А.Е.** Современные подходы к контролю качества в автомобильной промышленности: методы, стандарты и тенденции развития ..... 69

<b>Жданов Э.Р., Яфизова Р.А., Харина О.С., Крюков А.В.</b> Перспективы совершенствования системы управления качеством наукоемкой продукции .....	76
<b>Магомедов М.Н.</b> Искусственный интеллект как средство повышения эффективности управления бизнес-процессами компании.....	80
<b>Прыткова Е.А., Давыдов В.М.</b> Развитие цифровых инструментов управления качеством в условиях реинжиниринга технологических процессов машиностроительного производства .....	85
<b>Светалкина М.А., Крамор Д.Д.</b> Анализ деятельности поставщиков АО «ППО «ЭВТ им. В.А. Ревунова» .....	92
<b>Смирнов А.В., Бром А.Е.</b> Исследование проблемы неявных дефектов на основе нечеткой логики .....	97
<b>Чабаненко А.В., Савин Д.Ф., Рассыхаева М.Д.</b> Модель зрелости САРА и ее влияние на производственную результативность в рамках QMS предприятия в условиях Индустрии 4.0 .....	101
<b>Shalomova E.V., Antipkin I.S.</b> Total Quality Management as a Strategic Tool to Improve the Competitiveness of the Russian Insurance Sector .....	108
<b>Шматова П.А., Акристиний В.А.</b> Методы и особенности проведения судебно-экспертных исследований строительных объектов, подвергшихся воздействию сейсмозрывных и ударных воздушных волн .....	111

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

<b>Левина Т.М., Вахитова Л.Р., Галкина В.В.</b> Оптоволоконные устройства как элементы современных геофизических комплексов и систем.....	116
---	-----

**ЭКОНОМИЧЕСКИЕ НАУКИ**

**Региональная и отраслевая экономика**

<b>Колосовский Н.О., Леонтьев Д.Н.</b> Цифровая трансформация механизмов государственно-частного партнерства в транспортной инфраструктуре Санкт-Петербурга .....	123
<b>Сараев А.А.</b> Многофакторный анализ для решения задачи управления каналами продвижения промышленной продукции.....	127
<b>Сафонова Н.А., Горлачева Е.Н.</b> Интеграция цифрового ассистента в систему управления знаниями .....	134

**Менеджмент**

<b>Демидов А.В., Шиков П.А., Шиков Ю.А.</b> Проблемы управления цифровой трансформацией предприятий легкой промышленности .....	143
---	-----

## Contents

### INFORMATION TECHNOLOGY

#### Mathematical Modeling and Numerical Methods

- Zaitseva I.V., Nikulina O.N., Karnadud O.S.** A Game-Theoretic Model for Studying Optimal Economic Growth..... 8
- Kuzenko S.E., Lotarev P.A.** Methods of Building Digital Twins at Industrial Enterprises ..... 12

#### Information Security

- Amenitsky A.V., Vorobiev E.G.** Methodological Problems of Implementing Agent-Based Artificial Intelligence (AI) Systems in Mission-Critical Business Processes ..... 16

#### Engineering Geometry and Computer Graphics. Digital Product Lifecycle Support

- Abramov I.L., Tikhonov A.A., Golitsyn V.S., Sidorenko D.A.** BIM as a Tool for Enhancing Transparency and Accuracy of Construction Processes..... 21
- Goryachkina A.Yu., Koryagina O.M., Surkova N.G.** Electronic Product Model..... 24
- Chupin S.A., Isaev A.I., Levashov D.S.** Generative Design and Topology Optimization in the Fuel and Energy Complex: Next-Generation Digital Technologies for Sustainable Equipment Design..... 33
- Chupin S.A., Isaev A.I., Levashov D.S., Natchuk M.V.** Developing a Digital Model of a Simulation Complex in Unreal Engine to Improve the Sustainability of Mining Operations ..... 43
- Shvetsova V.V., Leonova O.N.** Potential of Traditional Graphic Disciplines (Demographic Geometry and Engineering Graphics) in the Context of Digitalization of Design Solutions ..... 50

### MECHANICAL ENGINEERING

#### Robots, Mechatronics and Robotic Systems

- Reshetov D.V., Dyachenko V.A.** Verification of Mathematical Model of Mechatronic Shock Machine ..... 55
- Filatov N.S., Bakhshiev A.V.** Compiling Optimal Token Sequences and Their Positional Features for 3D Object Detection ..... 61

### TECHNICAL SCIENCES

#### Product Quality Management. Standardization. Organization of Production

- Brom A.E.** Modern Approaches to Quality Control in the Automotive Industry: Methods, Standards, and Development Trends..... 69
- Zhdanov E.R., Yafizova R.A., Kharina O.S., Kryukov A.V.** Prospects For Improving the Quality

Management System of High-Tech Products.....	76
<b>Magomedov M.N.</b> Artificial Intelligence as a Means of Improving the Efficiency of a Company's Business Process Management.....	80
<b>Prytkova E.A., Davydov V.M.</b> Development of Digital Quality Management Tools in the Context of Reengineering of Technological Processes of Mechanical Engineering Production .....	85
<b>Svetalkina M.A., Kramor D.D.</b> The Analysis of Suppliers' Activities of JSC "PPO "EVT named after V.A. Revunov" .....	92
<b>Smirnov A.V., Brom A.E.</b> A Fuzzy Logic-Based Study of Latent Defects.....	97
<b>Chabanenko A.V., Savin D.F., Rassykhaeva M.D.</b> CAPA Maturity Model and Its Impact on Production Performance within the Enterprise QMS in the Context of Industry 4.0.....	101
<b>Shalomova E.V., Antipkin I.S.</b> Total Quality Management as a Strategic Tool to Improve the Competitiveness of the Russian Insurance Sector .....	108
<b>Shmatova P.A., Akristiny V.A.</b> Methods and Features of Conducting Forensic Investigations of Construction Sites Exposed to Seismic, Explosive and Shock Air Waves.....	111

**Methods and Instruments for Monitoring and Diagnosing Materials, Products, Substances and the Natural Environment**

<b>Levina T.M., Vakhitova L.R., Galkina V.V.</b> Fiber-Optic Devices as Elements of Modern Geophysical Complexes and Systems.....	116
---	-----

**ECONOMIC SCIENCES**

**Regional and Sectoral Economy**

<b>Kolosovsky N.O., Leontiev D.N.</b> Digital Transformation of Public-Private Partnership Mechanisms in the Transport Infrastructure of St. Petersburg.....	123
<b>Saraev A.A.</b> Multifactorial Analysis for Managing Marketing Channels of Industrial Products .....	127
<b>Safonova N.A., Gorlacheva E.N.</b> Integration of the Digital Assistant into the Knowledge Management System .....	134

**Management**

<b>Demidov A.V., Shikov P.A., Shikov Yu.A.</b> Managing Digital Transformation of Light Industry Enterprises .....	143
--	-----

УДК 51.77

*И.В. ЗАЙЦЕВА, О.Н. НИКУЛИНА, О.С. КАРНАДУД**ФГБОУ ВО «Российский государственный гидрометеорологический университет», г. Санкт-Петербург;**ГАОУ ВО «Невинномысский государственный гуманитарно-технический институт», г. Невинномысск;**ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный институт культуры», г. Кемерово*

## ТЕОРЕТИКО-ИГРОВАЯ МОДЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЯ ОПТИМАЛЬНОГО РОСТА ЭКОНОМИКИ

*Ключевые слова:* исследование; математическая модель; оптимизация; теория игр; экономика.

*Аннотация.* В работе рассматривается теоретико-игровая модель исследования оптимального роста экономики. Целью работы является решение задачи исследования оптимального роста экономики с помощью методов экономико-математического моделирования. Задачи работы: разработать математическую модель исследования оптимального роста экономики, выделить основных игроков модели, определить числовые теоретико-игровой модели для исследования оптимального роста экономики. Гипотезой исследования является возможность изучения оптимального роста экономики с помощью определения основных участников как игроков. Представленный в статье подход позволяет решать задачу для однопродуктовой экономики, но может быть расширен и на несколько продуктов. Для оптимального решения исходной математической задачи используется теория игр. Приведен и проанализирован численный пример разработанного алгоритма.

В разные периоды практически все предприятия сталкиваются с явлением экономического кризиса. Воздействие на экономическую ситуацию оказывают различные факторы. В современной экономике анализ и моделирование процессов и систем играют важную роль. Разработка модели на основе полученных данных, моделирование и интерпретация результатов позволят избежать многих проблем и определить оптимальное направление развития. Для

различных экономических систем существуют различные принципы оптимальности. Если рассматриваемая система состоит из двух активных подсистем, то есть имеет всего двух агентов, находящихся в антагонизме, что формально означает равенство по абсолютной величине их функций полезности и противоположность их по знаку. При указанных условиях система развивается вдоль траектории, на которой реализуется равновесие – от использованных игроками стратегий ни одному не выгодно отклоняться – иначе он потерпит ущерб. Иными словами, на этой траектории достигается величина гарантированной полезности первой подсистемы (или игрока) при любых способах действия второго игрока. Способ действия, или иначе, стратегия игрока в динамическом процессе перехода (развития) социально-экономической системы есть важный элемент, характеризующий этот процесс. Она представляет собой правило, по которому игрок сопоставляет по имеющейся у него текущей информации о состоянии процесса развития некоторое значение управляющего параметра, которым он имеет право распоряжаться. В результате применения игроками их стратегий реализуется единственная траектория процесса. В экономических моделях экономические агенты, как правило, тесно между собой связаны. Ситуация может быть все-таки исправлена введением дискриминированности одного из игроков. В общем случае, когда число подсистем (игроков), оказывающих влияние на развитие системы больше или равно двум, и они, действуя независимо друг от друга, стремятся максимизировать каждый свою собственную функцию полезности, то реализуется та траектория, которая соответствует набору стратегий,

составляющих равновесие Курно. Допущение о том, что при некоторых условиях социально-экономическая система на этапах стабильного развития изменяется вдоль траектории, соответствующей набору равновесных стратегий, можно рассматривать как аналог вариационных принципов механики для случая многокритериальных управляемых систем.

Рассмотрим неформальное описание модели роста экономики в форме позиционной игры с полной информацией. Определим участников игры: «бизнесмен», «инспектор», «население» и детализируем их поведение. Начинает игру игрок «бизнесмен», находясь в начальном информационном множестве  $U_1^1 = \{q_1\}$ , имеет три альтернативы выбора. Выбор альтернативы равносителен разделению  $P$ -дохода от выпуска продукции на легальный и теневой:  $P = P_1 + P_2$ , где  $P$  – доход от выпуска продукции,  $P_1$  – легальный доход,  $P_2$  – сокрытый или «теневой» доход. Для определенности предположим, что доля  $P_2$  в общем объеме  $P$  не может превышать 50 %. Выбор  $P_1$  осуществляется из трех альтернатив  $\{100\%; 75\%; 50\%\}$  от  $P$ . Доход, объявленный игроком «бизнесмен» легальным, является базой для налогообложения. Игрок «инспектор», который реализует свой ход вслед за игроком «бизнесмен», находится в информационном множестве  $v_2^1 = \{q_2, q_3, q_4\}$ . Данный участник, зная выбор предыдущего игрока, облагает  $P_1$  налогом  $v : v = \alpha P$ , где  $v$  – налог,  $\alpha$  – доля легального дохода, взимаемая инспектором в качестве налога, ставка налога выбирается игроком «инспектор» из трех возможных вариантов  $\{10\%; 20\%; 30\%\}$  от  $P_1$ . Игрок «инспектор», помимо ставки налогообложения, определяет процент от дохода, полученного от взимания налога, который он собирается направить на реализацию социальных программ для игрока «население»  $\mu = \{0\%; 10\%; 20\%\}$ . Исходя из фактически складывающейся обстановки, игрок «население» выбирает коэффициент своего демографического роста  $\eta$ , где  $\eta$  напрямую зависит от инвестиций, направленных на социальные программы:  $\eta = \{\eta_1, \eta_2, \eta_3\}$ , где выбор  $\eta_1$  приводит к сокращению численности населения; выбор  $\eta_2$  – численность населения остается неизменной; выбор  $\eta_3$  приводит к росту численности населения.

Рассмотрим формальное описание модели. В рассматриваемой модели конечное число игроков  $I = \{1, 2, 3\}$  последовательно друг за

другом, учитывая предысторию игры, реализуют доступный им набор альтернатив. Пусть «бизнесмен» – игрок I, «инспектор» – игрок II, «население» – игрок III. Первый ход состоит в выборе альтернативы в начальной позиции  $q_1$ . Правом первого хода обладает игрок I, у которого имеется набор трех альтернатив  $\{q_2, q_3, q_4\}$ , выбор из которых равносителен разделению дохода  $P$  на легальный и теневой, определяется по формуле  $P = P_1 + P_2$ . Игрок I находится в информационном множестве  $v_1$ . Вслед за игроком I свой ход осуществляет игрок II, он находится при этом в информационном множестве  $v_2$  и у него имеется набор девяти альтернатив  $\{q_5, q_6, q_7, q_8, q_9, q_{10}, q_{11}, q_{12}, q_{13}\}$ . Выбор из этих альтернатив равносителен выбору ставки налога из трех возможных вариантов  $v = \alpha P_1$ , где  $v$  – налог,  $\alpha$  – доля легального дохода, взимаемая инспектором в качестве налога, и выбору процента от дохода, полученного от взимания налога, который он собирается направить на социальные программы для игрока III.

Третий ход совершает игрок III, находясь в информационном множестве  $v_3$  и выбирает одну из трех альтернатив  $\{q_{14}, q_{15}, q_{16}\}$ , а для данной модели это равносително выбору коэффициента демографического роста  $\eta = \{\eta_1, \eta_2, \eta_3\}$ , где выбор  $\eta_1$  приводит к сокращению численности населения; выбор  $\eta_2$  – численность населения остается неизменной; выбор  $\eta_3$  приводит к росту численности населения.

На последнем шаге каждый агент, который является участником игры, оценивает ее исход значением функции полезности. Функции полезности игроков определим следующим образом:

$$U_{\text{инспектора}} = 1/4 U_{\text{населения}} + 3/4 U_{\text{бизнесмена}}, \quad U_{\text{бизнесмена}} = U(P),$$

$$\text{где } U(P) = K_{\text{бизнесмена}} \ln(1 + P), \quad K_{\text{бизнесмена}} = 0,8;$$

$$U_{\text{населения}} = U(D),$$

$$\text{где } U(D) = K_{\text{населения}} \ln(1 + D), \quad K_{\text{населения}} = 1,3.$$

Представлен алгоритм нахождения ситуации равновесия в полученной позиционной игре, который можно реализовать с помощью генератора случайных чисел в любом пакете прикладных программ, например, с помощью электронных таблиц *Microsoft Excel*.

Рассмотрим численный пример реализации разработанного алгоритма. Введем начальные данные  $P = 1\ 000$  у.е., где, например, 1 у.е. =

Таблица 1. Результаты вычислений значений  $P_1$ ,  $P_2$  и  $\nu$ 

$P_1$	$P_2$	10 % $P_1$	20 % $P_1$	30 % $P_1$	10 % $\nu$	20 % $\nu$	30 % $\nu$
1 000	0	100	200	300	10	40	90
750	250	325	400	475	282,5	330	392,5
500	500	550	600	650	555	620	695

Таблица 2. Результаты вычислений значений функций полезности

$P_1$	$P_2$	10 % $P_1$	20 % $P_1$	30 % $P_1$	10 % $\nu$	20 % $\nu$	30 % $\nu$
5,527004	0	3,692096	4,242644	4,565688	3,117264	4,827644	5,864117
5,297125	4,4203624	4,629518	4,795169	4,932334	7,341376	7,542754	7,767605
4,973285	4,9732849	5,049388	5,118876	5,182808	8,216999	8,36073	8,508955

1 млрд рублей. Игрок «инспектор» осуществляет выбор  $P_1$  из трех альтернатив {100 %; 75 %; 50 %} от  $P$ . Для определенности будем считать, что доля  $P_2$  в общем объеме  $P$  не может превышать 50 %, т.е.  $0\% \leq P_2 \leq 50\%$ . Доход, объявленный игроком «бизнесмен» легальным, является базой для налогообложения. Игрок «инспектор», зная выбор предыдущего игрока, облагает  $P_1$  налогом  $\nu = \alpha P_1$ , где  $\nu$  – налог,  $\alpha$  – доля легального дохода, взимаемая инспектором в качестве налога, ставка налога выбирается игроком «инспектор» из трех возможных вариантов {10 %; 20 %; 30 %} от  $P_1$ .

Результат вычислений в *Microsoft Excel* представим в табл. 1 и 2. В табл. 1 представлены результаты вычислений значений  $P_1$ ,  $P_2$  и  $\nu$ .

В табл. 2 представлены результаты вычислений значений функций полезности.

На основании полученных вычислений с учетом ставки налогообложения можно вычислить коэффициент демографического роста для населения. Игрок «инспектор», помимо ставки налогообложения, определяет процент от дохода, полученного от взимания налога, который

он собирается направить на реализацию социальных программ для игрока «население»,  $\mu = \{0\%; 10\%; 20\%\}$ .

Исходя из фактически складывающейся обстановки, игрок «население» выбирает коэффициент своего демографического роста  $\eta$ , который напрямую зависит от инвестиций, направленных на социальные программы. Вычислим  $\eta = \{13/15, 1, 2/15\}$ , где выбор 13/15 приводит к сокращению численности населения; выбор 1 – численность населения остается неизменной; выбор 1, 2/15 приводит к росту численности населения.

Таким образом, рассмотрена теоретико-игровая модель исследования оптимального роста экономики. Представленный в статье подход позволяет решать задачу для однопродуктовой экономики, но может быть расширен и на несколько продуктов после введения нужного числа игроков. Приведенный и проанализированный численный пример алгоритма с использованием генератора случайных чисел с помощью *Microsoft Excel* показывает возможные варианты выигрыша, которые выбирает игрок.

### Список литературы

1. Зайцева, И.В. Математическое моделирование задачи многоагентного взаимодействия перемещения ресурсов / И.В. Зайцева, С.А. Теммоева, А.С. Шебукова, А.А. Филимонов // Наука и бизнес: пути развития. – 2022. – № 11. – С. 6–10.
2. Зайцева, И.В. Моделирование цикличности развития в системе экономик / И.В. Зайцева,

О.А. Малафеев, А.В. Степкин, М.В. Черноусов, Е.В. Кособлик // *Перспективы науки*. – 2020. – № 10(133). – С. 173–176.

3. Зайцева, И.В. Управление динамикой конкурентного взаимодействия между предприятиями / И.В. Зайцева, А.И. Кирьянен, О.А. Малафеев, О.Х. Казначеева, М.Г. Казначеева // *Перспективы науки*. – 2021. – № 6(141). – С. 39–42.

4. Zaitseva, I.V. Mathematical model of network flow control / I.V. Zaitseva, O.A. Malafeyev, V.V. Zakharov, T.E. Smirnova, L.M. Novozhilova // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. – 2020. – 1st International Conference on Innovative Informational and Engineering Technologies. – P. 012036.

5. Кирьянен, А.И. Математическая модель конкуренции двух инвесторов с учетом времени оборота капитала / А.И. Кирьянен // *Государство и бизнес. Вопросы теории и практики: моделирование, менеджмент, финансы: материалы III Междунар. конф.* – СПб.: Изд-во СЗАГС. – 2011. – С. 95–100.

6. Hsu, S.B. Co-existence and extinction mediated by predators / S.B. Hsu // *Biosciences*. – 1981. – Vol. 54. – No. 3/4. – P. 231–248.

7. Gurnovich, T.G. Development of innovative regional cluster of the regional AIC on the basis of network simulation / T.G. Gurnovich, L.V. Agarkova, V.A. Zhukova, A.F. Dolgopolova // *Revista Turismo Estudos & Práticas*. – 2020. – № S2. – P. 5.

### References

1. Zaytseva, I.V. Matematicheskoye modelirovaniye zadachi mnogoagentnogo vzaimodeystviya peremeshcheniya resursov / I.V. Zaytseva, S.A. Temmoyeva, A.S. Shebukova, A.A. Filimonov // *Nauka i biznes: puti razvitiya*. – 2022. – № 11. – S. 6–10.

2. Zaytseva, I.V. Modelirovaniye tsiklichnosti razvitiya v sisteme ekonomik / I.V. Zaytseva, O.A. Malafeyev, A.V. Stepkin, M.V. Chernousov, Ye.V. Kosoblik // *Perspektivy nauki*. – 2020. – № 10(133). – S. 173–176.

3. Zaytseva, I.V. Upravleniye dinamikoy konkurentnogo vzaimodeystviya mezhdru predpriyatiyami / I.V. Zaytseva, A.I. Kir'yanen, O.A. Malafeyev, O.KH. Kaznacheyeva, M.G. Kaznacheyeva // *Perspektivy nauki*. – 2021. – № 6(141). – S. 39–42.

5. Kir'yanen, A.I. Matematicheskaya model' konkurentsii dvukh investorov s uchetom vremeni oborota kapitala / A.I. Kir'yanen // *Gosudarstvo i biznes. Voprosy teorii i praktiki: modelirovaniye, menedzhment, finansy: materialy III Mezhdunar. konf.* – SPb.: Izd-vo SZAGS. – 2011. – S. 95–100.

---

© И.В. Зайцева, О.Н. Никулина, О.С. Карнадуд, 2025

УДК 004.94.62.5

С.Е. КУЗЕНКО, П.А. ЛОТАРЕВ

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

## МЕТОДЫ ПОСТРОЕНИЯ ЦИФРОВЫХ ДВОЙНИКОВ В РАБОТЕ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

*Ключевые слова:* искусственный интеллект; машинное обучение; мониторинг оборудования; нефтегазовая отрасль; предиктивное обслуживание; цифровые двойники.

*Аннотация.* В статье рассматриваются методы построения и внедрения цифровых двойников для мониторинга, диагностики и оптимизации производственных процессов на предприятиях нефтегазовой отрасли. Цель исследования заключается в оценке того, насколько использование цифровых двойников позволяет повысить надежность работы оборудования, уменьшить эксплуатационные риски и повысить эффективность управления технологическими объектами. Гипотеза исследования состоит в предположении, что интеграция цифровых двойников в инфраструктуру нефтегазовых предприятий обеспечивает существенное улучшение эксплуатационных показателей благодаря переходу к данным-ориентированным и предиктивным методам управления.

В рамках исследования была поставлена задача установить, каким образом современные методы моделирования технологических систем, анализ данных, собранных с промышленного оборудования, а также алгоритмы машинного обучения и искусственного интеллекта могут быть использованы для создания цифровых реплик объектов и оптимизации процессов технического обслуживания. Методологическая основа работы опирается на использование сенсорных данных, математических моделей, статистического анализа и интеллектуальных алгоритмов прогнозирования износа, позволяющих формировать динамические модели функционирования оборудования в условиях реальной эксплуатации.

Результаты исследования показывают, что применение цифровых двойников значительно

повышает точность диагностики технического состояния оборудования, сокращает время проведения диагностических процедур и снижает затраты на техническое обслуживание за счет перехода от регламентных ремонтов к обслуживанию, основанному на фактическом состоянии. Установлено, что внедрение цифровых двойников способствует увеличению межремонтных интервалов, уменьшению количества незапланированных остановок производства и снижению уровня производственных происшествий. Дополнительно выявлено, что цифровое моделирование позволяет снизить экологическую нагрузку за счет уменьшения выбросов вредных веществ и оптимизации условий эксплуатации технологических систем. Суммарный эффект подтверждает, что цифровые двойники становятся ключевым инструментом повышения эффективности нефтегазовых предприятий в условиях цифровой трансформации.

### Введение

В эпоху цифровизации промышленных процессов концепция цифровых двойников (ЦД) обретает особую актуальность в контексте повышения эффективности и надежности эксплуатации оборудования в нефтегазовой отрасли. Цифровые двойники представляют собой виртуальные реплики физических объектов, позволяющие в реальном времени мониторить и анализировать техническое состояние, предсказывать потенциальные неисправности и оптимизировать процессы обслуживания. Исследование базируется на анализе данных с датчиков, установленных на ключевом оборудовании газоперерабатывающих заводов, и последующем моделировании работы этих систем с использо-

Таблица 1. Параметры цифровых двойников на базе направлений нефтегазовой отрасли

Направления	Параметр	Изменение (%)	Технология цифровых двойников	Примечание
Нефтепереработка	Сокращение времени диагностики	-35	Интегрированные диагностические системы	Снижение времени на проведение диагностики с 14 до 9 часов
	Экономия на техническом обслуживании	-	Оптимизация процессов обслуживания	Годовая экономия на техническом обслуживании
Нефтедобыча	Увеличение интервалов между плановыми ремонтами	+20	Алгоритмы прогнозирования износа	Интервал между плановыми ремонтами увеличен со 180 до 216 дней
	Снижение количества происшествий	-22	Анализ рисков и безопасности	Повышение безопасности труда на производстве
Транспортировка	Снижение незапланированных остановок	-15	Системы раннего предупреждения	Своевременное обнаружение и устранение мелких неисправностей
	Продление службы трубопроводов	+30	Мониторинг и анализ состояния труб	Оптимизация режимов давления и температуры
	Сокращение выбросов вредных веществ	-18	Управление экологической безопасностью	

ванием алгоритмов машинного обучения и методов искусственного интеллекта для создания точных цифровых копий.

### Анализ применения цифровых двойников в направлениях нефтегазовой отрасли

В ходе исследований подтверждено значительное улучшение работы оборудования в нефтегазовой отрасли благодаря внедрению технологии цифровых двойников (ЦД). На примере нефтепереработки цифровизация нефтеперерабатывающего завода (НПЗ) площадью более 1 381 га позволила:

- сократить время экспертизы проектной документации до 5 % за счет ускорения и повышения качества проверок;
- уменьшить незапланированные остановки на 30 % через риск-ориентированные стратегии технического обслуживания и ремонта (ТОиР);
- снизить время выяснения причин сры-

вов сроков до 40 % за счет централизованного хранения данных;

- оптимизировать график плановых ремонтов, увеличив интервалы со 180 до 216 дней (+20 %) благодаря точному прогнозу износа;
- снизить незапланированные остановки на 15 % за счет своевременного обнаружения мелких неисправностей.

Для газоперерабатывающих заводов интеграция ЦД повысила точность прогнозирования ресурса ключевых узлов, снизив количество инцидентов на 22 %. Это позволило улучшить мониторинг и предотвратить риски для персонала.

Мониторинг каталитических систем с помощью ЦД увеличил их эффективность на 22 %, улучшив качество очистки газа и снизив расход катализаторов.

### Математическое моделирование по направлениям нефтегазовой отрасли технологий цифровых двойников

Рассмотрим для направления «Нефтепере-

работки».

В нефтепереработке цифровые двойники обеспечивают оптимизацию времени диагностики и экономию на техническом обслуживании.

Оптимизация времени диагностики с использованием интегрированных систем:

$$Td = T0 \times e^{-k_d \times Rd},$$

где  $T_d$  – время диагностики после внедрения;  $T0$  – исходное время диагностики;  $R_d$  – процент сокращения времени диагностики;  $k_d$  – коэффициент влияния диагностических мероприятий.

Данная формула показывает экспоненциальное снижение времени диагностики под влиянием оптимизационных мероприятий, что ускоряет выявление и устранение неисправностей.

Экономия на техническом обслуживании за счет оптимизации процессов:

$$Ee = Ee0 \times \left(1 - k_e \times \frac{Re}{100}\right) \times (1 - k_l \times L),$$

где  $Ee$  – экономия на техническом обслуживании после внедрения;  $Ee0$  – исходные затраты на техническое обслуживание;  $Re$  – процент экономии на техническом обслуживании;  $k_e$  – коэффициент эффективности обслуживания;  $L$  – уровень нагрузки на оборудование;  $k_l$  – коэффициент влияния нагрузки на экономию.

Формула отражает уменьшение затрат на обслуживание благодаря снижению трудоемкости и эффективности работы при контроле нагрузки оборудования.

Рассмотрим для направления «Нефтедобыча».

Цифровые двойники нефтедобывающего оборудования применяются для прогнозирования износа, увеличения межремонтных интервалов и снижения количества происшествий за счет анализа риска отказа.

Расширение интервалов между плановыми ремонтами через алгоритмы прогнозирования износа:

$$Tr = Tr0 \times \frac{1 + K_r \times \frac{Rr}{100}}{1 + K_s \times S},$$

где  $T_d$  – время диагностики после внедрения;  $T0$  – исходное время диагностики;  $Rr$  – процент сокращения времени диагностики;  $K_r$  – коэффи-

циент влияния диагностических мероприятий;  $S$  – степень износа оборудования;  $K_s$  – коэффициент скорости износа.

Данная модель позволяет прогнозировать увеличение времени эксплуатации оборудования до следующего ремонта с учетом износа и улучшений:

$$Pr = 100 \% \times \left(\frac{I_{исх} - I_{нов}}{I_{исх}}\right) \times (1 + kp \times R_p) \times (1 - \varphi_a),$$

где  $I_{исх}$  и  $I_{нов}$  – количество происшествий до и после внедрения;  $kp$  – коэффициент чувствительности к рискам;  $R_p$  – интегральный риск-фактор (учитывает вероятность отказов и степень опасности);  $\varphi_a$  – коэффициент автоматизации, характеризующий влияние автоматических систем мониторинга на снижение риска.

Рассмотрим для направления «Транспортировка».

В транспортировке нефти и газа цифровые двойники моделируют работу трубопроводов, прогнозируют коррозию и оптимизируют давление и температуру транспортировки.

Снижение количества незапланированных остановок с помощью систем раннего предупреждения:

$$No = No0 \times \left(1 - K_n \times \frac{Rn}{100}\right)^t,$$

где  $No$  – количество незапланированных остановок после внедрения;  $No0$  – исходное количество незапланированных остановок;  $Rn$  – процент снижения незапланированных остановок;  $K_n$  – коэффициент влияния незапланированных остановок;  $t$  – время в эксплуатации после внедрения.

Формула описывает постепенное снижение числа незапланированных остановок благодаря раннему предупреждению и мониторингу.

Уменьшение уровня выбросов вредных веществ с помощью управления экологической безопасностью:

$$Em = Em0 \times \left(1 - k_m \times \frac{Rm}{100}\right) \times \left(\frac{Q}{V}\right),$$

где  $Em$  – уровень выбросов после оптимизации;  $Em0$  – исходный уровень выбросов;  $Rm$  – процент снижения выбросов;  $k_m$  – коэффициент мо-

дификации выбросов;  $Q$  – качество сырья;  $V$  – объем переработки.

Модель демонстрирует снижение экологической нагрузки за счет контроля выбросов и управления сырьевыми потоками.

### Заключение

Внедрение технологий цифровых двойников стало ключевым направлением цифровой трансформации нефтегазовой отрасли. Они позволяют интегрировать физические модели, данные с сенсоров и алгоритмы машинного обучения, обеспечивая точное прогнозирование отказов, оптимизацию режимов и повышение безопасности.

Применение ЦД демонстрирует значительные результаты: сокращение времени диа-

гностики до 35 %, увеличение межремонтных интервалов на 20 %, снижение числа незапланированных остановок и инцидентов на 15–30 %. Эти показатели напрямую повышают эффективность использования оборудования, сокращают эксплуатационные затраты и минимизируют риски аварий. Интеграция цифровых двойников обеспечивает переход предприятий к данным-ориентированному управлению, когда решения принимаются на основе моделирования и аналитики в реальном времени.

Таким образом, цифровые двойники являются не просто инструментом оптимизации, а стратегической платформой, обеспечивающей интеллектуальное управление предприятиями и укрепление их конкурентоспособности в цифровом мире.

### Список литературы

1. Кузнецов, В.И. Цифровые двойники в нефтегазовой промышленности: принципы построения и применения / В.И. Кузнецов. – М. : Недра, 2021. – 216 с.
2. Афанасьев, П.А. Применение технологий цифровых двойников для повышения эффективности производственных процессов / П.А. Афанасьев, Д.С. Михайлов // Автоматизация в промышленности. – 2022. – Т. 28. – № 4. – С. 45–52.
3. Горбунов, С.А. Математическое моделирование технологических систем нефтеперерабатывающих предприятий / С.А. Горбунов, А.В. Трофимов. – СПб : Химия, 2020. – 312 с.
4. Попов, Е.В. Интеллектуальные системы управления технологическими процессами / Е.В. Попов, С.Н. Мартынов. – М. : Машиностроение, 2019. – 288 с.
5. Rosen, R. Digital Twins for Industrial Applications / R. Rosen, G. von Wichert (eds.). – Berlin : Springer, 2018. – 326 p.
6. Tao, F. Digital Twin Driven Smart Manufacturing / F. Tao, M. Zhang, Y. Liu, A.Y.C. Nee. – London : Academic Press, 2019. – 282 p.

### References

1. Kuznetsov, V.I. Tsifrovyye dvoyniki v neftegazovoy promyshlennosti: printsipy postroyeniya i primeneniya / V.I. Kuznetsov. – M. : Nedra, 2021. – 216 s.
2. Afanas'yev, P.A. Primeneniye tekhnologiy tsifrovyykh dvoynikov dlya povysheniya effektivnosti proizvodstvennykh protsessov / P.A. Afanas'yev, D.S. Mikhaylov // Avtomatizatsiya v promyshlennosti. – 2022. – T. 28. – № 4. – S. 45–52.
3. Gorbunov, S.A. Matematicheskoye modelirovaniye tekhnologicheskikh sistem neftepererabatyvayushchikh predpriyatiy / S.A. Gorbunov, A.V. Trofimov. – SPb : Khimiya, 2020. – 312 s.
4. Popov, Ye.V. Intellektual'nyye sistemy upravleniya tekhnologicheskimi protsessami / Ye.V. Popov, S.N. Martynov. – M. : Mashinostroyeniye, 2019. – 288 s.

УДК 004.056.5

А.В. АМЕНИЦКИЙ, Е.Г. ВОРОБЬЕВ  
ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный электротехнический  
университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)», г. Санкт-Петербург

## МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ВНЕДРЕНИЯ АГЕНТНЫХ СИСТЕМ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА (ИИ) В КРИТИЧЕСКИ ВАЖНЫЕ БИЗНЕС-ПРОЦЕССЫ

**Ключевые слова:** агентный искусственный интеллект (ИИ); бизнес-процессы; большие языковые модели; гибридная архитектура ИИ; промышленное внедрение ИИ; прозрачность ИИ; управление решениями; финансовые технологии; RAG.

**Аннотация.** Предмет и проблема: статья посвящена исследованию методологических проблем внедрения агентных систем искусственного интеллекта (ИИ) в критически важные бизнес-процессы, такие как кредитование в финансовом секторе. Актуальность темы обусловлена переходом от экспериментального использования больших языковых моделей (LLM) к созданию комплексных, надежных и регулируемых систем, способных решать реальные задачи. Цель статьи – разработать архитектурный *framework* гибридной агентной системы, комбинирующей сильные стороны LLM с проверенными технологиями автоматизации для преодоления присущих LLM ограничений. Методология исследования включает системный анализ, сравнительный анализ технологий (LLM, *workflow*-системы, системы бизнес-правил, RAG) и синтез гибридной модели на основе предложенного *framework*. В результате анализа кейса автоматизации процесса кредитной заявки банка предложена многоагентная архитектура, в которой задачи распределены между специализированными агентами: чат-агент (LLM) для взаимодействия с клиентом, оркестратор (LLM) для маршрутизации запросов, агент политик (LLM + RAG) для предоставления информации, *workflow*-агент для управления состоянием процесса, агент решений (на основе бизнес-правил) для детерминированных вычислений, агент обработки документов (LLM)

для извлечения данных и агент-компаньон (LLM) для поддержки сотрудников. Выводы и рекомендации: доказано, что гибридный подход, в отличие от монолитных LLM-решений, обеспечивает необходимые для промышленного применения надежность, прозрачность, управляемость состоянием и соответствие регуляторным требованиям. Практическая значимость работы заключается в предоставлении организациям четкого плана (*blueprint*) для построения сложных агентных систем. Рекомендуется применять предложенный фреймворк при проектировании ИИ-решений в финансовой, юридической и других регулируемых отраслях.

### Введение

Современный этап развития искусственного интеллекта характеризуется бурным ростом возможностей больших языковых моделей (LLM) и генеративного ИИ. Однако их прямое применение для автоматизации сложных, многозадачных и критически важных бизнес-процессов, таких как скоринг кредитных заявок, сталкивается с рядом фундаментальных ограничений [1; 2]. К ним относятся: непредсказуемость и «галлюцинации», неспособность детерминированно управлять состоянием долгоживущих процессов, недостаточная прозрачность и объяснимость принимаемых решений, что делает их уязвимыми для регуляторной критики [3].

Анализ литературных источников показывает, что существующие исследования часто фокусируются либо на возможностях LLM в

изоляции [4], либо на классических подходах к автоматизации бизнес-процессов [5]. В то же время ощущается недостаток работ, предлагающих целостные архитектурные решения для интеграции *LLM* в качестве одного из компонентов в более широкую, надежную и управляемую систему. Настоящее исследование призвано восполнить этот пробел.

Научная новизна работы заключается в разработке гибридного архитектурного *framework* для построения агентных систем ИИ, который делает следующее.

1. Систематизирует и формализует распределение задач между *LLM* и специализированными не-*LLM* технологиями (*workflow*-движки, системы бизнес-правил) на основе анализа их комплементарных сильных и слабых сторон.

2. Предлагает модель взаимодействия агентов через стандартизированные протоколы (такие как *Model Context Protocol – MCP*), обеспечивающую модульность и расширяемость системы.

3. Четко определяет зоны ответственности для каждого типа агента в рамках сквозного бизнес-процесса, минимизируя риски, присутствующие «черному ящику» *LLM*.

Целью исследования являются разработка и обоснование архитектуры гибридной агентной системы ИИ, обеспечивающей повышенную надежность, прозрачность и эффективность при автоматизации комплексных бизнес-процессов.

#### Анализ ограничений монолитного подхода на основе *LLM* и постановка задачи

Большие языковые модели демонстрируют выдающиеся способности в понимании естественного языка, генерации текста и извлечении информации из неструктурированных данных. Однако для сложных бизнес-процессов, подобных рассмотренному ниже кейсу кредитования, их недостаточно. Ключевые проблемы включают следующее.

1. Отсутствие управляемого состояния: *LLM* по своей природе статичны и не предназначены для отслеживания состояния длительной взаимодействия с пользователем, которое может прерываться и возобновляться.

2. Недетерминированность: повторный запрос с одинаковыми входными данными может

привести к разным результатам, что неприемлемо для принятия последовательных и справедливых решений.

3. Сложность верификации и объяснения: внутренняя логика *LLM* является «черным ящиком», что затрудняет аудит и объяснение причин принятого решения перед клиентом или регулятором.

4. Интеграционная сложность: прямое подключение *LLM* к корпоративным системам данных и *API* сопряжено с рисками безопасности и надежности.

Таким образом, задачей является проектирование такой системы, где *LLM* используются строго для тех задач, где они наиболее эффективны (коммуникация, извлечение данных), а критичные для бизнеса функции (управление процессом, детерминированные вычисления) делегируются специализированным, проверенным технологиям.

#### Архитектура гибридной многоагентной системы: *Framework* и компоненты

В качестве демонстрации предложенного подхода рассмотрим кейс автоматизации процесса выдачи кредита в банке. Архитектура системы включает следующих агентов.

1. Агенты на основе больших языковых моделей (*LLM*).

1.1. Чат-агент (интерфейсный) обеспечивает естественное взаимодействие с клиентом, классифицируя его интенции (запрос информации или действие).

1.2. Агент оркестрации (маршрутизатор) анализирует запрос от чат-агента и, консультируясь с реестром агентов, определяет, какой специализированный агент должен его обработать.

1.3. Агент политик (*RAG*-агент): на основе технологии *Retrieval-Augmented Generation* предоставляет клиенту актуальную информацию из внутренней базы документов (правила, условия продуктов).

1.4. Агент обработки документов (инжектор данных) извлекает структурированные данные из неструктурированных документов (сканы брошюр, *handwritten* заметки), демонстрируя высокую эффективность *LLM* в этой области.

1.5. Агент-компаньон (Копилот) помогает сотруднику колл-центра, оперативно предостав-

ля сводную информацию о клиенте и его заявке на естественном языке.

1.6. Агент-объяснитель (интерпретатор) транслирует формальные логи журналов систем принятия решений в понятное для человека объяснение причины того или иного решения.

2. Агенты на основе специализированных не-LLM технологий.

2.1. *Workflow-агент* (управление процессом) реализован на платформе управления бизнес-процессами (например, с использованием нотации *BPMN*). Отвечает за состояние экземпляра кредитной заявки, управление этапами, приостановку и возобновление процесса.

2.2. Агент решений (детерминированная логика) построен на системе управления бизнес-правилами (*BRMS*). Гарантирует консистентное, проверяемое и объяснимое применение кредитной политики для каждого клиента.

2.3. Агенты данных (интеграция) обеспечивают безопасный доступ к внутренним системам банка (*CRM*, кредитные бюро) через стандартизированные протоколы (*MCP*).

### Результаты применения фреймворков на практическом кейсе

Сквозное прохождение кредитной заявки в предложенной архитектуре демонстрирует следующие преимущества.

1. Надежность: *workflow-агент* гарантирует, что процесс не будет потерян при разрыве соединения, а агент решений всегда применит одну и ту же логику.

2. Прозрачность: решение по заявке может быть детально объяснено на основе правил из *BRMS*, а не «интуиции» *LLM*.

3. Эффективность: каждый агент фокусируется на своей зоне экспертизы. *LLM* – на взаимодействии, специализированные системы – на надежных вычислениях.

4. Гибкость: архитектура позволяет легко добавлять новых агентов в реестр для обработки новых типов запросов или интеграции с но-

выми системами.

### Заключение

В результате исследования была разработана и апробирована на практическом примере архитектура гибридной многоагентной системы ИИ. Доказано, что предложенный *framework* позволяет преодолеть ключевые ограничения, присущие системам, построенным исключительно на больших языковых моделях.

Основные результаты следующие.

1. Предложена детализированная модель распределения функций между *LLM* и специализированными платформами автоматизации.

2. Обоснована необходимость использования *workflow-систем* для управления состоянием и систем бизнес-правил для обеспечения детерминированности и прозрачности решений.

3. Продемонстрирована эффективность *LLM* в ролях, требующих когнитивной гибкости: взаимодействие с пользователем, извлечение данных и объяснение решений.

Практическая значимость работы заключается в предоставлении организациям, особенно в регулируемых отраслях, готового *blueprint* для построения промышленных, надежных и соответствующих нормативным требованиям систем агентного ИИ.

Направления дальнейших исследований включают следующее.

1. Разработку стандартизированных онтологий и протоколов (продвижение *MCP*) для упрощения интеграции разнородных агентов.

2. Исследование методов автоматического тестирования и валидации поведения таких гибридных систем.

3. Анализ кибербезопасности многоагентных архитектур и разработку моделей угроз.

4. Формализацию методологии оценки экономической эффективности внедрения подобных систем.

### Список литературы

1. Браун, Т.Б. Языковые модели как малообучаемые ученики / Т.Б. Браун [и др.] // Труды конференции по нейронным системам обработки информации (NeurIPS). – 2020. – Т. 33. – С. 1877–1901.

2. Вашвани, А. Внимание – это все, что вам нужно / А. Вашвани [и др.] // Труды конференции по нейронным системам обработки информации (NeurIPS). – 2017. – Т. 30.

3. Чанг, Ю. Обзор методов оценки больших языковых моделей / Ю. Чанг, С. Ван, Ц. Ван [и др.] // Труды АСМ по интеллектуальным системам и технологиям. – 2024. – Т. 15. – № 3. – С. 1–45.
4. Льюис, П. Генерация с дополнением извлечением для задач NLP, требующих обширных знаний / П. Льюис [и др.] // Труды конференции по нейронным системам обработки информации (NeurIPS). – 2020. – Т. 33. – С. 9459–9474.
5. Вандер, А. Основы управления бизнес-процессами / А. Вандер, Ж. Дум, К. Реди. – М. : ДМК Пресс. – 2020. – 456 с.
6. Ван, Л. Обзор автономных агентов на основе больших языковых моделей / Л. Ван, Ц. Ма, С. Фэн [и др.] // Препринт arXiv:2308.11432. – 2024.
7. Си, З. Подъем и потенциал агентов на основе больших языковых моделей: обзор / З. Си, В. Чэнь, С. Го [и др.] // Препринт arXiv:2309.07864, 2023.
8. Шик, Т. Toolformer: языковые модели могут сами научиться использовать инструменты / Т. Шик, Дж. Двиведи-Ю, Р. Десси [и др.] // Труды конференции по нейронным системам обработки информации (NeurIPS). – 2024. – Т. 36.
9. Саммерс, Т.Р. Когнитивные архитектуры для языковых агентов / Т.Р. Саммерс, С. Яо, К. Нарасимхан, Т.Л. Гриффитс // Препринт arXiv:2309.02427, 2023.
10. Хонг, С. MetaGPT: метапрограммирование для фреймворка коллективного взаимодействия множества агентов / С. Хонг, С. Чжэн, Ц. Чэнь [и др.] // Препринт arXiv:2308.00352, 2024.
11. Парк, Дж.С. Генеративные агенты: интерактивные симулякры человеческого поведения / Дж.С. Парк, Дж. О'Брайен, К.Дж. Цай [и др.] // Труды 36-й ежегодной АСМ симпозиума по технологиям программного обеспечения пользовательского интерфейса (UIST '23), 2023.
12. Чжоу, Ю. Большие языковые модели – инженеры промптов уровня человека / Ю. Чжоу, А.И. Мурешану, Чж. Хань [и др.] // Труды конференции по нейронным системам обработки информации (NeurIPS). – 2023. – Т. 36.

### References

1. Braun, T.B. YAzykovyye modeli kak maloobuchayemyye ucheniki / T.B. Braun [i dr.] // Trudy konferentsii po neyronnym sistemam obrabotki informatsii (NeurIPS). – 2020. – Т. 33. – S. 1877–1901.
2. Vashvani, A. Vnimanije – eto vse, chto vam nuzhno / A. Vashvani [i dr.] // Trudy konferentsii po neyronnym sistemam obrabotki informatsii (NeurIPS). – 2017. – Т. 30.
3. Chang, YU. Obzor metodov otsenki bol'shikh yazykovykh modeley / YU. Chang, S. Van, TS. Van [i dr.] // Trudy ACM po intellektual'nyh sistemam i tekhnologiyam. – 2024. – Т. 15. – № 3. – S. 1–45.
4. L'yuis, P. Generatsiya s dopolneniyem izvlecheniyem dlya zadach NLP, trebuyushchikh obshirnykh znaniy / P. L'yuis [i dr.] // Trudy konferentsii po neyronnym sistemam obrabotki informatsii (NeurIPS). – 2020. – Т. 33. – S. 9459–9474.
5. Vander, A. Osnovy upravleniya biznes-protsessami / A. Vander, ZH. Dum, K. Redi. – М. : DMK Press. – 2020. – 456 s.
6. Van, L. Obzor avtonomnykh agentov na osnove bol'shikh yazykovykh modeley / L. Van, TS. Ma, S. Fen [i dr.] // Preprint arXiv:2308.11432. – 2024.
7. Si, Z. Pod"yem i potentsial agentov na osnove bol'shikh yazykovykh modeley: obzor / Z. Si, V. Chen', S. Go [i dr.] // Preprint arXiv:2309.07864, 2023.
8. Shik, T. Toolformer: yazykovyye modeli mogut sami nauchit'sya ispol'zovat' instrumenty / T. Shik, Dzh. Dvivedi-YU, R. Dessi [i dr.] // Trudy konferentsii po neyronnym sistemam obrabotki informatsii (NeurIPS). – 2024. – Т. 36.
9. Sammers, T.R. Kognitivnyye arkhitektury dlya yazykovykh agentov / T.R. Sammers, S. Yao, K. Narasimkhan, T.L. Griffiths // Preprint arXiv:2309.02427, 2023.
10. Khong, S. MetaGPT: metaprogrammirovaniye dlya freymvorka kollektivnogo vzaimodeystviya mnozhestva agentov / S. Khong, S. Chzhen, TS. Chen' [i dr.] // Preprint arXiv:2308.00352, 2024.

11. Park, Dzh.S. Generativnyye agenty: interaktivnyye simulyakry chelovecheskogo povedeniya / Dzh.S. Park, Dzh. O'Brayyen, K.Dzh. Tsay [i dr.] // Trudy 36-y yezhegodnoy ACM simpoziuma po tekhnologiyam programmogo obespecheniya pol'zovatel'skogo interfeysa (UIST '23), 2023.

12. Chzhou, YU. Bol'shiye yazykovyye modeli – inzhenery promptov urovnya cheloveka / YU. Chzhou, A.I. Mureshanu, Chzh. Khan' [i dr.] // Trudy konferentsii po neyronnym sistemam obrabotki informatsii (NeurIPS). – 2023. – T. 36.

---

© А.В. Аменицкий, Е.Г. Воробьев, 2025

УДК 69.04

*И.В. АБРАМОВ, А.А. ТИХОНОВ, В.С. ГОЛИЦЫН, Д.А. СИДОРЕНКО*  
ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный  
строительный университет», г. Москва

## **ВІМ КАК ИНСТРУМЕНТ ПОВЫШЕНИЯ ПРОЗРАЧНОСТИ И ТОЧНОСТИ СТРОИТЕЛЬНЫХ ПРОЦЕССОВ**

*Ключевые слова:* автоматизация проектирования; информационное моделирование зданий; прозрачность строительных процессов; точность; устойчивое развитие; цифровизация; *ВІМ*.

*Аннотация.* Предмет исследования – повышение прозрачности и точности строительных процессов посредством внедрения технологий информационного моделирования зданий (*ВІМ*).

Цель – исследование возможностей применения *ВІМ*-технологий для оптимизации процессов проектирования, взаимодействия участников проекта и повышения качества строительного производства.

Задачи: анализ традиционных методов управления строительными процессами и их недостатков; изучение механизмов обеспечения прозрачности и точности при использовании *ВІМ*; рассмотрение примеров интеграции *ВІМ* в процессы проектирования.

Методы: в исследовании использованы методы анализа, сравнения, обобщения и системного подхода к изучению информационного моделирования зданий.

Выводы: установлено, что внедрение *ВІМ*-технологий обеспечивает интеграцию всех участников строительного процесса в единую цифровую среду, повышая прозрачность, точность и скорость выполнения проектных и строительных работ.

ные методы управления и контроля строительных процессов зачастую не справляются с увеличивающимися объемами информации, сложностью проектов и высокими требованиями заказчиков. В этом контексте особую актуальность приобретает использование технологий информационного моделирования зданий (*ВІМ*) [1].

Прозрачность *ВІМ* заключается в том, что технология позволяет создавать единую цифровую модель объекта строительства, где в реальном времени отображаются все данные о проекте. Эта модель объединяет архитектурные, инженерные, экономические и эксплуатационные данные, что делает каждый этап строительства доступным и понятным для всех участников проекта.

Значительно увеличиваются зоны ответственности всех участников проекта, так как *ВІМ* фиксирует все внесенные в проект изменения, что позволяет отслеживать, кто именно и когда внес корректировки, а также влияние этих исправлений на общую модель проекта.

Прозрачность *ВІМ*-модели упрощает и автоматизирует взаимодействие между отделами проектной организации. Исходя из практического опыта, взаимосвязь участников проекта с традиционным методом нередко оставляет за собой множество вопросов и недопониманий, и в редких случаях – даже конфликтных ситуаций, в том числе из-за того, что отделы могут работать в разных программах: *AutoCAD*, *NanoCAD*, *ArchiCAD*, *Revit* и др. Использование *ВІМ* же позволяет устранить разрозненность информации, минимизировать ошибки и ускорить принятие решений [2]. Рассмотрим разницу этих методов на примере задачи заданий на отверстия на этапе проектирования.

---

В настоящее время строительная отрасль сталкивается с вызовами, связанными с необходимостью повышения эффективности, прозрачности и точности всех этапов реализации строительных проектов. Традицион-

### Традиционный подход к выдаче заданий на отверстия

Архитектурным отделом разрабатывается общая модель здания, которая затем передается конструкторам и инженерам. Инженеры, в свою очередь, определяют места для прохождения коммуникаций и сетей через несущие конструкции и формируют задания на отверстия, которые оформляются в виде отдельных чертежей или текстовых документов, для дальнейшей передачи конструкторскому отделу. После всех этих этапов конструкторы изучают выданные задания и вносят новые отверстия в свои чертежи, затем отправляют обратно на согласование.

Этот процесс часто сопровождается ошибками и недопониманиями из-за возможных коллизий, задержек из-за ручной координации между отделами, работы в различных программах, что значительно замедляет процесс проектирования из-за траты времени на перенос чертежей в другой формат и последующее редактирование неточностей, вызванных сменой формата.

### *BIM*-подход к выдаче заданий на отверстия

Архитектурным отделом создается общая и единая *BIM*-модель, например, в *Autodesk Revit* или в отечественной программе *Renga*. Все отделы работают в единой модели или интегрированных моделях, синхронизированных через облачные платформы. Архитекторы, конструкторы и инженеры используют одну и ту же базу данных, что гарантирует актуальность информации, а все изменения автоматически отражаются в рабочей документации, исключая необходимость ручного обновления.

Инженеры, используя ранее разработанную модель, проектируют различные коммуникации, такие как трубопроводы, кабели, вентиляционные каналы и др. Далее программа автоматически определяет места пересечения коммуникаций с несущими элементами здания и фиксирует их как потенциальные отверстия. На основании данных модели *BIM*-система может автоматически сформировать задания на отверстия, включая их размеры, расположения и требования к конструкции. Такой плагин для программ *Autodesk*, как *BIMcollab*, добавляет новые функции для упрощения работы специалиста [3].

Эта платформа помогает минимизировать взаимодействие между отделами традиционным подходом и ускорить процесс выдачи и согласования заданий на отверстия. Вместо текстовых документов и отдельных чертежей участники проекта коммуницируют между собой в *BIM*-модели. Если возникла необходимость добавления новых отверстий или перестановки каких-либо элементов инженерных сетей, специалист может добавить задачу в плагин с комментарием, снимком экрана и ссылкой на конкретное место, а также существует возможность выставить срочность задачи. Эти функции очень полезны при проектировании крупномасштабных проектов. После отправки специалистам, кому было адресовано задание, приходит уведомление на электронную почту, вдобавок задание отображается в модели. *BIMcollab* автоматически обновляет статус задачи, что позволяет всем участникам видеть текущее состояние задачи и в любое время можно изучить историю обсуждений и изменений по каждой задаче, потому что платформа хранит всю информацию [4].

*BIM*-решения предлагают множество функций, упрощающих и ускоряющих проектирование, например, различные шаблоны и семейства.

Шаблон вида представляет собой файл, который позволяет настроить различные переопределения видимости для отдельного вида, плана, разреза и т.д. Внутри этого шаблона есть возможность отключить ненужные элементы при изучении какого-либо узла. Также можно отключить не только конструктивные элементы, но и различные аннотации, импортированные подложки, фасады и прочее. Если внести изменения в шаблон, то все виды модели, к которым был применен данный шаблон, будут автоматически обновлены.

Процесс автоматизации не прошел мимо семейств *BIM*. Они полностью воспринимают и понимают контекст, в котором они используются, например, окно автоматически размещается в стене, создавая отверстие, или элементы автоматически обновляются при изменении высоты уровня или других связанных параметров. Семейства также поддерживают взаимосвязи: изменение размеров или расположения одной части влияет на другие элементы, например, взаимосвязь двери и стены [5].

Вместе с тем существуют инструменты программирования, которые можно интегри-

ровать в *Autodesk Revit*, один из таких инструментов – *Dynamo*. Это инструмент визуального программирования, интегрированный с программами *BIM* [6]. Он позволяет пользователям без глубоких знаний программирования создавать алгоритмы и скрипты, используя интуитивно *Dynamo*, что значительно расширяет базовый функционал *Autodesk Revit* и сильно упрощает работу специалистам по проектированию. Разработав верный скрипт, эта платформа определит места коллизий и на основе заданных правил скрипт автоматически добавляет отверстия в модель. Другим скриптом открывается возможность автоматически расставить по всем помещениям и этажам различное оборудование, например, отопительные приборы, и при изме-

нении в геометрии помещения или типа прибора автоматически обновляется расстановка. *Dynamo* незаменим для автоматизации и оптимизации моделей, что делает процесс проектирования более эффективным, точным и современным.

Таким образом, *BIM*-технологии не только обеспечивают улучшение качества строительства, но и становятся основой для дальнейшего прогресса в строительной отрасли, способствуя улучшению качества и снижению затрат на всех этапах жизненного цикла объектов. Их повсеместное использование в будущем позволит добиться значительных улучшений в строительной практике и стать важным фактором устойчивого развития отрасли.

### Список литературы

1. Талапов, В.В. Технология BIM: суть и особенности внедрения информационного моделирования зданий / В.В. Талапов. – М. : ДМК Пресс, 2015.
2. СП 301.1325800.2017. Информационное моделирование в строительстве. Правила организации работ производственно-техническими отделами.
3. Федоров, С.В. Проектирование инженерных систем на основе BIM-модели в Autodesk Revit MEP / С.В. Федоров, И.И. Суханова. – М. : Изд-во ЛАНЬ, 2022.
4. Овчинников, И.Г. Building information modeling в строительстве. Опыт использования. Проблемы внедрения / И.Г. Овчинников, Д.А. Мысовских // Вестник Евразийской науки, 2021.
5. СП 333.1325800.2017. Информационное моделирование в строительстве. Правила формирования информационной модели объектов на различных стадиях жизненного цикла.
6. Смирнова, Е.В. Применение BIM-технологий в управлении строительными проектами / Е.В. Смирнова. – М. : Научная книга, 2021.

### References

1. Talapov, V.V. Tekhnologiya BIM: sut' i osobennosti vnedreniya informatsionnogo modelirovaniya zdaniy / V.V. Talapov. – M. : DMK Press, 2015.
2. SP 301.1325800.2017. Informatsionnoye modelirovaniye v stroitel'stve. Pravila organizatsii rabot proizvodstvenno-tekhnicheskimi otdelami.
3. Fedorov, S.V. Proyektirovaniye inzhenernykh sistem na osnove BIM-modeli v Autodesk Revit MEP / S.V. Fedorov, I.I. Sukhanova. – M. : Izd-vo LAN', 2022.
4. Ovchinnikov, I.G. Building information modeling v stroitel'stve. Opyt ispol'zovaniya. Problemy vnedreniya / I.G. Ovchinnikov, D.A. Mysovskikh // Vestnik Yevraziyskoy nauki, 2021.
5. SP 333.1325800.2017. Informatsionnoye modelirovaniye v stroitel'stve. Pravila formirovaniya informatsionnoy modeli ob"yektov na razlichnykh stadiyakh zhiznennogo tsikla.
6. Smirnova, Ye.V. Primeneniye BIM-tekhnologiy v upravlenii stroitel'nymi proyektami / Ye.V. Smirnova. – M. : Nauchnaya kniga, 2021.

УДК 004.925.8

А.Ю. ГОРЯЧКИНА, О.М. КОРЯГИНА, Н.Г. СУРКОВА  
ФГАОУ ВО «Московский государственный технический университет имени  
Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)», г. Москва

## ЭЛЕКТРОННАЯ МОДЕЛЬ ИЗДЕЛИЯ

*Ключевые слова:* КОМПАС-3D; основной конструкторский документ; цифровизация; электронная геометрическая модель детали; электронная геометрическая модель сборочной единицы.

*Аннотация.* Цель статьи – освоение приемов построения электронных геометрических моделей сборочных единиц и приобретение знаний на электронные конструкторские документы с помощью САД-системы КОМПАС-3D v23.

Гипотеза представленного в статье материала позволяет понять принципы создания электронной конструкторской документации и получить представление о технологии безбумажного проектирования изделий.

Задачи: рассмотреть вопросы теоретического и практического применения способов построения компьютерных геометрических моделей изделий с использованием системы автоматизированного проектирования КОМПАС-3D v23 в соответствии со стандартами Единой системы конструкторской документации (ЕСКД) и другими государственными стандартами.

Методы: с внедрением передовых информационных средств обработки конструкторской документации связано появление новых документов, таких как электронная модель детали и электронная модель сборочной единицы. ГОСТ 2.052–2006 устанавливает общие требования к выполнению электронных моделей деталей и сборочных единиц машиностроения и приборостроения.

Результаты: на основании проведенного исследования выявлены основные понятия в области инженерного 3D-проектирования, правила выполнения электронной конструкторской документации.

### Введение

В связи с внедрением процесса цифровизации во все отрасли промышленности возникает необходимость перехода от бумажных конструкторских документов к электронным конструкторским документам. Задача обработки больших массивов данных, возникающая на крупных производствах, может быть решена только за счет использования современных информационных технологий. Речь идет не только об автоматизации отдельных этапов производства, но и о внедрении цифровых 3D-технологий в сквозной процесс проектирования изделий, включающий не только производственные этапы, но и сопутствующую финансовую и организационную деятельность.

Сквозная технология проектирования – это совокупность программного обеспечения и методик его применения для создания на предприятии единого информационного пространства по управлению жизненным циклом изделия в цифровом формате с учетом государственных стандартов в области управления изделием и предприятием по безбумажным технологиям [1].

### Обзор и критика реализованных решений

Активная цифровизация всех отраслей экономики страны привела к необходимости внесения изменений в государственные стандарты и адаптации их к новым условиям. Создание электронных конструкторских документов с помощью системы автоматизированного проектирования непосредственно связано с разработкой электронных моделей изделия. Электронная конструкторская документация предназначена

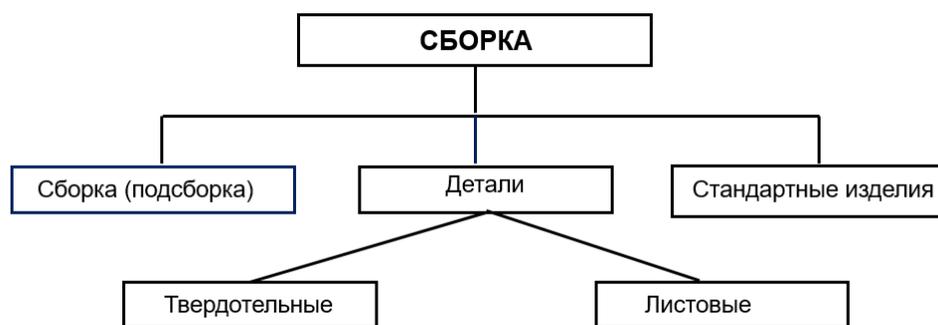


Рис. 1. Компоненты сборки

для разработки, изготовления, контроля, приемки, поставки, эксплуатации, ремонта и утилизации изделия. До недавнего времени в отечественной промышленности для этих целей в системах автоматизированного проектирования (САПР) использовалось множество программных продуктов, таких как:

- *Autodesk Inventor* – система трехмерного твердотельного и поверхностного параметрического проектирования (САПР) компании *Autodesk*, предназначенная для создания цифровых прототипов промышленных изделий;

- *AutoCAD* – универсальный инструмент для 2D- и 3D-моделирования;

- *SolidWorks* – мощное программное обеспечение (ПО) для твердотельного моделирования, популярное в машиностроении;

- *CATIA* подходит для авиастроения и автомобилестроения, поддерживает сложное поверхностное моделирование;

- *Revit* – система для информационного моделирования зданий, используется в строительстве;

- *Fusion 360* – гибридное решение для твердотельного и поверхностного моделирования.

Вопросы импортозамещения и конкурентоспособности российского программного обеспечения для геометрического моделирования в сфере машиностроения продолжают решаться с помощью разработки и усовершенствования системы трехмерного моделирования КОМПАС-3D.

КОМПАС-3D широко используется для проектирования изделий основного и вспомогательного производств в таких отраслях промышленности, как машиностроение, при-

боростроение, авиастроение, судостроение, станкостроение и др.

Одно из главных преимуществ КОМПАС-3D – оформление документации в полном соответствии с правилами ЕСКД или системы проектной документации для строительства (СПДС). Это подтверждают пользователи других САПР, выполняя 3D-модели изделий в своей САПР, а чертежи, спецификации, схемы, ведомости – в КОМПАС-3D.

КОМПАС-3D содержит инструменты создания в 3D-модели необходимых и достаточных данных для ее производства: размеры, элементы обозначения (осевые линии, резьбы, базы, допуски форм и т.д.), технические требования, неуказанная шероховатость. Это значит, что КОМПАС-3D уже сейчас позволяет отказаться от электронных чертежей изделия.

### Постановка задачи

Цифровизация экономики и производства выявила необходимость в пересмотре стандартов ЕСКД, Единой системы технологической документации (ЕСТД) и других стандартов. Это масштабный проект, направленный на развитие и распространение цифровых производств, перехода промышленности на отечественные цифровые системы поддержки полного жизненного цикла изделия.

ГОСТ Р 2.051–2023 «Электронная конструкторская документация. Основные положения» устанавливает общие требования к выполнению электронной конструкторской документации на изделия машиностроения всех отраслей промышленности. Электронная конструкторская документация представляет собой совокупность электронных конструкторских

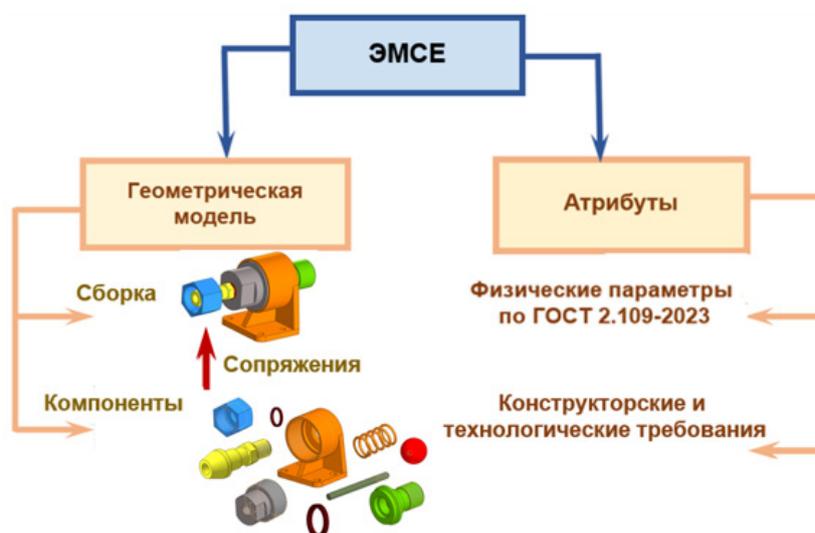


Рис. 2. Схема электронной модели сборочной единицы (ЭМСЕ) «Клапан сетевой»

документов, созданных с помощью программно-технических средств или преобразования документов, выполненных в бумажной форме, в электронную форму [2].

Компьютерное моделирование изделия выполняют с целью получения данных, необходимых для принятия решений в процессах разработки, проектирования, производства, сопровождения эксплуатации и других задач в ходе жизненного цикла изделия [3].

### Электронная модель сборочной единицы

Сборка в КОМПАС-3D – трехмерная модель, объединяющая модели деталей, сборок, стандартных изделий, и содержащая информацию о взаимном положении этих компонентов и зависимостях между параметрами их элементов [3] (рис. 1). Задача построения электронной модели сборочной единицы – установление соединений и сопряжений между составными частями сборки, чтобы лишить их степеней свободы [4].

При проектировании сложных изделий применяются технологии, позволяющие значительно ускорить процесс:

- параллельное проектирование – возможность разным участникам процесса проектирования параллельно выполнять работы с одной и той же составной частью (СЧ) изделия;

- проектирование в контексте сборки;
- использование «компоновочной геометрии» – исходных данных, используемых в качестве основы для создания геометрии компонентов.

При проектировании 3D-моделей сборочных единиц используют следующие подходы:

- проектирование «Сверху вниз»;
- проектирование «Снизу вверх»;
- смешанный способ проектирования.

При проектировании «Сверху вниз» процесс начинается с верхнего уровня и завершается на нижних уровнях. Компоненты создаются в контексте сборки на основе геометрических элементов других деталей.

Способ «Сверху вниз» применяется:

- при работе с большими многокомпонентными сборками;
- изначально отсутствует полная определенность по составу и конструкции изделия;
- большинство деталей и узлов изделия разрабатываются впервые.

При проектировании «Снизу вверх» построение начинается с нижних уровней и завершается на верхнем уровне. Разработка компонентов происходит в основном вне контекста сборки. Готовые компоненты (3D-детали, под сборки) вставляются в сборку, а затем между ними устанавливаются требуемые сопряжения. Этот способ проектирования

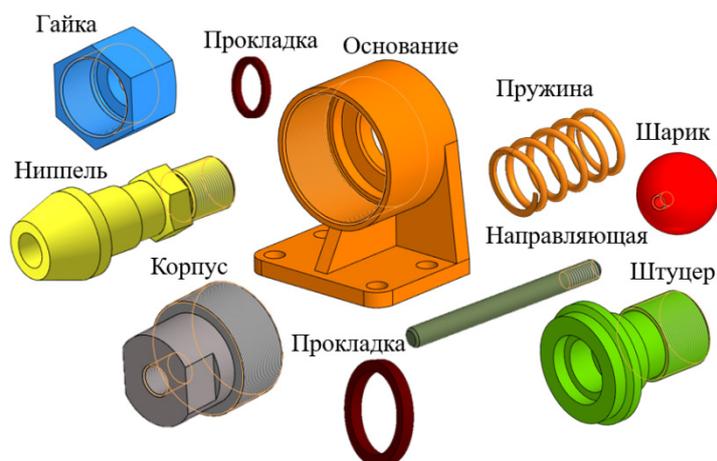


Рис. 3. Детали, входящие в состав «Клапана сетевого»



Рис. 4. Последовательность задания взаимного положения компонентов

применяется при создании сборок, состоящих из небольшого количества составных частей, поскольку для моделирования отдельных деталей с целью последующего их соединения требуется точно представлять их геометрические и размерные зависимости от других деталей сборки.

Каждый компонент сборки существует в своем собственном файле и включается в сборку как ссылка. Можно редактировать находящиеся в сборке компоненты непосредственно в сборке, либо можно открыть файл компонента и отредактировать его. При внесении в компо-

нент изменений и его сохранении изменения отражаются в сборке.

Основные этапы построения модели сборочной единицы в системе КОМПАС-3D [5] следующие.

1. Создание документа «Сборка». Назначение свойств документа.
2. Создание геометрической модели сборочной единицы:
  - добавление существующих или (и) создание новых компонентов в Сборке;
  - определение взаимного положения составных частей изделия путем наложения зави-

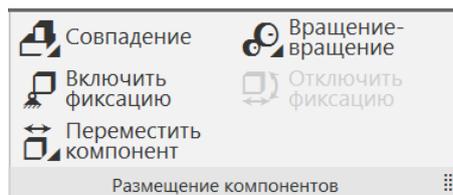


Рис. 5. Панель «Размещения компонентов»

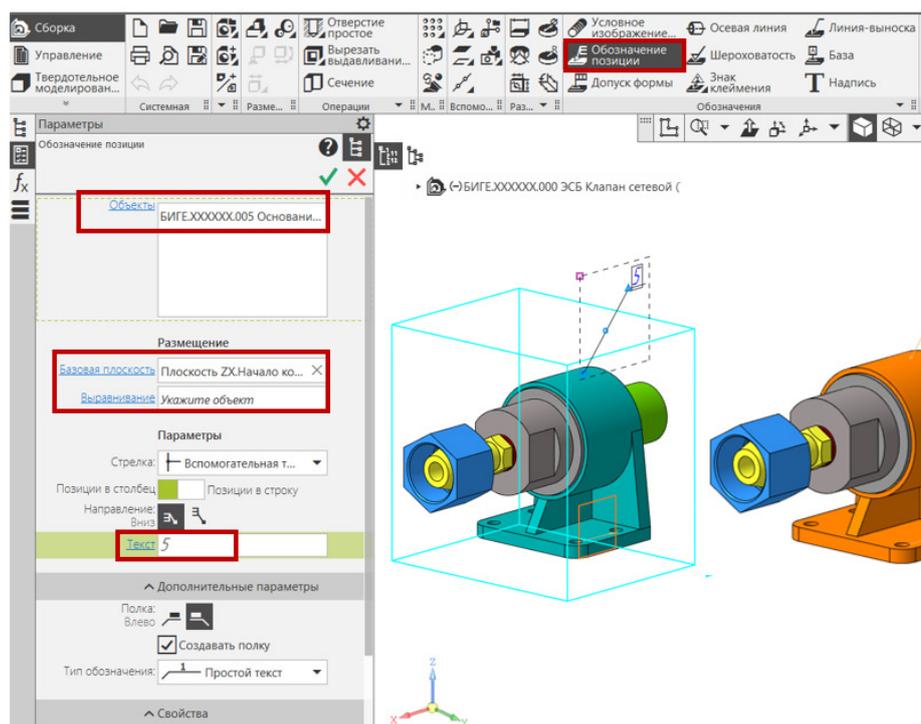


Рис. 6. Выполнение команды «Обозначение позиции»

симостей между ними;

- применение при необходимости завершающих операций (создание отверстий, фасок и пр.);

- проверка коллизий в Сборке.

3. Добавление атрибутов в электронную модель сборочной единицы (ЭМСЕ).

Рассмотрим создание модели сборочной единицы «Клапан сетевой» способом «Снизу вверх» (рис. 2, 3).

«Клапан сетевой» предназначен для предохранения газопроводной сети с горючим газом от случайного попадания в нее воздуха. При падении давления клапан перекрывает газопровод, исключая возможность обратного тока газа и предотвращая образование в газопроводе взрывоопасной смеси.

Работа устройства: при работе горючий газ

со стороны Ниппеля под давлением поступает в сетевой Клапан. Газ давит на Шарик и, преодолевая усилие Пружины, отжимает его от конического отверстия Корпуса. В образовавшееся отверстие газ через Штуцер проходит в газопроводную сеть.

В файле Сборки компоненты не имеют прямой связи друг с другом, за исключением отношений, возникающих при создании компонента в контексте Сборки, когда эскиз для создания компонента создается на грани другого компонента сборки, т.е. при проектировании «Сверху вниз».

Сопряжение – это параметрическая связь между компонентами сборки, формируемая путем задания взаимного положения их элементов. В сопряжениях могут участвовать грани, ребра, вершины, графические объекты в эски-

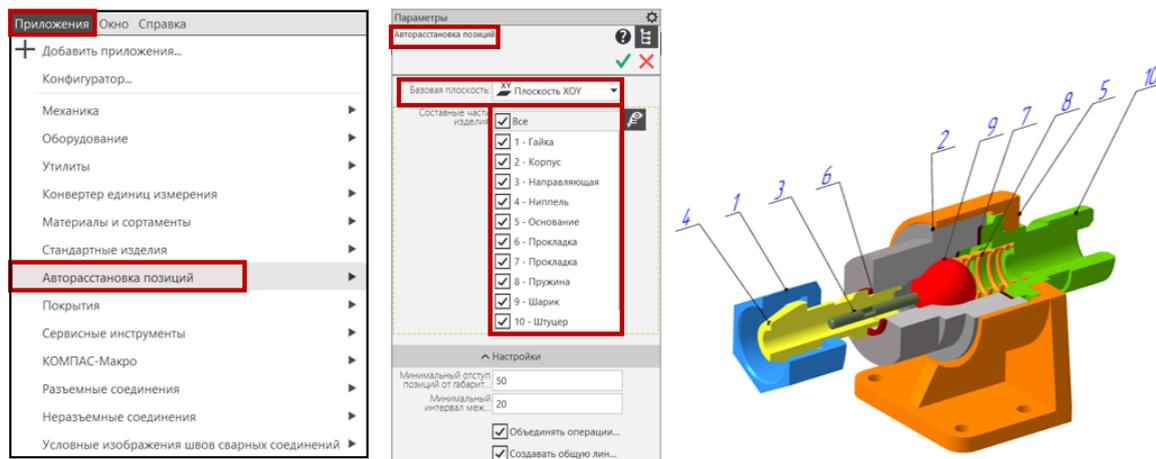


Рис. 7. Параметры и результат команды «Авторыстановка позиций»

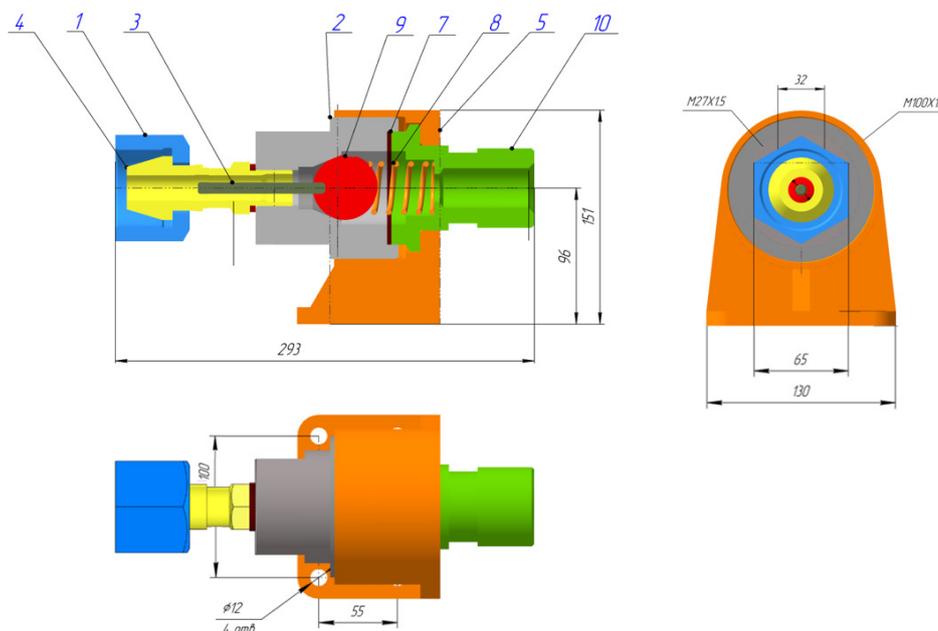


Рис. 8. Нанесение размеров на ЭМСЕ

зах [6; 7]. Одни и те же объекты могут участвовать в различных сопряжениях; возможно наложение различных сопряжений на одну и ту же пару объектов.

Последовательность задания взаимного положения компонентов в Сборке представлена на рис. 4.

При наложении сопряжений на компоненты сборки уменьшается число степеней свободы, позволяющих компонентам свободно перемещаться в пространстве. При размещении или

создании компонентов в Сборке рекомендуется соблюдать порядок, соответствующий порядку сборки изделия.

Команды наложения сопряжений между компонентами сборки размещены на панели «Размещение компонентов» (рис. 5).

Электронная модель сборочной единицы должна содержать параметры и требования, которые необходимо по ней выполнять или контролировать [8]:

- номера позиций составных частей, во-

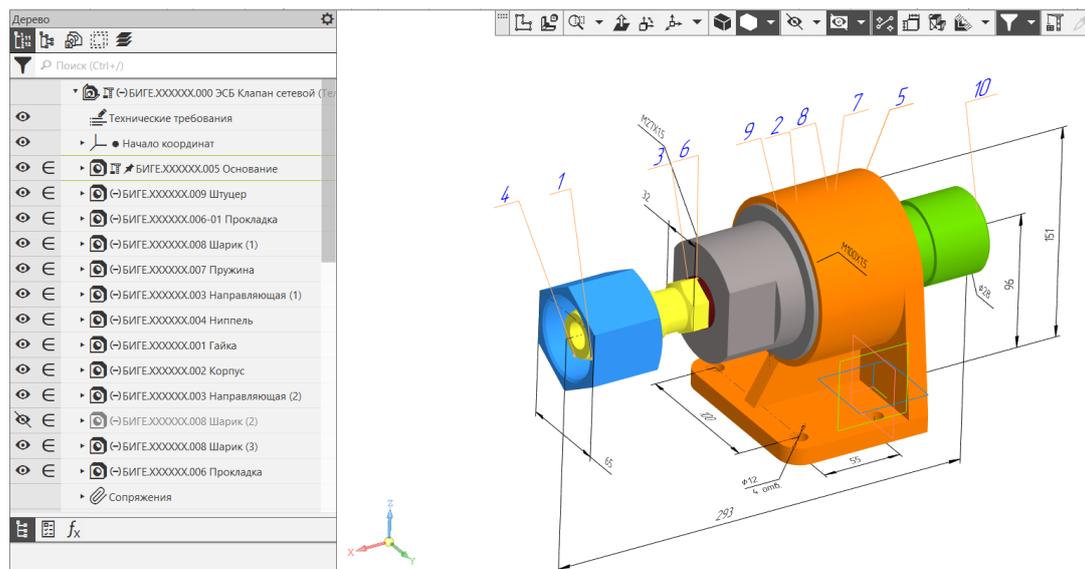


Рис. 9. Электронная модель сборочной единицы «Клапан сетевой»

дящих в изделие;

- установочные, присоединительные и другие необходимые справочные размеры;
- техническую характеристику изделия (при необходимости);
- указания о характере сопряжения элементов ЭМСЕ и методах его осуществления, если точность сопряжения обеспечивается не заданными предельными отклонениями размеров, а подбором, пригонкой и т.п.;
- указания о выполнении неразъемных соединений (сварных, паяных и др.).

Все составные части сборочной единицы нумеруют. Номера позиций должны соответствовать указанным в спецификации и/или электронной структуре изделия этой сборочной единицы.

В технических требованиях помещают необходимые указания по ГОСТ Р 2.109–2023.

Нанесение номеров позиций составных частей сборочной единицы осуществляется командой Сборка – Обозначения – Обозначение позиции. Для выполнения команды необходимо выбрать объект, базовую плоскость, параметры линии-выноски (вид концевого элемента, расположение полки линии-выноски, способ выравнивания номеров позиций, размер шрифта, цвет линии-выноски) (рис. 6).

КОМПАС-3D позволяет проставлять все позиции одновременно с помощью команды «Авторасстановка позиций» (рис. 7). Для вы-

полнения команды необходимо задать следующие параметры: выбрать составные части изделия, базовую плоскость, относительно которой выполняется ориентация линии-выноски, размерные зависимости положения номеров позиций.

Нанесение размеров на электронной модели сборочной единицы (рис. 8) осуществляется с помощью команд, расположенных на панели «Размеры».

На рис. 9 представлена электронная модель сборочной единицы «Клапан сетевой».

## Выводы

Материал, изложенный в статье, предназначен для освоения основных понятий в области инженерного 3D-проектирования, правил выполнения и оформления электронной конструкторской документации, строго соответствующей стандартам ЕСКД [9]. Использование средств информационных и коммуникационных технологий для создания трехмерных моделей и их чертежей является существенным вкладом в информатизацию образования [10]. Современные системы автоматизированного проектирования не только ускоряют процесс создания электронных геометрических моделей изделий, но и уменьшают объем конструкторской документации в бумажном виде.

**Список литературы**

1. Горячкина, А.Ю. Основы компьютерного геометрического моделирования изделий. Электронная модель детали / А.Ю. Горячкина, О.М. Корягина, Н.Г. Суркова // Учебное пособие. – М. : Спутник+, 2024. – 171 с.
2. Матушев, А.А. Технологии перевода технической документации с бумажных носителей в электронный вид / А.А. Матушев, Ф.Н. Лобанов. – СПб : Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I, 2014.
3. Чекмарев, А.А. Справочник по машиностроительному черчению / А.А. Чекмарев, В.К. Осипов // – 9-е изд., стер. – М. : Высшая школа, 2009. – 492 с.
4. Левицкий, В.С. Машиностроительное черчение и автоматизация выполнения чертежей / В.С. Левицкий // Учебник для вузов. – 9-е изд., испр. – М. : Высшая школа, 2009. – 434 с.
5. Большаков, В.П. 3D-моделирование в КОМПАС-3D версий v17 и выше / В.П. Большаков, А.В. Чагина // Учебное пособие для вузов. – М. : Питер, 2021. – 256 с.
6. Жирных, Б.Г. Начертательная геометрия / Б.Г. Жирных, В.И. Серегин, Ю.Э. Шарикян // Учебник. – М. : Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2017. – 166 с.
7. Юренкова, Л.Р. Теоретические основы построения разверток поверхностей. Конструирование разверток оболочек в программе Компас-3D / Л.Р. Юренкова, А.Б. Минеев, Ю.В. Щербакова [и др.] // Учебное пособие. – М. : НИЦ ИНФРА-М, 2024. – 55 с.
8. Пискунова, Е.Р. Сравнительный анализ программ 3D-моделирования КОМПАС-3D и Autodesk Inventor на примере сборочной единицы «Рычаг в сборе» / Е.Р. Пискунова, А.Ю. Горячкина, О.М. Корягина // Главный механик. – 2023. – № 10. – С. 596–604.
9. Сенченкова, Л.С. Инженерная графика / Л.С. Сенченкова, Н.В. Палий, А.Ю. Горячкина // Учебник. – 2-е изд. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2025. – 280 с.
10. Шагиев, А.М. Исследование и применение 3D-моделирования в образовательных целях / А.М. Шагиев, Б.К. Султанова // Актуальные научные исследования в современном мире. – 2021. – № 7-2(75). – С. 113–118.

**References**

1. Goryachkina, A.YU. Osnovy komp'yuternogo geometricheskogo modelirovaniya izdeliy. Elektronnyaya model' detali / A.YU. Goryachkina, O.M. Koryagina, N.G. Surkova // Uchebnoye posobiye. – M. : Sputnik+, 2024. – 171 s.
2. Matushev, A.A. Tekhnologii perevoda tekhnicheskoy dokumentatsii s bumazhnykh nositeley v elektronnyy vid / A.A. Matushev, F.N. Lobanov. – SPb : Peterburgskiy gosudarstvennyy universitet putey soobshcheniya Imperatora Aleksandra I, 2014.
3. Chekmarev, A.A. Spravochnik po mashinostroitel'nomu chercheniyu / A.A. Chekmarev, V.K. Osipov // – 9-ye izd., ster. – M. : Vysshaya shkola, 2009. – 492 s.
4. Levitskiy, V.S. Mashinostroitel'noye chercheniye i avtomatizatsiya vypolneniya chertezhey / V.S. Levitskiy // Uchebnyk dlya vtuzov. – 9-ye izd., ispr. – M. : Vysshaya shkola, 2009. – 434 s.
5. Bol'shakov, V.P. 3D-modelirovaniye v KOMPAS-3D versiy v17 i vyshe / V.P. Bol'shakov, A.V. Chagina // Uchebnoye posobiye dlya vuzov. – M. : Piter, 2021. – 256 s.
6. Zhirnykh, B.G. Nachertatel'naya geometriya / B.G. Zhirnykh, V.I. Seregin, YU.E. Sharikyan // Uchebnyk. – M. : Izd-vo MGTU im. N.E. Baumana, 2017. – 166 s.
7. Yurenkova, L.R. Teoreticheskiye osnovy postroyeniya razvertok poverkhnostey. Konstruirovaniye razvertok obolochek v programme Kompas-3D / L.R. Yurenkova, A.B. Mineyev, YU.V. Shcherbakova [i dr.] // Uchebnoye posobiye. – M. : NITS INFRA-M, 2024. – 55 s.
8. Piskunova, Ye.R. Sravnitel'nyy analiz programm 3D-modelirovaniya KOMPAS-3D i Autodesk Inventor na primere sborochnoy yedynitsy «Rychag v sbore» / Ye.R. Piskunova, A.YU. Goryachkina, O.M. Koryagina // Glavnyy mekhanik. – 2023. – № 10. – S. 596–604.
9. Senchenkova, L.S. Inzhenernaya grafika / L.S. Senchenkova, N.V. Paliy, A.YU. Goryachkina //

Uchebnik. – 2-ye izd. – M.: Izd-vo MGTU im. N.E. Baumana, 2025. – 280 s.

10. Shagiyev, A.M. Issledovaniye i primeneniye 3D-modelirovaniya v obrazovatel'nykh tselyakh / A.M. Shagiyev, B.K. Sultanova // Aktual'nyye nauchnyye issledovaniya v sovremennom mire. – 2021. – № 7-2(75). – S. 113–118.

---

© А.Ю. Горячкина, О.М. Корягина, Н.Г. Суркова, 2025

УДК 685.34.016.3

С.А. ЧУПИН, А.И. ИСАЕВ, Д.С. ЛЕВАШОВ

ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский горный университет императрицы  
Екатерины II», г. Санкт-Петербург

## ГЕНЕРАТИВНЫЙ ДИЗАЙН И ТОПОЛОГИЧЕСКАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ В ТЭК: ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ ДЛЯ УСТОЙЧИВОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ОБОРУДОВАНИЯ

*Ключевые слова:* генеративный дизайн; конструирование; оптимизация; проектирование; топливно-энергетический комплекс; топологическая оптимизация; цифровая трансформация.

*Аннотация.* В статье рассматриваются современные цифровые методы проектирования оборудования топливно-энергетического комплекса – генеративный дизайн и топологическая оптимизация. Актуальность исследования заключается в необходимости повышения энергоэффективности и снижения экологической нагрузки оборудования, работающего на предприятиях топливно-энергетического и минерально-сырьевого комплекса, с сохранением высокой надежности оборудования в условиях политики импортозамещения. Целью работы является обоснование применения топологической оптимизации и генеративного дизайна для проектирования и изготовления деталей и оборудования топливно-энергетического комплекса. Для достижения поставленной цели необходимо решить задачи выбора метода оптимизации и принципа генеративного дизайна применительно к специфике работы топливно-энергетического комплекса (экстремальные нагрузки, агрессивные среды, особенности производства и норм безопасности); оценить факторы экономической и экологической эффективности внедрения данных подходов и ограничения их применения. В качестве гипотезы исследования предполагается, что интеграция топологической оптимизации и генеративного дизайна в процесс проектирования оборудования топливно-энергетического комплекса позволит существенно снизить материалоемкость и массу конструкций при сохранении или повышении их прочности, надежности и долговечности,

что в совокупности приведет к значительному экономическому и экологическому эффекту за счет сокращения затрат на материалы и энергопотребление, а также уменьшения углеродного следа, что является ключевым аспектом устойчивого развития.

---

### Введение

Современный топливно-энергетический комплекс (ТЭК) России и мира в настоящее время находится в эпохе полной трансформации. Основными факторами такой трансформации являются, во-первых, волна декарбонизации и смена основных источников энергии, требующая повышения эффективности на всех технологических этапах от добычи до потребления для снижения выбросов углекислого газа [1]. Во-вторых, происходит ужесточение технического регламента и стандартов безопасности, что приводит к появлению повышенных требований к надежности и ресурсу оборудования [2]. В-третьих, ввиду санкционного давления и политики импортозамещения требуется создание конкурентоспособного оборудования, обладающего или превосходящего зарубежное оборудование по ключевым параметрам [3].

Традиционные методы проектирования, основанные на опытных методах и последовательных итерациях, зачастую не позволяют учесть одновременно большое количество противоречивых критериев оптимизации системы: минимальная масса, максимальная прочность и долговечность, технология изготовления и низкая стоимость. В таких условиях цифровое трансформирование проектирования и произ-

водственных процессов является необходимым этапом.

Традиционные методы проектирования зачастую основываются на опыте конструктора и имеющихся аналогах. При этом геометрическая модель создается в CAD-системах и затем анализируется с помощью CAE-расчетов. Этот процесс может состоять из множества итераций создания и модификации модели до нахождения оптимального решения. Такой процесс является трудоемким и не гарантирует нахождения наиболее рационального решения. Оборудование ТЭК обладает своей спецификой эксплуатации: экстремальные нагрузки (высокое давление, сейсмические и циклические нагружения), агрессивные среды, высокие требования к безотказности и безопасности [4]. В результате при проектировании конструкций закладывается большой запас прочности, что приводит к значительному утяжелению конструкции. Такой подход, хоть и позволяет создать надежность, но увеличивает материалоемкость оборудования, что напрямую противоречит принципам устойчивого развития и ресурсной эффективности [5].

Методы топологической оптимизации (ТО), основанные на работе [6], получили широкое применение в высокотехнологичных отраслях промышленности – аэрокосмическая [8] и автомобильная [8]. Генеративный дизайн [9], использующий искусственный интеллект для создания множества решений, активно развивается в научном обществе. Однако использование данных технологий при производстве оборудования для ТЭК остается пока еще на низком уровне и направлено на решение локальных задач, а не на комплексную трансформацию процесса проектирования [10; 11]. Ввиду таких решений имеются большие пробелы в исследованиях адаптации алгоритмов топологической оптимизации и генеративного дизайна к особым отраслевым стандартам и условиям эксплуатации. Слабо представлены и данные по сравнительному анализу экономического и экологического эффекта от внедрения данных технологий в реальных проектах ТЭК.

Целью исследования является научное обоснование возможности применения топологической оптимизации и генеративного дизайна при проектировании и изготовлении деталей и компонентов оборудования ТЭК. Для достижения поставленной цели необходимо решить ряд задач.

1. Провести сравнительный анализ принципов и подходов, используемых в программах для топологической оптимизации и генеративного дизайна.

2. Систематизировать особые требования, ограничения и риски при проектировании оборудования для ТЭК и машиностроительного комплекса (МСК).

### Теоретические и методические основы генеративного дизайна и топологической оптимизации

Начнем с топологической оптимизации. Методы топологической оптимизации и принципы их применения описаны в работе [6]. Основной задачей ТО является оптимальное распределение материала в пределах заданной проектной области в соответствии с установленными условиями нагружения, ограничениями и граничными условиями. Ключевым аспектом ТО является создание конструкций минимальной материалоемкости с сохранением требуемой прочности, жесткости и эксплуатационных характеристик.

Алгоритм топологической оптимизации состоит из нескольких последовательных этапов.

1. Определение геометрического пространства (ограниченный объем детали или конструкции, на котором работает алгоритм ТО).

2. Граничные условия (нагрузки, закрепления, зоны, не требующие изменения).

3. Определение ограничений (снижение массы, ограничение максимальных напряжений).

4. Расчет в специализированных программных комплексах.

5. Анализ результатов (геометрию после ТО зачастую необходимо дорабатывать в соответствии с технологическими возможностями).

Существует большое количество методов ТО, среди которых можно выделить следующие.

1. Метод плотности (*Solid Isotropic Material with Penalization – SIMP*) (рис. 1). Данный метод используется в большинстве коммерческих систем автоматизированного проектирования (САПР) (*Ansys*, *Компас-3D*, *Siemens NX* и др.). Метод *SIMP*, первоначально предложенный Бендсе в 1989 г. [6], а затем Чжоу и Розвани [12], вводит коэффициент штрафа  $\rho$  (где  $\rho > 1$ ) и формулирует тензор жесткости матери-

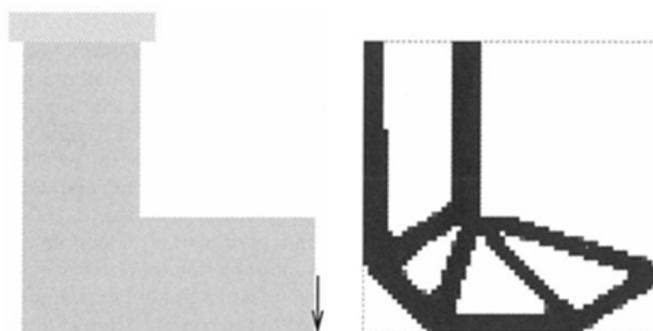


Рис. 1. Метод плотности [7]

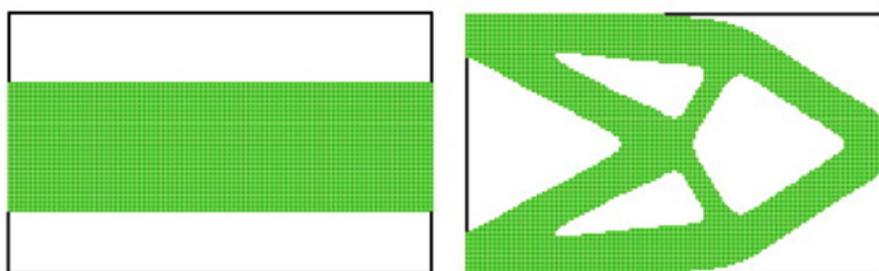


Рис. 2. Метод *BESO* [13]

ала, как показано в уравнении (1):

$$E_{ijkl}(x) = [\rho(x)]^p \bar{E}_{ijkl}, \quad (1)$$

где  $\bar{E}_{ijkl}$  – тензор жесткости четвертого порядка;  $\rho(x)$  – псевдоплотность ( $0 < \rho(x) \leq 1$ );  $p$  – штрафной коэффициент (обычно  $p \geq 3$ ). Значение псевдоплотности, равное 0, символизирует полное отсутствие материала (пустоту), а значение 1 – наличие сплошного материала. Метод схож с методом конечных элементов, так как рассчитываемая модель тоже разбивается на конечные элементы, формирующие одинаковую плотность. Для определения нагружения каждого элемента решается задача методом конечных элементов. По полученным полям напряжений и перемещений определяются места для изменения плотности распределения элементов в зависимости от цели топологической оптимизации (уменьшения массы с сохранением жесткости). Далее процесс повторяется до тех пор, пока не будет достигнут критерий сходимости или решение не перестанет сильно изменяться. На выходе получится карта распре-

деления плотности, в которой белые участки – наличие материала, черные – пустота, оттенки серого – промежуточные «оштрафованные» участки. На основе интерпретации этих карт строятся цифровые модели оптимизированных конструкций. Оптимизированные модели подвергаются ряду конструкторских изменений для сглаживания «пиксельных» краев и адаптации к конкретному производственному процессу (обработка на станках числового программного управления (ЧПУ), аддитивные технологии, литье и др.).

2. Метод граничных элементов (*Bidirectional Evolutionary Structural Optimization – BESO*) [13] (рис. 2). Метод основан на первоначальном заполнении пространства материалом и на последующем удалении материала в зоне с наименьшим нагружением и добавлении материала в зоне с повышенным напряжением при каждой итерации. Метод схож с изменениями в живых организмах, происшедших в процессе эволюции (кости человека и животных). Преимуществами этого метода являются более сглаженная форма конструкции и

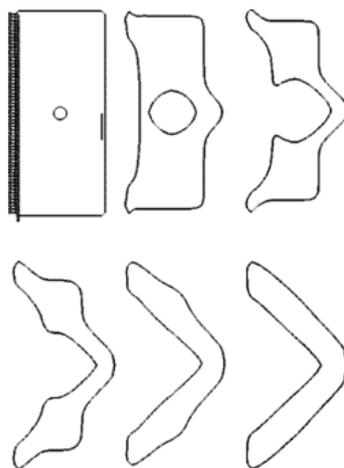


Рис. 3. Генерация модели методом уровня при разных итерациях [14]

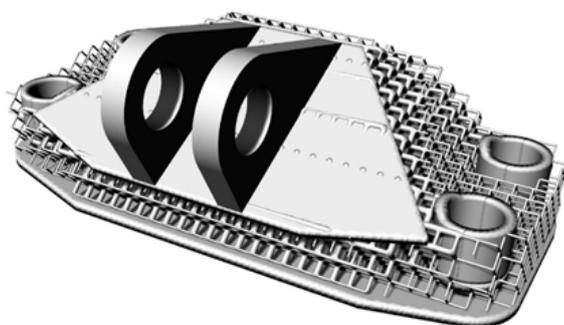


Рис. 4. Генерация модели с решетчатой структурой [16]

простая логика работы метода.

3. Метод уровня (*Level-Set*). Изменение геометрии происходит с помощью неявных функций, задающих границу между материалом и пустотой. Оптимизация происходит за счет движения этих границ. В результате такой оптимизации получают конструкции с гладкой поверхностью, пригодной для производства сразу после расчета [14] (рис. 3).

4. Метод решетчатых структур не является отдельным методом топологической оптимизации ввиду того, что геометрия изделия не меняется, а меняется только структура внутреннего заполнения [15]. Внутренняя полость обычно заполняется сетчатой формой (рис. 4). Степень измельчения и размер сетчатой структуры строятся в зависимости от локальных нагрузок. Таким образом, в зонах повышенного нагружения сетка более частая и толстостенная, а в зонах малого нагружения более крупная и тонкая. Такие конструкции обладают хороши-

ми прочностными свойствами наряду с малой массой. Обычно топологическая оптимизация данным методом состоит из двух этапов: на первом этапе определяются оптимальная внешняя форма и распределение материала (например, используется метод *SIMP* или *BESO*), а на втором этапе происходит заполнение сетчатой решеткой. Однако анализ и моделирование таких структур остается достаточно сложным, так как использование метода конечных элементов требует наличия больших вычислительных мощностей.

### Генеративный дизайн

Передовой технологией проектирования изделий, использующей искусственный интеллект, является генеративный дизайн [9]. В отличие от традиционного *CAD*-моделирования и топологической оптимизации, где создается или оптимизируется единственная форма, генера-



**Рис. 5.** Форма кронштейна, спроектированного конструктором (а), алгоритмами генеративного дизайна для аддитивного метода производства (б) и трехосевого станка ЧПУ (в) [10]

тивный дизайн воздаёт множество возможных форм, отвечающих заданным условиям (рис. 5). Основными этапами генеративного дизайна являются следующие пункты.

1. Задание целей и ограничений. Определяются: условия работы (нагрузка, закрепление, запретные зоны), цели (минимизация массы, равномерное распределение напряжения, увеличение жесткости и др.), технология изготовления (станки ЧПУ, литье, 3D-печать и др.), материалы (доступные материалы).

2. Генерация вариантов. Алгоритмы анализируют различные варианты и компоновки, комбинируют их, используют методы, схожие с топологической оптимизацией и решетчатыми структурами.

3. Сравнение и выбор. Система выдает семейства вариантов с различающейся геометрией, но удовлетворяющей установленным требованиям согласно Парето-оптимальной концепции. Согласно этой концепции улучшение одного параметра влечет ухудшение другого. Далее выбирается наилучший вариант, удовлетворяющий ключевым параметрам (масса, стоимость, производство, прочность, экологический след и др.).

Применение генеративного дизайна позволяет проектировать сложные конструкции, зачастую с формой значительно отличающейся от первоначальной. Ввиду этого результатом генеративного дизайна чаще всего являются конструкции, похожие на органические структуры.

Основным и наиболее эффективным способом производства изделий, полученных генеративным дизайном, выступают аддитивные технологии. Современное программное

обеспечение (*Autodesk Fusion 360*, *nTopology*, *Dassault Systems 3DEXPERIENCE*) в качестве ограничений позволяет выставлять технологические ограничения, включая не только способ изготовления, но и настройку локальных параметров технологии: направление печати (для аддитивных технологий), литейные уклоны (литье), канавки выхода режущего инструмента (фрезерование или точение).

#### **Специфика применения генеративного дизайна и топологической оптимизации в проектировании ТЭК**

Оборудование и конструкции, работающие на предприятиях ТЭК и МСК, подвергаются действию большого количества нагрузок, зачастую экстремальных. Такие воздействия вынуждают предъявлять к ним строгие нормы безопасности. Ряд нормативов для проектирования и эксплуатации оборудования ТЭК значительно строже, чем для других отраслей промышленности. Ввиду таких условий важным этапом при проектировании с использованием методов топологической оптимизации и генеративного дизайна является учет ряда факторов и требований: эксплуатационные условия и требования к надежности; материальные и производственные условия; стандартизация и сертификация; экономическая и экологическая эффективность.

#### **Эксплуатационные условия и требования к надежности**

Работа оборудования нефтегазового и энергетического сектора подвергается воздействию

ряда агрессивных факторов, к которым можно отнести: высокое давление и температура, динамические и вибрационные нагрузки, коррозионно-эрозионный износ. Высокое давление является одним из ключевых факторов нагружения оборудования нефтегазовой отрасли. Трубопроводная арматура, резервуары, ректификационные колонны, насосно-компрессорное оборудование и др. испытывают значительные статические и циклические нагрузки [17]. Буровые колонны и штанги, подъемно-транспортные агрегаты подвергаются растягивающим и крутящим нагрузкам [18]. Существуют динамические и вибрационные нагрузки. Турбины теплоэлектроцентрали (ТЭЦ), компрессоры, электродвигатели, насосы подвержены действию переменных сил, что предъявляет требования к усталостной прочности и динамическим характеристикам. Алгоритмы ТО и гидродинамики (ГД) должны быть настроены на увеличение первой собственной частоты конструкции для исключения резонанса [19]. Коррозионно-эрозионный износ: воздействие сероводорода, диоксида углерода, пластовые воды приводят к разрушению конструкций (трубы, крепления, сосуды). Алгоритмам необходимо дать ограничения в виде минимизации застойных и турбулентных зон, утолщения стенок и др. [20]. Помимо химического и электрохимического износа, в большой степени влияет на долговечность и механический износ [21]. Таким образом, необходимо предусмотреть различные усиления и крепления.

### **Материальные и производственные условия**

Работа в агрессивных средах, большие нагрузки, широкий диапазон температур требуют применения специальных материалов: например, нержавеющие стали и сплавы, титановые сплавы, жаропрочные сплавы, высокопрочные стали. Применение таких материалов при топологической оптимизации требует учета пластичности и физической нелинейности [22–24]. Эти требования значительно усложняют применяемые модели оптимизации. Одним из критериев влияния на прочностные характеристики является технология производства [25; 26]. Так, для производства роторов турбин основным методом остается механическая обработка, для корпусов насосов, редукторов – литье, а для буровых штанг – ковка. Детали, изготовленные

литьем и ковкой, или детали с разным направлением волокон обладают разными прочностными свойствами. Для адекватности расчетных моделей алгоритмы ГД и ТО должны иметь возможность наложения ограничений, таких как минимальные радиусы скруглений, плоскости разреза штампа, канавки для выхода инструмента, литейные уклоны и др. Такие меры позволяют наряду с повышенной прочностью сохранить технологичность изделий.

### **Стандартизация и сертификация**

Оборудование работающего в ТЭК МСК должно отвечать жестким требованиям безопасности. Основные требования устанавливаются в государственных стандартах (например, ГОСТ, ISO, DIN, ASME и др.), технических регламентах, федеральных нормах и правилах, нормативно-правовой технической документации, руководящей документации. Однако специальных регламентирующих документов для проектирования оборудования с использованием ТО и ГД не существует. При задании граничных условий и ограничений стоит руководствоваться основными нормативно-техническими документами, например, при проектировании сосудов, работающих под давлением, – обеспечить минимальную толщину стенки. Спроектированные конструкции обязательно должны быть подвергнуты верификации с помощью численных методов и физических испытаний. Численные методы, например, методы конечных элементов, позволяют учесть большое количество разнообразных нагружений и нелинейность материалов.

### **Экономическая и экологическая эффективность**

Генеративный дизайн и топологическая оптимизация оказывают положительное влияние не только на технологичность оборудования, но и на экономическую и экологическую эффективность. Экономическая эффективность от внедрения данных технологий складывается из снижения капитальных затрат и операционных расходов. Снижение капитальных затрат в основном связано со снижением массы металлоемких конструкций, изготавливаемых из дорогостоящего материала (нержавеющие стали, титановые сплавы и др.) [27; 28]. Сокращение операционных затрат связано с экономией энер-

гии при работе оборудования с более «совершенной» формой, например. Облегченные детали снижают количество потребляемой энергии, необходимой для их движения [29–31]. Экологическая эффективность прежде всего связана с сокращением углеродного следа. Производство металлов является крайне энергоемким процессом, сопровождающимся значительным выбросом углекислого газа [32; 33], снижение металлоемкости конструкций при помощи генеративного дизайна и топологической оптимизации позволит сократить выбросы углекислого газа при производстве металлов [34; 35]. Использование аддитивных технологий при производстве оптимизированных деталей приводит к рациональному использованию материалов за счет сокращения отходов. При этом материал используется только в местах, где функционально он необходим.

### Обсуждение

Проведенное исследование показывает, что применение генеративного дизайна и топологической оптимизации является не просто этапом классического конструирования узлов путем совершенствования геометрических параметров оборудования, а выступает в качестве связующего шага между традиционным и современным конструированием. Современные подходы конструирования и проектирования широко используют цифровые инструменты, такие *CAD/CAM/CAE*-системы, генеративные сети, методы быстрого прототипирования и др. Устойчивое развитие топливно-энергетического и минерально-сырьевого комплекса невозможно без применения таких технологий, и, прежде всего, влияние на него происходит по трем ключевым аспектам: экономический, экологический и технологический.

Экономическая эффективность внедрения топологической оптимизации и генеративного дизайна основана на снижении массы изделия. Так, снижение массы, помимо прямой экономии материалов, сопровождается уменьшением количества механической обработки, экономией места при складировании и транспортировке. Стоит учесть и другие косвенные показатели экономии – затраты энергии на транспортировку или движение оборудования. Применение более легких деталей, находящихся в движении, позволяет снизить долю динамической нагрузки на конструкции (подшипники, фундаменты

и др.). Однако использование генеративного дизайна и топологической оптимизации не всегда целесообразно [35]. В некоторых случаях конструкции, полученные генеративным дизайном, возможно изготовить только аддитивным способом или с использованием трехосевых станков ЧПУ, что совершенно не подходит для массового производства и приводит к значительному повышению цены изделия. Еще одним критерием, который влияет на экономическую составляющую, является высокая цена материалов, применяемых при аддитивном производстве.

Экологический эффект при применении генеративного дизайна и топологической оптимизации достигается на уровне прямого снижения потребления ресурсов и углеродного следа и на уровне использования изделий, сконструированных данными методами. Производство металлов является крайне энергоемкой стадией жизненного цикла изделия, требующей выработки большого числа энергии. Так, согласно работе [35], при производстве 1 кг стали выделяется около 2 кг углекислого газа. Косвенный экологический эффект достигается применением более совершенных оптимизированных конструкций, способствующих снижению энергопотерь и гидравлических сопротивлений, улучшению теплопередачи и др. Таким образом, новые технологии проектирования оказывают положительный экологический эффект на всех стадиях жизни изделия.

С технологической точки зрения применение генеративного дизайна способствует созданию новых проектных решений, основанных исключительно на физике работы детали, а не на интуиции и опыте конструктора. Совместное использование генеративного дизайна и аддитивных технологий позволит создавать интегрированные функциональные узлы – сборочные модели в виде детали, сокращая при этом сборочные операции и тем самым снижая количество потенциальных мест отказов. Однако такие конструкции требуют применения и новых оценок их надежности, так как существующие стандарты и правила основаны на классических методах производства и проектирования.

Несмотря на преимущества использования генеративного дизайна и топологической оптимизации при проектировании оборудования ТЭК, имеется и большое количество ограничений. Прежде всего они отражаются в необ-

ходимости использования современного автоматизированного оборудования: станки ЧПУ, промышленные 3D-принтеры. Использование данного типа оборудования невозможно без высококвалифицированного персонала, что приведет к необходимости переучивания персонала. Промышленные принтеры способны работать с различными металлическими материалами, пластиками, керамическими материалами. Самым распространенным методом 3D-печати такими материалами являются *SLS* (выборочное лазерное спекание) и *SLM* (выборочное лазерное плавление), использующие в качестве исходного материала порошки. В настоящее время стоимость порошков значительно превышает стоимость металлического проката, что приводит к повышению стоимости конечного продукта. Несмотря на то, что изделия, полученные 3D-печатью, в ряде случаев по прочностным характеристикам превосходят классические методы производства (например, литье), использование таких деталей в ответственных конструкциях требует значительного количества экспериментальных испытаний. Другим негативным аспектом применения изделий, подвергнутых генеративному дизайну, является их неудовлетворительная ремонтпригодность в полевых условиях ввиду нетривиальных форм изделий.

### Выводы

1. Генеративный дизайн и топологическая оптимизация являются перспективными

инструментами цифровой трансформации при проектировании объектов ТЭК и МСК, способствующими созданию облегченных изделий, обладающих удовлетворительной прочностью и жесткостью.

2. Применение методов генеративного дизайна и топологической оптимизации способствует снижению материалоемкости изделий, что влияет на экономическую и экологическую эффективность.

3. Успешная реализация использования генеративного дизайна и топологической оптимизации возможна только при учете специфики работы оборудования в ТЭК: строгие нормы безопасности, особенности применяемых материалов, экстремальные условия эксплуатации и производственные ограничения создания этих изделий.

4. В настоящее время наиболее эффективным способом создания оптимизированных конструкций являются аддитивные технологии. Однако имеется ряд факторов, ограничивающих использование этих технологий: высокая стоимость материалов и оборудования, отсутствие методик сертификации изделий.

5. Успешная реализация внедрения технологий оптимизации изделий возможна при соблюдении нескольких критериев: разработка стандартов и методик верификации изделий; подготовка квалифицированных специалистов как в области проектирования, так и в области производства изделий; более глубокая интеграция ограничений, присущих оборудованию ТЭК, в алгоритмы оптимизаций.

### Список литературы

1. Adams, S. Reducing carbon dioxide emissions; does renewable energy matter? / S. Adams, C. Nsiah // *Science of the Total Environment*. – 2019. – Vol. 693. – P. 133288.
2. Si, J. Research on reliability and maintainability of mechanical equipment / J. Si, X. Shi, X. Yu, C. Li, H. Shi // *Proceedings of the International Conference on Electronic & Mechanical Engineering and Information Technology*, 2011.
3. Жданеев, О.В. Обеспечение технологического суверенитета отраслей ТЭК Российской Федерации / О.В. Жданеев // *Записки Горного института*. – 2022. – Т. 258. – С. 1061–1078.
4. Дульзон, А.А. Ресурсоэффективность – основа устойчивого развития цивилизации / А.А. Дульзон, В.Я. Ушаков, П.С. Чубик // *Известия Томского политехнического университета*. – 2012. – Т. 320. – № 6. – С. 39–46.
5. Bendsøe, M.P. *Topology optimization: theory, methods, and applications* / M.P. Bendsøe, O. Sigmund // – Berlin: Springer, 2004. – 381 p.
6. Tyflopoulos, E. State of the art of generative design and topology optimization and potential research needs / E. Tyflopoulos, F.D. Tollnes, M. Steinert, A. Olsen // *Proceedings of NordDesign*, 2018.
7. Hasan, A.A. Topology optimization of an automotive seatbelt bracket considering fatigue / A.A. Hasan, B. Biswas // *Designs*. – 2024. – Vol. 8. – № 5. – 99.

8. Haridasan, P.K. Generative AI in manufacturing: a review of innovations, challenges, and future prospects / P.K. Haridasan // *Journal of Artificial Intelligence, Machine Learning and Data Science*. – 2024. – Vol. 2. – № 2.
9. Generative design: redefining what's possible in the future of manufacturing [Electronic resource]. – Access mode : <https://damassets.autodesk.net/content/dam/autodesk/www/industries/education/docs/ebook-generative-design-final.pdf>.
10. Song, Z. Dual-objective topology optimization design for latent heat storage systems using composite phase change materials / Z. Song, J. Wang, S. Tang, W. Li, M. Ma, D. Andronov, X. Fan, J. Cheng // *Energy*. – 2025. – Vol. 319. – P. 135069.
11. Zhou, M. The COC algorithm, part II: topological, geometrical and generalized shape optimization / M. Zhou, G.I.N. Rozvany // *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, 1991.
12. Huang, X. Convergent and mesh-independent solutions for the bi-directional evolutionary structural optimization method / X. Huang, Y.M. Xie // *Finite Elements in Analysis and Design*. – 2007. – Vol. 43. – No. 14.
13. Wang, M.Y. A level set method for structural topology optimization / M.Y. Wang, X. Wang, D. Guo // *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*. – 2003. – Vol. 192. – No. 1–2.
14. Pan, C. Design and optimization of lattice structures: a review / C. Pan, Y. Han, J. Lu // *Applied Sciences*. – 2020. – Vol. 10. – № 18. – P. 6374.
15. Tang, Y. Bidirectional evolutionary structural optimization (BESO) based design method for lattice structure to be fabricated by additive manufacturing / Y. Tang, A. Kurtz, Y.F. Zhao // *Computer-Aided Design*. – 2015. – Vol. 69.
16. Han, X. Dynamic characteristics analysis and optimization of oil tank / X. Han // *Vibroengineering Procedia*. – 2024. – Vol. 57.
17. Dou, Y. Analysis of loads and stresses of drilling tool in trenchless directional drilling / Y. Dou, J. Yang, Y. Cao // *Proceedings of the International Conference on Pipelines and Trenchless Technology*, 2012.
18. Васильев, Б.Е. Анализ возможности применения топологической оптимизации при проектировании неохлаждаемых рабочих лопаток турбин / Б.Е. Васильев, Л.А. Магерамова // *Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета*. – 2015. – Т. 14. – № 3. – Ч. 1. – С. 139–146.
19. Sun, Y. Investigation of turbulence characteristics influenced by flow velocity, roughness, and eccentricity in horizontal annuli based on numerical simulation / Y. Sun, J. Sun, J. Zhang, N. Huang // *Symmetry*. – 2025. – Vol. 17. – № 3. – 409. – DOI: 10.3390/sym17030409.
20. Расторгуев, Г.А. Эксплуатационный износ деталей нефтегазового оборудования / Г.А. Расторгуев // *Известия высших учебных заведений. Нефть и газ*. – 2014. – № 1. – С. 103–112.
21. Min, S. Optimal topology design of structures under dynamic loads / S. Min, N. Kikuchi, Y.C. Park, S. Kim, S. Chang // *Structural Optimization*. – 1999. – Vol. 17.
22. Alavi, S.A. Topology optimization of structures under transient loads / S.A. Alavi, B. Ahmadi-Nedushan, H. Rahimi Bondarabadi // *International Journal of Optimization in Civil Engineering*. – 2011. – No. 1.
23. Wehrle, E.J. Topology optimization of transient nonlinear structures: a comparative assessment of methods / E.J. Wehrle, Y.H. Han, F. Duddeck // *European LS-DYNA Conference*, 2015.
24. Mirzendehtel, A.M. Topology optimization with accessibility constraint for multi-axis machining / A.M. Mirzendehtel, M. Behandish, S. Nelaturi // *Computer-Aided Design*. – 2020. – Vol. 122. – P. 102825.
25. Buonamici, F. Generative design: an explorative study / F. Buonamici, M. Carfagni, R. Furferi, Y. Volpe, L. Governi // *Computer-Aided Design and Applications*. – 2021. – Vol. 18. – No. 1.
26. 10 benefits of generative design [Electronic resource]. – Access mode : <https://blog.manufacturing.hexagon.com/advanced-manufacturing/generative-design/10-benefits-generative-design>.
27. Generative design in manufacturing is transforming the industry [Electronic resource]. – Access mode : <https://www.autodesk.com/design-make/articles/generative-design-in-manufacturing>.
28. Lui, S. Topology optimization design with additive manufacturing constraints for centrifugal

impeller / S. Lui, D. Mi, C. Wen, Y. Zheng // *Journal of Physics: Conference Series*. – 2022. – Vol. 2252. – P. 012026.

29. Zhang, H. Topology optimization of centrifugal compressor exhaust volute with discrete adjoint method / H. Zhang, S. Wan, M. Jiang, X. Xi, S. Xu // *Proceedings of the ASME Turbo Expo 2024*, 2024.

30. Yan, C. Topology optimization of turbine disk considering maximum stress prediction and constraints / C. Yan, C. Liu, H. Du, C. Wang, Z. Yin // *Chinese Journal of Aeronautics*. – 2023. – Vol. 36. – No. 8.

31. Ahmad, S. Carbon emissions in metal manufacturing productivity: a global analysis of aluminium smelting / S. Ahmad, J. Steen, T. Zajac, M. Azadi, S.H. Ali // *Energy Research & Social Science*. – 2025. – Vol. 129. – P. 104343.

32. Huang, J.-B. An overview of carbon dioxide emissions from China's ferrous metal industry: 1991–2030 / J.-B. Huang, Y.-M. Luo, C. Feng // *Resources Policy*. – Vol. 62.

33. Duriez, E. Ecodesign with topology optimization / E. Duriez, J. Morlier, C. Azzaro-Pantel, M. Charlotte // *Procedia CIRP*. – 2022. – No. 109.

34. Borda, F. Environmental impact of process-constrained topology optimization design on automotive component life / F. Borda, A.D. La Rosa, L. Filice, F. Gagliardi // *International Journal of Material Forming*. – 2023. – Vol. 16. – № 48. – DOI: 10.1007/s12289-023-01771-2.

35. Hasanbeigi, A. Comparison of carbon dioxide emissions intensity of steel production in China, Germany, Mexico, and the United States / A. Hasanbeigi, M. Arens, J.C.R. Cardenas, L. Price, R. Triolo // *Resources, Conservation and Recycling*. – Vol. 113.

### References

3. Zhdaneyev, O.V. Obespecheniye tekhnologicheskogo suvereniteta otrasley TEK Rossiyskoy Federatsii / O.V. Zhdaneyev // *Zapiski Gornogo instituta*. – 2022. – T. 258. – S. 1061–1078.

4. Dul'zon, A.A. Resursoeffektivnost' – osnova ustoychivogo razvitiya tsivilizatsii / A.A. Dul'zon, V.YA. Ushakov, P.S. Chubik // *Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta*. – 2012. – T. 320. – № 6. – S. 39–46.

18. Vasil'yev, B.Ye. Analiz vozmozhnosti primeneniya topologicheskoy optimizatsii pri proyektirovani neokhlazhdayemykh rabochikh lopatok turbin / B.Ye. Vasil'yev, L.A. Magerramova // *Vestnik Samarskogo gosudarstvennogo aerokosmicheskogo universiteta*. – 2015. – T. 14. – № 3. – CH. 1. – S. 139–146.

20. Rastorguyev, G.A. Ekspluatatsionnyy iznos detaley neftegazovogo oborudovaniya / G.A. Rastorguyev // *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Neft' i gaz*. – 2014. – № 1. – S. 103–112.

---

© С.А. Чупин, А.И. Исаев, Д.С. Левашов, 2025

УДК 623.592, 685.34.016.3, 004.92

С.А. ЧУПИН, А.И. ИСАЕВ, Д.С. ЛЕВАШОВ, М.В. НАТЧУК  
ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский горный университет императрицы  
Екатерины II», г. Санкт-Петербург

## РАЗРАБОТКА ЦИФРОВОЙ МОДЕЛИ СИМУЛЯЦИОННОГО КОМПЛЕКСА В UNREAL ENGINE ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ УСТОЙЧИВОСТИ ДОБЫВАЮЩИХ ПРОИЗВОДСТВ

*Ключевые слова:* виртуальный тренажер; карьерный автосамосвал; обучение; переподготовка персонала; тренажер; цифровая модель; 3D-модель; *Unreal Engine*.

*Аннотация.* Целью исследования является разработка прототипа виртуального тренажера карьерного автосамосвала на базе игрового программного комплекса *Unreal Engine 5* для повышения эффективности и безопасности подготовки операторов. Гипотеза исследования заключалась в том, что использование *Unreal Engine 5* в качестве платформы позволит создать гибкий, реалистичный и экономически эффективный симуляционный комплекс, пригодный для отработки навыков управления в виртуальной среде, моделирования аварийных ситуаций и, как следствие, повышения устойчивости добывающих производств.

Для достижения поставленной цели и проверки гипотезы были решены следующие задачи: проведен анализ существующих решений и обоснован выбор *Unreal Engine 5*; разработана модельная архитектура тренажера; создана детализированная модель самосвала БЕЛАЗ и ландшафта; настроена физичность транспортных средств.

Сделан вывод о том, что разработанный прототип является эффективным инструментом для начальной подготовки и переподготовки операторов, позволяющим отрабатывать навыки управления в безопасной виртуальной среде и моделировать различные, в том числе аварийные, сценарии, что способствует снижению затрат и повышению устойчивости добывающих производств.

### Введение

В настоящее время развитие технологий виртуальной и дополненной реальности нашло широкое применение в виртуальных симуляторах и тренажерах, применяемых в образовательных и промышленных сферах [1]. Наиболее перспективным является направление обучения операторов специализированной техники [2–4]: экскаваторы, карьерные автосамосвалы, грейдеры и др. Ввиду специфики работы оборудования в горнодобывающей и строительной отрасли, связанной с размерами техники, климатическими условиями, условиями работы и стоимостью техники, обучение с помощью таких форм обучения является актуальным. Традиционные методы подготовки операторов предполагают использование реальных машин и специализированных полигонов. Однако такой метод подготовки требует значительных финансовых ресурсов, подготовленного персонала и времени. Также не всегда есть возможность отработать все аварийные и внештатные ситуации. В этой связи создание виртуальных тренажеров является экономически более выгодным и эффективным способом обучения персонала [5]. Виртуальные тренажеры позволяют взаимодействовать с цифровой моделью машины, управлять системами, следить за состоянием машины, отрабатывать движение, погрузку и разгрузку на реальных моделях горных предприятий. Такое обучение позволяет производить начальную подготовку, переподготовку или повышение квалификации операторов перед отработкой на реальной

машине [6].

Современные программные комплексы для создания виртуального окружения позволяют визуализировать прототипы реального оборудования, производственную площадку, окружающее пространство с высокой детализацией и реалистичностью. Одной из передовых платформ является *Unreal Engine 5*, позволяющий реалистично визуализировать различные физические объекты и явления [7–9]. Применяемые технологии *Nanite* и *Lumen* обеспечивают фотореалистичную графику. Наличие дополнительных модулей позволяет физически корректно передавать движения и взаимодействия объектов.

Целью данной статьи является разработка прототипа виртуального тренажера карьерного автосамосвала на основе *Unreal Engine 5*, обеспечивающего реалистичное управление самосвалом на реальном горном предприятии.

### Обзор существующих решений и технологий

Совершенствование технологий трехмерной графики и создания виртуальных сред приводит к быстрому развитию тренажеров для обучения операторов. В настоящее время имеется большое количество тренажеров-симуляторов карьерной техники, поставляемых непосредственно производителями горной техники. Ведущие компании по производству горной техники *Caterpillar*, *Komatsu*, БЕЛАЗ, *Liebherr* поставляют полные комплекты тренажеров, включающие не только программное обеспечение, но и физическое место оператора. Такие тренажеры имеют большое количество высококачественных моделей горной техники и программ тренировок работы на них. Аналогичные решения предлагают и сторонние компании, например, тренажеры *Vortex Studio* [10], *CYBERMINE* [11], *Operex* [12] и др. Такие решения обладают более качественным графическим оформлением, высокой точностью физического моделирования процессов, возможностью сетевого взаимодействия (работа нескольких операторов), однако все это приводит к высокой стоимости тренажеров и необходимости использования высокопроизводительного вычислительного оборудования.

Образовательные учреждения для исследо-

вания и обучения зачастую создают свои симуляторы. В качестве программного обеспечения используются современные игровые платформы для разработки игр *Unreal Engine*, *Unity* и *CryEngine*.

Платформа *Unity* [13] получила широкую популярность для создания мобильных игр и приложений виртуальной реальности. Однако, несмотря на наличие широкого спектра обучающих материалов, дополнительных плагинов и большого общества разработчиков, *Unity* уступает в реалистичности и масштабируемости создаваемых сцен. Эти недостатки приводят к невозможности детальной проработки проектов как в области фотореалистичности, так и физичности движения техники.

*CryEngine* [14] получил широкое распространение при создании игр. Создаваемые сцены обладают высокой реалистичностью и проработанностью физичности объектов. Однако данная платформа не является открытой и редко применяется в академической среде.

В настоящее время наиболее универсальной платформой для создания реалистичных симуляторов является *Unreal Engine 5* [15]. Платформа, разработанная первоначально для создания игр, в настоящее время позволяет визуализировать пространства с использованием визуальных эффектов, создавать приложения и симуляторы для мобильных устройств и персональных компьютеров, в том числе и с применением виртуальной и дополненной реальности. Применение технологии *Nanite* обеспечивает работу с высокополигональными детализированными 3D-объектами без потери производительности, а технология *Lumen* позволяет реализовать динамическое освещение и отражение. Для передачи физичности и механики движения транспортных средств в платформу встроена система *Chaos Physics*. Наличие системы визуального программирования *Blueprints* (наряду с классическим программированием на языке C++) обеспечивает интуитивно понятную логику взаимодействия всех систем, облегчая их настройку. Такие системы делают платформу доступной для большого числа пользователей, даже без знаний языков программирования. Дополнительное знание языков программирования, в частности C++, дает возможность подключения виртуальных сцен к физическим платфор-

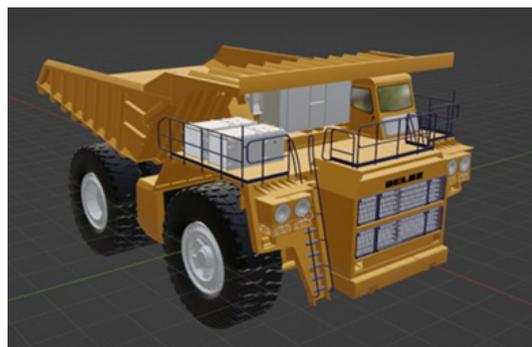


Рис. 1. Модель карьерного автосамосвала БЕЛАЗ

мам, имитирующим движение транспортных средств [16].

Анализ существующих решений показал, что в настоящее время наиболее гибкой и универсальной платформой, способной работать с виртуальными пространствами и физическими платформами, обеспечивая высокую реалистичность объектов, является платформа *Unreal Engine*.

### Разработка симулятора

Архитектура тренажеров основывается на принципе модульности. Каждый модуль выполняет определенный набор функций, который гибко расширяется и изменяется. Такая архитектура обеспечивает наращивание функционала системы и адаптации к различным сценариям.

Архитектура виртуального тренажера состоит из четырех подсистем.

1. Модуль визуализации и 3D-графики. Модуль визуального представления окружающего пространства и объектов. В этом модуле создаются и настраиваются 3D-модели карьерного автосамосвала, модель карьера (отвала), освещение, погодные условия и др.

2. Модуль физического моделирования. Модуль создания и задания физического взаимодействия между объектами. Он включает в себя создание механики движения, настройку динамики компонентов, физичности взаимодействия (коэффициенты трения, сцепления), создание грунтов и взаимодействия с внешними устройствами ввода и вывода (физической платформы). Настройка системы проводится для различных сценариев работы самосвала: сте-

пень загрузки, сцепление колес в зависимости от покрытий.

3. Модуль управления и взаимодействия с пользователем. Модуль подготовки сценариев взаимодействия симулятора и пользователя. Взаимодействие может осуществляться через систему *Blueprints* и пользовательский интерфейс, включающий панель приборов (отслеживание скорости движения, обороты двигателя, уровень топлива и др.), датчики состояния узлов и элементы управления кузовом. При наличии *VR*-оборудования возможна адаптация интерфейса под взаимодействием контроллеров или трекинга рук [18].

4. Модуль сбора и анализа данных. Модуль фиксации действий обучаемого и параметров транспортного средства необходим для отслеживания прогресса обучения студентов. Сбор данных позволяет анализировать как ошибки, допускаемые студентом, так и ошибки, возникающие на самосвале.

Использование модульной архитектуры построения симулятора позволяет гибко настраивать систему, включая поведение самосвала, изменение или добавление новых сценариев обучения, добавление моделей разных самосвалов и площадок их использования.

В данной работе представлены результаты, выполненные только в модуле визуализации и 3D-графики и модуле физического моделирования.

### 3D-модели объектов

Тренажер-симулятор создавался на основе карьерного автосамосвала БЕЛАЗ. Модель самосвала была создана в программном ком-



Рис. 2. Модель отвала путем аэрофотосъемки и последующей обработки снимков методами фотограмметрии

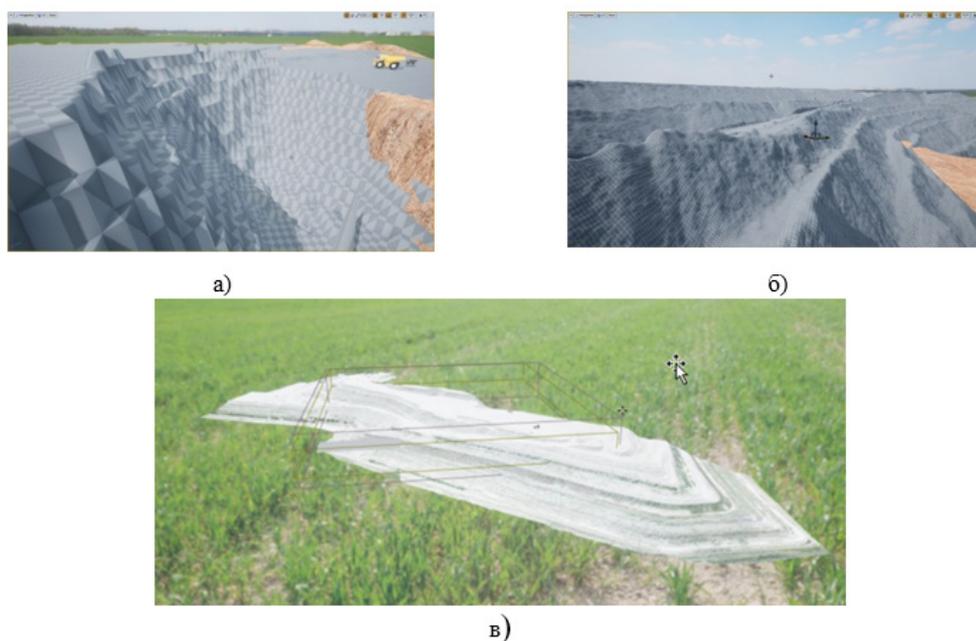


Рис. 3. Ландшафт внешнего окружения: а) ландшафт с ошибочной геометрией; б) ландшафт с исправленной геометрией; в) полная модель ландшафта

плексе *Blender* (рис. 1). В качестве образца для создания 3D-модели использовалась масштабная модель карьерного автосамосвала. Модель карьерного самосвала детализировалась с акцентом на внешнюю форму. Внутренние компоненты и системы не моделировались. Цветовая схема подобрана близкой к реальному цвету карьерных автосамосвалов.

В качестве трассы для движения самосвала использовалась модель отвала горных пород. Трасса относится к геометрическим элементам внешнего окружения. Для создания таких объектов используются способы твердотельного моделирования, ручная деформация плоскости

методом лепки (*sculpting*), деформация плоскостей через карту высот, поверхности через облака точек. Методы твердотельного моделирования используются редко ввиду сложности обработки программными комплексами таких объектов при работе симуляторов. Метод лепки применим при создании небольших сцен без требований создания точной геометрии ландшафта. Создание ландшафта с использованием карты высот (*heightmaps*) заключается в том, что модель задается как плоская картинка вида сверху, где координаты по осям  $X$  и  $Y$  представлены на плоскости, а ось  $Z$  представлена в виде градации серого цвета, где белый – наи-

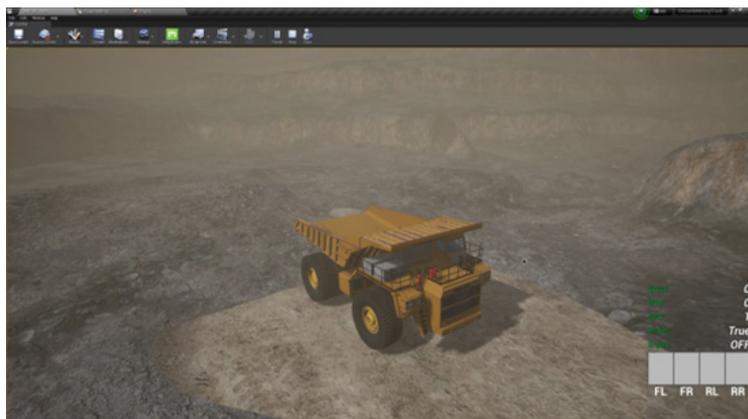


Рис. 4. Пример интерфейса симулятора карьерного автосамосвала

высшая точка и черный – наименьшая. В итоге образуется точная копия ландшафта без необходимости его редактирования. Но зачастую это идеализированный вариант, как правило, при разработке необходимо дорабатывать отдельные фрагменты карты. Карты высот обычно импортируют с данных спутников из открытых источников или же используют облако точек и через специальные приложения строят карту высот. Облака точек позволяют получить наиболее детализированную модель ландшафта, так как они получаются путем сканирования местности. Однако такие модели образуют файлы большого размера и требуют предварительной обработки в специализированном программном обеспечении.

Модель отвала была получена путем аэрофотосъемки и последующей обработки снимков методами фотограмметрии (рис. 2). Было установлено, что конвертация данных модели в карту высот создает плоское изображение высокого разрешения (13 576 x 13 828), которое не поддерживается *Unreal Engine*. Программными средствами *Unreal Engine* объединяет соседние пиксели, снижая разрешение изображения до поддерживаемого, при этом теряется большая часть информации и ландшафт формируется некорректно.

Оптимальным вариантом создания ландшафта оказалось использование специализированного *Lidar-plugin* в *Unreal Engine*. Ландшафт, созданный таким способом, детализировано отражает реальный объект, однако значительно увеличивает размер файла симулятора. Было обнаружено, что облака точек формируют в некоторых зонах ошибочный ландшафт (рис. 3а).

Ошибки возникают из-за неправильной координаты  $z$  некоторых точек. Для исправления требуется исправить или удалить эти точки и перестроить ландшафт (рис. 3б).

Созданные модели из облака точек не всегда реалистично отображают поверхность ландшафта. Для увеличения реалистичности применяются дополнительные приемы текстурирования и освещения. Процесс текстурирования представляет собой добавление различных карт, обеспечивающих нужный цвет, шероховатость, отражение и др. Освещение в сценах подразделяется на глобальное и локальное. Глобальное применяется для освещения всех сцен (положение солнца, расположение *HDRI*-карты и др.), а локальное используется при моделировании точечных источников света, например, фары автомобиля, столбов освещения и др. Изменение источников освещения и текстур позволяет симитировать время суток и погодные условия (облачность). Для более детальной имитации погодных условий используются специальные связки в системе *Blueprints* (например, системы частиц и *Lumen*), позволяющие создать дождь, снег, ветер, молнии и др.

Физическое взаимодействие между объектами задается также с помощью системы *Blueprints*. Основным модулем для моделирования движения транспортных средств в *Unreal Engine* является *Chaos Vehicle*. Однако данный модуль, предназначенный для создания аркадных игр, не способен передавать динамические параметры транспортных средств: ускорение, крутящий момент, мощность двигателя и др.

При создании модели движения карьерного самосвала за основу были взяты тяговые характеристики карьерных автосамосвалов БЕЛАЗ [17]. Структура работы модуля *Chaos Vehicle* основана на работе ряда подключенных функций: *GetVehicleMovementComponent* – доступ ко всем компонентам системы; *EngineSetup.MaxTorque* – максимальный момент на двигателе; *EngineSetup.EngineRPMRange* – минимальные и максимальные обороты; *EngineSetup.TorqueCurve* – кривая изменения крутящего момента и др. Каждая из функций позволяет настраивать компоненты в соответствии с характеристиками самосвала.

Аналогичным образом подключаются и настраиваются другие модули движения самосвала. Значения переменных в функциях являются справочными величинами и для увеличения сходимости с работой реальных самосвалов требуется проведение экспериментальных исследований с фиксированием параметров на каждом модуле. Пример интерфейса симулятора приведен на рис. 4.

В данной работе не прорабатывались различные сценарии работы самосвала, включающие в себя погрузку и выгрузку материалов, столкновения с препятствиями, работу в разных погодных условиях и др. Различные сценарии работы самосвалов требуют добавления трехмерных элементов в модель техники и добавления модулей физичности движения этих элементов и объектов.

## Выводы

Современные цифровые технологии предлагают большое количество средств и способов решения различных производственных и учебных задач. Одним из популярных средств является геймификация решения задач. Развитие игровой индустрии привело к появлению различных программных комплексов создания не только игр, но и симуляторов, интуитивно понятных для большого числа пользователей. Использование современных систем трехмерного моделирования, таких как *Blender* и программного комплекса создания игр и виртуальных пространств *Unreal Engine*, позволило произвести быстрое и гибкое регулирование внешнего окружения и объектов, включая создание модели ландшафта и модели самосвалов. Однако для полноценного использования тренажера следует произвести значительную проработку сценариев карьерной техники и номенклатуры карьерных самосвалов. Тренажеры-симуляторы являются хорошим способом улучшения навыков управления оператором карьерного самосвала перед практическими занятиями на действующей технике и моделирования различных сценариев работы техники, включая внештатные и аварийные ситуации, способствующие снижению как косвенных, так и прямых затрат при проведении горных работ и повышающие устойчивость добывающих производств.

## Список литературы

1. Semchenko, A. Modeling the effectiveness of FPV drone operator training using simulators and online platforms / A. Semchenko, G. Baiseitov, D. Shandronov, Z. Kutpanova // *Scientific Journal of Astana IT University*. – 2025. – DOI: 10.37943/23WKCN1585.
2. Watanabe, H. Visually induced motion sickness during tele-operation of an excavator simulator: effects of virtual reality devices and operation delay / H. Watanabe, H. Ujike, Y. Matsumura, K. Okuda // *Journal of Robotics and Mechatronics*. – 2025. – Vol. 37. – No. 3. – P. 648–665.
3. Lee, E. The efficacy of simulator technology for forwarder operator training: a preliminary study in South Korea / E. Lee, H. Mun, H. Lim, S. Park // *Forests*. – 2025. – Vol. 16. – No. 6. – 882.
4. Ni, T. Design of highly realistic virtual environment for excavator simulator / T. Ni, H. Zhang, C. Yu, D. Zhao, S. Liu // *Computers & Electrical Engineering*. – 2013. – Vol. 39. – No. 7. – P. 2112–2123.
5. Koteleva, N. Investigation of the effectiveness of an augmented reality and a dynamic simulation system collaboration in oil pump maintenance / N. Koteleva, I. Frenkel, V. Valnev // *Applied Sciences*. – 2021. – Vol. 12. – No. 1. – P. 350.
6. Chen, J. Integrating lean thinking into crane operator training with a digital coach to enhance safety and productivity in virtual environments / J. Chen, F. Man, S. Han, M. Kim, Q. Du, H. Chi //

Automation in Construction. – 2025. – Vol. 178. – P. 106430.

7. Sobchyshak, O. Pushing the boundaries of immersion and storytelling: a technical review of Unreal Engine / O. Sobchyshak, S. Berrezueta-Guzman, S. Wagner // Displays. – 2026. – Vol. 91. – P. 103268.

8. Lalezar, M. A model predictive control algorithm for autonomous mining dump trucks / M. Lalezar, I. Izadi, S.H. Hoseinie // IFAC-PapersOnLine. – 2024. – Vol. 58. – No. 22. – P. 60–65.

9. Yu, H. Developing platform of 3-D visualization of forest landscape / H. Yu, M.M. Wu, H.S. He // Environmental Modelling & Software. – 2022. – Vol. 157. – P. 105524.

10. Официальный сайт тренажеров Vortex Studio [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://www.cm-labs.com>.

11. Официальный сайт тренажеров CYBERMINE [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://www.thoroughtec.com>.

12. Официальный сайт тренажеров Operex [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://operex.ru>.

13. Официальный сайт Unity [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://unity.com>.

14. Официальный сайт CryEngine [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://www.cryengine.com>.

15. Официальный сайт Unreal Engine [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://www.unrealengine.com>.

16. Jirgl, M. Human driver performance assessment based on HiLCPS concept / M. Jirgl, P. Fiedler, Z. Bradac // IFAC-PapersOnLine. – 2022. – Vol. 55. – No. 4. – P. 345–350.

17. КТЭО Б-90 для самосвала БЕЛАЗ 7558Н, 75589 грузоподъемностью 90 т [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://www.ruselprom.ru/for-industries/transport/privod-bolshegruznykh-karernykh-samosvalov/kteo-b-90-dlya-samosvala-belaz-75585-gruzopodemnost-90-t>.

18. Riesener, M. Development of a VR-based digital factory planning platform for dynamic 3D layout editing / M. Riesener, E. Schukat, L.A. Curiel-Ramirez, N. Schafer, A. Valdez-Heras // Procedia CIRP. – 2024. – Vol. 130. – P. 419–426.

### References

10. Ofitsial'nyy sayt trenazherov Vortex Studio [Electronic resource]. – Access mode : <https://www.cm-labs.com>.

11. Ofitsial'nyy sayt trenazherov CYBERMINE [Electronic resource]. – Access mode : <https://www.thoroughtec.com>.

12. Ofitsial'nyy sayt trenazherov Operex [Electronic resource]. – Access mode : <https://operex.ru>.

13. Ofitsial'nyy sayt Unity [Electronic resource]. – Access mode : <https://unity.com>.

14. Ofitsial'nyy sayt CryEngine [Electronic resource]. – Access mode : <https://www.cryengine.com>.

15. Ofitsial'nyy sayt Unreal Engine [Electronic resource]. – Access mode : <https://www.unrealengine.com>.

---

© С.А. Чупин, А.И. Исаев, Д.С. Левашов, М.В. Нагчук, 2025

УДК 070.11:004.77

В.В. ШВЕЦОВА, О.Н. ЛЕОНОВА

ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет», г. Санкт-Петербург

## ПОТЕНЦИАЛ ТРАДИЦИОННЫХ ГРАФИЧЕСКИХ ДИСЦИПЛИН (НАЧЕРТАЛЬНОЙ ГЕОМЕТРИИ И ИНЖЕНЕРНОЙ ГРАФИКИ) В КОНТЕКСТЕ ЦИФРОВИЗАЦИИ ПРОЕКТНЫХ РЕШЕНИЙ

*Ключевые слова:* методические основы; потенциал графических приемов; проектные решения; традиционные графические дисциплины; цифровизация.

*Аннотация.* Современные информационные технологии ориентированы на широкие возможности цифровизации для наиболее важных аспектов процедур проектирования материальных объектов и предметов различных областей практической деятельности. Формирование необходимых показателей качества материальной продукции начинается с разработки соответствующих проектных решений и проведения необходимых проектных процедур. Качество и эффективность доступных инструментов разработки проектных решений оказывают прямое и непосредственное влияние на результаты проектной деятельности, отображаемые в продуктах различного масштаба, свойств и состояний.

Цель статьи заключается в экспертизе методических основ и приемов традиционных графических дисциплин для применения в современном контексте цифровизации проектных процедур.

Задачи исследований связаны с анализом условий, приемов и возможностей традиционных графических дисциплин как самостоятельного и/или интегрированного инструмента разработки проектных решений и в оценке потенциала традиционных графических дисциплин для развития информационных технологий и средств цифровизации проектных процедур, необходимых для формирования показателей качества материальных продуктов.

Методы исследований включают системный анализ особенностей разработки и спо-

собов оформления результатов проектной деятельности. Решение поставленных задач исследования предполагает эмпирический подход, постановку, производство эксперимента, обобщение и изучение полученных результатов при выполнении проектных процедур по созданию/разработке свойств и состояний материального предмета.

Результаты исследований: формирование научной гипотезы и анализ современных подходов к цифровизации проектных решений, анализ методики разработки проектных решений, в которых находят применение приемы традиционных графических дисциплин (на конкретном примере разработки материальных предметов), оценка потенциала традиционных графических в отношении цифровизации процедур проектирования.

### Введение

Поступательное движение от творческого замысла к реальному формированию задуманных свойств образа материального предмета (архитектурного/строительного объекта, конструкции, механизма, оборудования) является обязательной процедурой формирования показателей качества материального предмета каждой отраслевой принадлежности [1].

Цифровизация проектных процедур и оформление полученных результатов в требуемых графических форматах являются устоявшимся и получившим широкое распространение инструментом творческой деятельности. В настоящее время разработка проектных процедур с привлечением цифровых платформ



**Рис. 1.** Представление особенностей проектных решений в цифровом 3D-представлении расположения элементов производственного оборудования

и информационных технологий является как способом, так и результатом творческих процессов. Рассматриваемый инструмент способен обеспечивать требуемый (с точки зрения действующих положений норм и правил проектирования) уровень качества проектных решений, в том числе при наличии определенных ресурсных ограничений [2; 3].

Привлечение современных информационных технологий и средств автоматизации проектных процедур способствует достижению следующих основных целей [4]:

- осмысленному и аргументированному выбору наиболее предпочтительного (по одному или нескольким критериям) варианта из множества доступных/возможных решений;

- формированию рационального и эффективного алгоритма сбора и обработки графических/геометрических данных, отображаемых в 2D- и 3D-представлениях соответствующих цифровых моделей;

- минимизация проявлений ошибок/неточностей при разработке проектных решений группой специалистов, привлекаемых к работе над проектом.

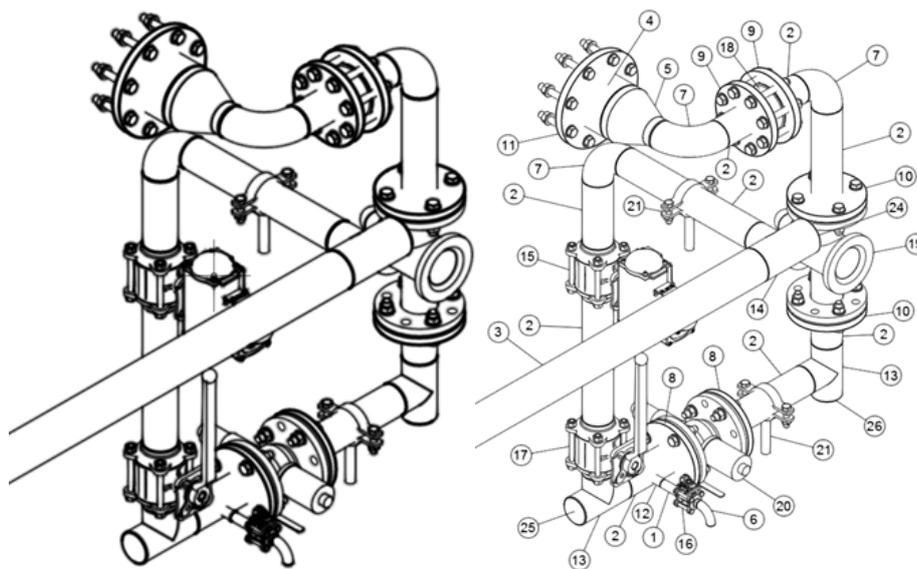
Фундаментальные основы геометрических построений традиционных геометрических дисциплин (начертательной геометрии

и инженерной графики) составляют методическую основу цифровых моделей, которые формируются посредством современных инструментов автоматизации и информационных технологий разработки проектных решений.

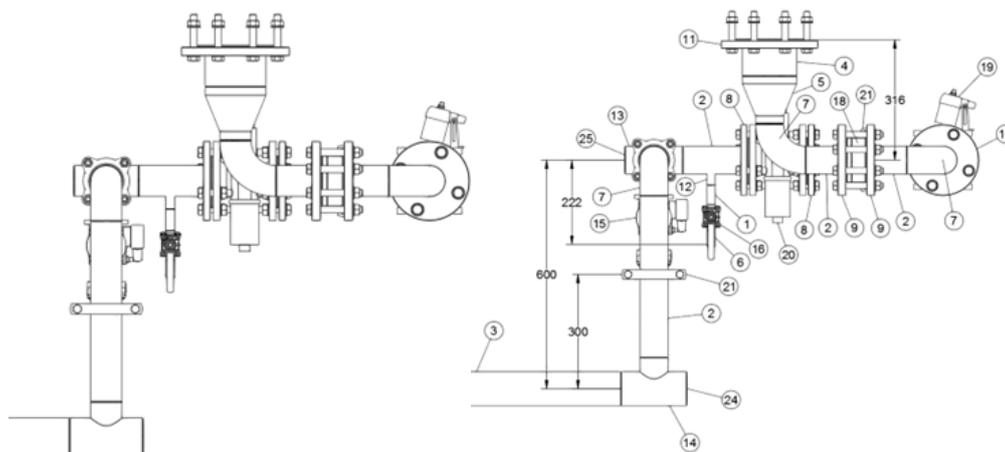
Вместе с тем одновременно с развитием цифровых платформ и информационных технологий сформировались определенные скептические взгляды в отношении как современной роли/значения традиционных графических дисциплин для применения цифровизации проектных процедур, так и в отношении перспективы дальнейшего развития методических основ и приемов начертательной геометрии и инженерной графики [5].

Научная гипотеза данного исследования состоит в предположении возможности и целесообразности синтеза методических основ традиционных графических дисциплин и цифровых моделей, которые значительно расширяют визуальные особенности представления проектных решений в отношении создаваемого материального объекта/предмета.

Потенциал традиционных графических дисциплин рассматривается как безусловный, бесспорный, исторический и практический опыт разработки проектных решений, который вполне применим как в отношении фундамен-



**Рис. 2.** Изометрическое представление проектного решения технологического узла проектирования: слева – без условных обозначений и выносок структурных элементов; справа – с условными обозначениями и выносками структурных элементов



**Рис. 3.** Представление проектного решения технологического узла на проекционной плоскости (в 2D-представлении): слева – без условных обозначений и выносок структурных элементов; справа – с условными обозначениями и выносками структурных элементов

тальных/теоретических исследований в области автоматизации/оптимизации алгоритмов графических построений, так и в качестве практического инструмента решения производственных задач.

Для проверки положений научной гипотезы исследований предполагается проведение эксперимента, который (на конкретном примере разработки материального объекта) предусматривает последовательное решение задач исследований:

- проведение анализа возможностей современных информационных технологий для формирования цифровой модели материального объекта;

- выявление возможностей для интеграции/синтеза методических основ традиционных графических дисциплин в проектные процедуры;

- определение потенциала приемов начертательной геометрии и инженерной графики для разработки проектных решений и оформле-

ния полученных результатов.

### Результаты исследований

На рис. 1 приведен фрагмент представления проектных решений (оформленных в виде пространственной 3D-цифровой модели) в отношении пространственного размещения элементов производственного оборудования во внутренней среде строительного объекта, а также визуальной цветовой идентификации функциональных структур и связей между ними.

На рис. 2, 3 приведены особенности отображения и оформления проектных решений, которые представлены применением приемов визуального отображения результатов проектирования средствами графических построений начертательной геометрии и инженерной графики.

### Выводы

Проведенный в рамках данного исследования эксперимент (на примере разработки проектного решения конкретного материального объекта) направлен на подтверждение или опровержение выдвинутой научной гипотезы данного исследования.

Проведенный эксперимент и полученные в процессе его выполнения результаты позволяют сформулировать следующие выводы.

1. Приемы формирования и оформления графических представлений проектных реше-

ний средствами графических построений начертательной геометрии и инженерной графики позволяют достаточно точно и наглядно отобразить особенности проектируемого материального объекта как на проекционной плоскости, так и в изометрии.

2. Визуальное представление особенностей пространственного размещения (указанных на соответствующей функционально-технологической схеме) элементов производственного оборудования во внутренней среде строительного объекта наглядно и эффективно приведено в формате соответствующей цифровой (в 3D-представлении) модели с использованием соответствующих информационных технологий.

3. Положения выдвинутой научной гипотезы в отношении потенциала методических основ традиционных графических дисциплин получили подтверждение по результатам проведенного эксперимента по разработке свойств и состояний конкретного материального объекта. Наиболее очевидный потенциал средств традиционных графических дисциплин представлен по отношению к оформлению результатов проектных решений в формате проектной документации.

4. Осмысленная интеграция методов начертательной геометрии и инженерной графики и приемов формирования цифровых (прежде всего трехмерных) моделей позволяет разрабатывать и оформлять рациональные, визуально эффектные и эффективные проектные решения.

### Список литературы

1. Кашапов, М.М. Психология творческого мышления. – М. : НИЦ ИНФРА-М, 2021. – 436 с.
2. Панкина, М.В. Цифровизация и формирование проектной культуры: возможные риски / М.В. Панкина // Известия УрФУ. Серия 1. Проблемы образования, науки и культуры. – 2023. – Т. 29. – № 1. – С. 222–230.
3. Гурьянов, А.В. Цифровизация проектных и производственных процедур как инструмент автоматизации проектирования приборного оборудования в Индустрии 4.0 / А.В. Гурьянов, А.В. Шукалов, Д.А. Заколдаев, И.О. Жаринов, М.О. Костишин // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. – 2017. – Т. 17. – № 6. – С. 1171–1176.
4. Булгакова, Е.А. Цифровизация архитектурно-строительного проектирования: проблемы и возможности / Е.А. Булгакова // Фундаментальные, поисковые и прикладные исследования РААСН по научному обеспечению развития архитектуры, градостроительства и строительной отрасли Российской Федерации в 2021 году : сб. науч. тр. РААСН. – Т. 1. – М. : Изд-во АСВ, 2022.
5. Ямпольский, А.Д. Преодоление кризиса графических дисциплин [Электронный ресурс]. – Режим доступа : [https://isicad.ru/ru/articles.php?article\\_num=23143](https://isicad.ru/ru/articles.php?article_num=23143).

**References**

1. Kashapov, M.M. Psikhologiya tvorcheskogo myshleniya. – M. : NITS INFRA-M, 2021. – 436 s.
2. Pankina, M.V. Tsifrovizatsiya i formirovaniye proyektnoy kul'tury: vozmozhnyye riski / M.V. Pankina // Izvestiya UrFU. Seriya 1. Problemy obrazovaniya, nauki i kul'tury. – 2023. – T. 29. – № 1. – S. 222–230.
3. Gur'yanov, A.V. Tsifrovizatsiya projektnykh i proizvodstvennykh protsedur kak instrument avtomatizatsii proyektirovaniya pribornogo oborudovaniya v Industrii 4.0 / A.V. Gur'yanov, A.V. Shukalov, D.A. Zakoldayev, I.O. Zharinov, M.O. Kostishin // Nauchno-tekhnicheskiy vestnik informatsionnykh tekhnologiy, mekhaniki i optiki. – 2017. – T. 17. – № 6. – S. 1171–1176.
4. Bulgakova, Ye.A. Tsifrovizatsiya arkhitekturno-stroitel'nogo proyektirovaniya: problemy i vozmozhnosti / Ye.A. Bulgakova // Fundamental'nyye, poiskovyie i prikladnyye issledovaniya RAASN po nauchnomu obespecheniyu razvitiya arkhitektury, gradostroitel'stva i stroitel'noy otrasli Rossiyskoy Federatsii v 2021 godu : sb. nauch. tr. RAASN. – T. 1. – M. : Izd-vo ASV, 2022.
5. Yampol'skiy, A.D. Preodoleniye krizisa graficheskikh distsiplin [Electronic resource]. – Access mode : [https://isicad.ru/ru/articles.php?article\\_num=23143](https://isicad.ru/ru/articles.php?article_num=23143).

---

© В.В. Швецова, О.Н. Леонова, 2025

УДК 620.1.051

*Д.В. РЕШЕТОВ, В.А. ДЬЯЧЕНКО**ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет  
Петра Великого», г. Санкт-Петербург*

---

## ВЕРИФИКАЦИЯ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ МЕХАТРОННОГО УДАРНОГО СТЕНДА

---

*Ключевые слова:* верификация; математическая модель; мехатронный ударный стенд; относительная погрешность; ударные испытания; экспериментальные данные.

*Аннотация.* Цель работы – верификация математической модели мехатронного ударного стенда путем сравнения расчетных результатов с экспериментальными данными для оценки степени соответствия модели реальному процессу.

Гипотеза исследования заключается в том, что разработанная математическая модель достоверно описывает динамику ударного взаимодействия каретки и формирователя импульса ударного ускорения, а расхождения с экспериментальными данными не превышают допустимых значений, что позволяет использовать модель при проектировании и настройке режимов работы испытательного стенда.

Методы исследования включают проведение серии экспериментов при воспроизведении прямого и обратного ударов, а также компьютерное моделирование.

Результаты показали удовлетворительное совпадение теоретических и экспериментальных данных: средняя относительная погрешность по всем режимам не превышает 13 %.

Отмечено систематическое занижение расчетных значений ускорения, связанное с приближенным описанием свойств формирователя и влияния трения.

Верификация подтвердила достоверность математической модели и возможность ее применения для расчета параметров элементов испытательной машины и настройки режимов ударов.

### Введение

Испытания на воздействия ударных нагрузок являются неотъемлемой частью оценки надежности и долговечности промышленных изделий в процессе их эксплуатации и транспортирования [1; 2]. Для их проведения применяются мехатронные ударные стенды, обеспечивающие точное воспроизведение требуемых ударных импульсов.

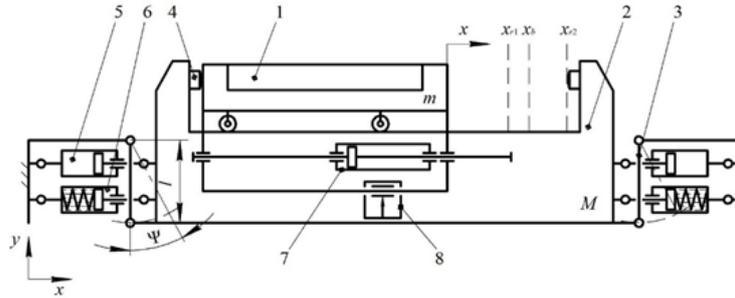
Основная задача проектирования и настройки ударного стенда заключается в определении характеристик как отдельных конструктивных элементов машины, так и параметров движения каретки с объектом.

Определение этих параметров экспериментальным путем требует проведения многочисленных стендовых испытаний, что связано с высокой трудоемкостью и затратами. В связи с этим становится целесообразным использование математической модели стенда, способной достоверно описывать динамику ударного взаимодействия каретки и формирователя.

### Методы и результаты

1. Математическая модель. Физическая модель ударного стенда в схемном виде представлена на рис. 1. Принцип его работы подробно рассматривался в работах [3; 4]. Установка позволяет воспроизводить знакопеременную ударную перегрузку (прямой и обратный удар соответственно) без перезакрепления испытуемого изделия.

Математическая модель динамики ударной машины стенда с углом качания инерционного блока  $\psi$  и линейным перемещением ударной ка-



**Рис. 1.** Физическая модель испытательного стенда с маятниковым инерционным блоком в схемном виде: 1 – ударная каретка с испытуемым изделием; 2 – инерционный блок; 3 – серьга механизма параллелограмма; 4 – формирователь ударного импульса; 5 – пневматическая пружина; 6 – гидравлический демпфер; 7 – пневмопривод; 8 – тормоз;  $x_{r1}$  – координата, при которой начинается движение каретки по инерции;  $x_{r2}$  – координата, при которой каретка соударяется с формирователем импульса ускорения;  $x_b$  – координата, при которой срабатывает тормоз каретки на этапе отскока от формирователя



**Рис. 2.** Мехатронный стенд двунаправленного удара

ретки  $x$  имеет вид [4]:

$$\begin{cases} m\ddot{x} - ml\ddot{\psi} \cos \psi + ml\dot{\psi}^2 \sin \psi + \\ f_i mg \cdot \text{sign}(\dot{x}) = F_r + F_f + F_b \times \\ (m + M)l\ddot{\psi} - m\ddot{x} \cos \psi + \\ (m + M)g \sin \psi + \\ + (\beta_1 + \beta_2)n_a\dot{\psi}l \cos^2 \psi = -F_s \cos \psi, \end{cases} \quad (1)$$

где  $m$  – масса ударной каретки с изделием;  $M$  – масса инерционного блока;  $l$  – длина серьги;  $f_i$  – коэффициент трения качения роликов каретки;  $F_r$  – усилие разгона каретки;  $F_f$  – реакция со стороны формирователя импульсов;  $F_b$  – сила сопротивления от тормозов;  $F_s$  – сила сопротивления пневмопружины;  $\beta_1$  и  $\beta_2$  – демп-

фирующие коэффициенты для этапов сжатия и отбоя соответственно;  $n_a$  – количество демпферов с одной стороны инерционного блока;  $g$  – ускорение свободного падения.

При разработке модели приняты следующие допущения:

- динамическая жесткость формирователя импульса представлена нелинейной характеристикой без гистерезиса, полученной на основе экспериментального импульса ускорения [5];

- коэффициенты сопротивления гидравлических демпферов аппроксимированы линейно вследствие малых скоростей перемещения инерционного блока [6];

- упрощенные модели трения, включающие трение качения каретки по направляющим

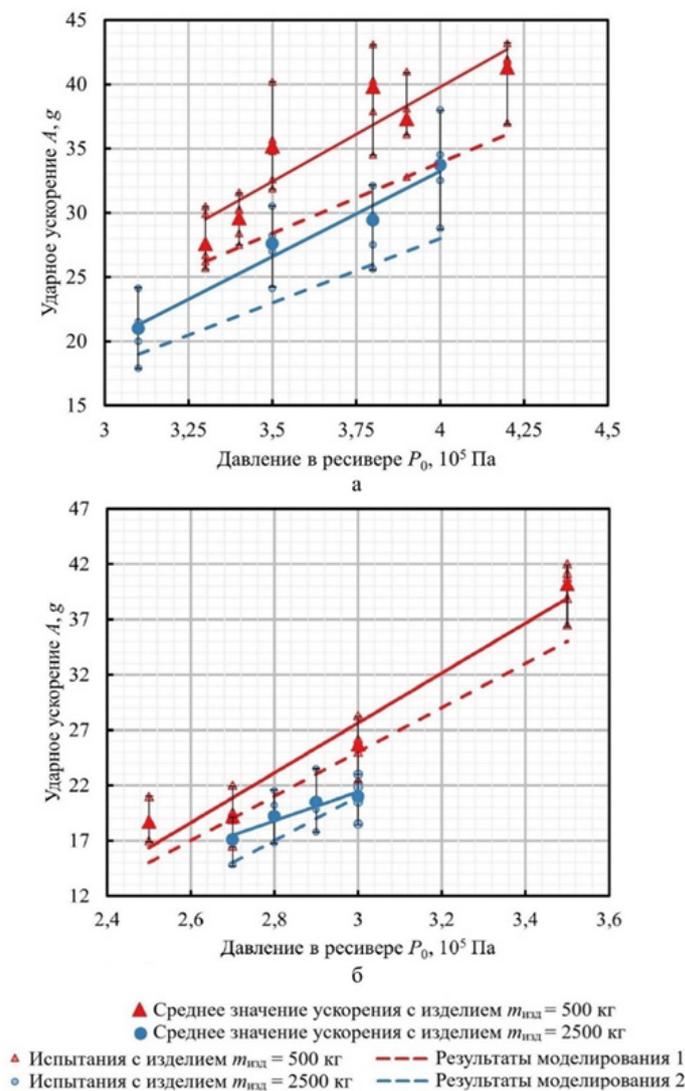


Рис. 3. Сравнение испытаний и результатов компьютерного моделирования: а – испытания при воспроизведении прямого удара; б – испытания при воспроизведении обратного удара

и трение скольжения в пневматических цилиндрах подвески [7; 8].

Пиковое ударное ускорение  $A$  зависит от массы каретки с изделием  $m$ , скорости соударения  $v$  и свойств формирователя импульса [2]. Скорость  $v$ , в свою очередь, определяется начальным положением каретки  $x_0$  и давлением сжатого воздуха в ресивере  $P_0$ , который соединен с приводными цилиндрами с помощью быстродействующих клапанов.

2. Экспериментальные исследования проводились на ударном стенде СОУГ2000 (рис. 2).

Данный стенд состоит из: ударной машины, способной воспроизводить знакопеременную

ударную перегрузку без перезакрепления испытываемого изделия; пневматической стойки с управляющей и коммутирующей аппаратурой; пульта управления с системой сбора данных, позволяющей контролировать воспроизводимые ударные ускорения.

Рассмотрим порядок проведения экспериментов и результаты сравнения испытаний. Сравнение результатов компьютерного моделирования и экспериментальных данных проводилось для прямого и обратного ударов. Давление в ресивере изменялось итерационно вручную. Каретка с изделием устанавливалась в крайнее положение. При прямом ударе использовались 36 полиуретановых формирователей толщиной

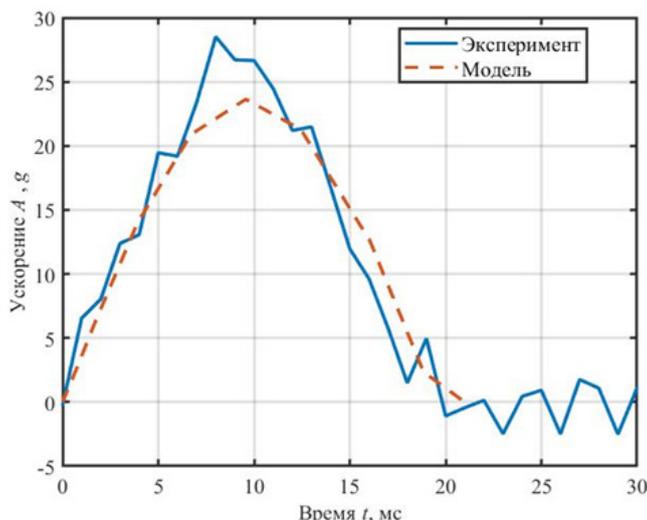


Рис. 4. Сравнение ударного ускорения при моделировании и эксперименте

10 мм и диаметром 180 мм (твердость 80 Шор  $A$ ), а при обратном – 20 формователей с аналогичной геометрией и твердостью. Эксперименты проводились в соответствии с программой и методикой аттестации стенда, а также с действующими нормативными документами ГОСТ 8.736-2011 [9] и ГОСТ 8.207-76 [10], определяющими порядок проведения многократных измерений и статистическую обработку результатов. Согласно указанным документам ударное воздействие должно повторяться не менее трех раз, а итоговое значение пикового ускорения определяется как среднее арифметическое по серии испытаний.

На рис. 3 приведены экспериментальные и теоретические зависимости ударного ускорения  $A$  от давления в ресивере разгона  $P_0$  при массе имитатора изделия  $m_{\text{изд}} = 500$  кг и  $m_{\text{изд}} = 2\ 500$  кг. На графиках показан разброс значений ускорения; крупным маркером обозначено среднее арифметическое значение.

3. Прямой удар. Сравнительный анализ показывает, что при  $m_{\text{изд}} = 500$  кг максимальное расхождение между экспериментом и результатами математической модели составляет 20,3 % ( $A_{\text{эксп}} = 39,8$  g,  $A_{\text{мод}} = 31,7$  g). Средняя относительная погрешность по всем измерениям составляет 12,9 %. В пределах заданных рабочих давлений зависимость ударного ускорения от давления в ресивере, полученная по математической модели, носит линейный характер.

При  $m_{\text{изд}} = 2\ 500$  кг расхождения между ма-

тематической моделью и экспериментом ниже. Максимальное отклонение наблюдается при давлении в ресивере  $P_0 = 3,5 \cdot 10^5$  Па и составляет 16,7 % ( $A_{\text{эксп}} = 27,6$  g,  $A_{\text{мод}} = 23,0$  g, рис. 4). Средняя относительная погрешность составляет 12,5 %.

4. Обратный удар. При  $m_{\text{изд}} = 500$  кг максимальное расхождение составляет 18,2 % ( $A_{\text{эксп}} = 18,7$  g,  $A_{\text{мод}} = 15,2$  g), а среднее по всем испытаниям – 8,5 %.

При  $m_{\text{изд}} = 2\ 500$  кг наблюдается хорошее совпадение результатов эксперимента и расчета, среднее отклонение составляет 7,2 %.

Во всех рассмотренных режимах работы прослеживается тенденция к систематическому занижению расчетных значений ударного ускорения по сравнению с экспериментальными данными. Это связано с упрощенной моделью динамической жесткости формователя импульсов, а также неточностями при учете трения. Для уменьшения ошибки между результатами расчетов и натурными испытаниями необходимо скорректировать систему уравнений (1), используя более сложное представление реакции со стороны формователя импульсов, например, с помощью модели Муни – Ривлина.

## Заключение

В рамках представленной работы выполнено сравнение результатов математического

моделирования и экспериментальных исследований ударного взаимодействия каретки с формирователем импульса ускорения.

По результатам проведенных экспериментов установлено, что среднее отклонение ударного ускорения, полученного при моделировании, от экспериментальных данных составляет 12,9 %.

Итоговые результаты подтверждают возможность использования математической модели в качестве основы для определения параметров элементов испытательной машины на этапе проектирования, а также для оценки и настройки параметров управления движением каретки при задании режимов ударных испытаний.

### Список литературы

1. Harris, C.M. Harris' Shock and Vibration Handbook / C.M. Harris, A.G. Piersol. – 5th ed. – New York : McGraw-Hill Professional, 2002. – 1457 p.
2. Каразин, В.И. Методы и средства лабораторного воспроизведения ускорения / В.И. Каразин, И.О. Хлебосолов, А.Н. Евграфов, Д.П. Козликин, П.А. Андриенко, В.А. Терешин, А.В. Хисамов. – СПб : ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2023. – 168 с.
3. Решетов, Д.В. Влияние параметров управления мехатронным ударным стендом на погрешность воспроизведения пикового ускорения / Д.В. Решетов, В.А. Дьяченко, А.Н. Попов, М.Н. Полищук // Наука и бизнес: пути развития. – 2025. – № 9(171). – С. 53–63.
4. Попов, А.Н. Математическая модель горизонтальной ударной машины с маятниковым инерционным блоком / А.Н. Попов, М.Н. Полищук, Д.В. Решетов, В.В. Закатов // Современное машиностроение. Наука и образование. – 2025. – № 14. – С. 471–484.
5. Васильев, А.К. Анализ условий и критериев воспроизводимости ударного импульса на мехатронных испытательных стендах / А.К. Васильев, В.А. Дьяченко // Омский научный вестник. – 2021. – № 4(178). – С. 41–45.
6. Rybak, P. The influence of temperature on the damping characteristic of hydraulic shock absorbers / P. Rybak, R. Gieleta // Eksploatacja i Niezawodnosć – Maintenance and Reliability. – 2021. – Vol. 23. – No. 2. – P. 234–239.
7. Иванов, А.П. О трении качения / А.П. Иванов // Доклады Академии наук. – 2019. – Т. 485. – № 3. – С. 295–299.
8. Tran, X.B. Dynamic friction behaviors of pneumatic cylinders / X.B. Tran, H. Yanada // Intelligent Control and Automation. – 2013. – Vol. 4. – P. 180–190.
9. ГОСТ 8.736–2011. Измерения прямые многократные. Методы обработки результатов измерений. Основные положения. – М. : Стандартинформ, 2011. – 27 с.
10. ГОСТ 8.207–76. Прямые измерения с многократными наблюдениями. Методы обработки результатов наблюдений. Основные положения. – М. : Стандартинформ, 1977. – 8 с.

### References

2. Karazin, V.I. Metody i sredstva laboratornogo vosproizvedeniya uskoreniya / V.I. Karazin, I.O. Khlebosolov, A.N. Yevgrafov, D.P. Kozlikin, P.A. Andriyenko, V.A. Tereshin, A.V. Khisamov. – SPb : POLITEKH-PRESS, 2023. – 168 s.
3. Reshetov, D.V. Vliyaniye parametrov upravleniya mekhatronnym udarnym stendom na pogreshnost' vosproizvedeniya pikovogo uskoreniya / D.V. Reshetov, V.A. D'yachenko, A.N. Popov, M.N. Polishchuk // Nauka i biznes: puti razvitiya. – 2025. – № 9(171). – S. 53–63.
4. Popov, A.N. Matematicheskaya model' gorizontal'noy udarnoy mashiny s mayatnikovym inertsiyonnym blokom / A.N. Popov, M.N. Polishchuk, D.V. Reshetov, V.V. Zakatov // Sovremennoye mashinostroyeniye. Nauka i obrazovaniye. – 2025. – № 14. – S. 471–484.
5. Vasil'yev, A.K. Analiz usloviy i kriteriyev vosproizvodimosti udarnogo impul'sa na mekhatronnykh ispytatel'nykh stendakh / A.K. Vasil'yev, V.A. D'yachenko // Omskiy nauchnyy vestnik. – 2021. – № 4(178). – S. 41–45.
7. Ivanov, A.P. O trenii kacheniya / A.P. Ivanov // Doklady Akademii nauk. – 2019. – Т. 485. – № 3. – S. 295–299.

9. GOST 8.736–2011. Izmereniya pryamyie mnogokratnyie. Metody obrabotki rezul'tatov izmereniy. Osnovnyie polozheniya. – M. : Standartinform, 2011. – 27 s.

10. GOST 8.207–76. Pryamyie izmereniya s mnogokratnymi nablyudenyami. Metody obrabotki rezul'tatov nablyudeniy. Osnovnyie polozheniya. – M. : Standartinform, 1977. – 8 s.

---

© Д.В. Решетов, В.А. Дьяченко, 2025

УДК 004.896

Н.С. ФИЛАТОВ<sup>1, 2</sup>, А.В. БАХШИЕВ<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого»;

<sup>2</sup>ООО «Медицинские Скрининг Системы», г. Санкт-Петербург

## СОСТАВЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЕЙ ТОКЕНОВ И ИХ ПОЗИЦИОННЫХ ПРИЗНАКОВ ДЛЯ ТРЕХМЕРНОГО ОБНАРУЖЕНИЯ ОБЪЕКТОВ

*Ключевые слова:* мультимодальное комплексирование данных; позиционные эмбединги; трансформеры; трехмерное обнаружение объектов.

*Аннотация.* Рассматриваются методы мультимодального трехмерного обнаружения объектов для автономного вождения. Целью работы является создание метода, оптимизированного для работы в реальном времени и обеспечивающего прирост быстродействия относительно аналогов. Гипотеза исследования состоит в том, что за счет специальной организации токенов лидара и камеры в полярных координатах вида сверху и тщательного выбора позиционных эмбедингов можно добиться более выгодного компромисса между точностью и скоростью работы. Решены следующие задачи: предложен эффективный модуль комплексирования данных лидара и камеры, в котором токены организуются в полярных координатах вида сверху за счет радиального и зигзагообразного разбиения, что снижает объем дополнения маскированными токенами и исключает вычислительно затратные операции; проведено исследование гиперпараметров, таких как длина последовательности и различные способы расчета позиционных эмбедингов, рассмотрен единый обучаемый позиционный эмбединг, индивидуальный эмбединг на каждый трансформерный блок и конкатенируемый позиционный эмбединг. Методология работы включает экспериментальное исследование на наборе данных *NuScenes*. Результаты показывают, что единый обучаемый позиционный эмбединг и длина последовательности 90 токенов обеспечивают наилучший баланс между точностью и эффективностью, достигая 62,8 *mAP* и 68,4 *NDS* при быстродействии 8,50 Гц на *RTX*

3 060 и 20,72 Гц на *NVIDIA A100*.

### Введение

Трехмерное обнаружение объектов является одной из ключевых задач современного робототехнического зрения и автономного вождения. Надежное определение положения, размеров и ориентации объектов в пространстве напрямую влияет на безопасность и устойчивость работы автономных транспортных средств, мобильных роботов и систем продвинутой помощи водителю. На практике для восприятия окружающей среды используются различные типы датчиков, в первую очередь лидары и камеры, которые обладают взаимодополняющими преимуществами по точности измерения расстояния, угловому разрешению и устойчивости к внешним условиям.

Наиболее распространенными архитектурами нейронных сетей для трехмерного обнаружения объектов долгое время являлись сверточные и разреженные сверточные сети, однако в последние годы наблюдается устойчивая тенденция к переходу на трансформерные архитектуры. Трансформеры позволяют моделировать глобальные зависимости между токенами мультимодальных признаков с помощью модуля внимания [8], при этом критическую роль в работе модуля внимания играют позиционные эмбединги, задающие пространственное расположение токенов и влияющие как на качество, так и на стабильность обучения трансформера.

Современные мультимодальные методы трехмерного обнаружения объектов демонстрируют высокие показатели качества на крупномасштабных наборах данных, таких как

*NuScenes* [1], однако зачастую требуют значительных вычислительных ресурсов. Целый ряд архитектур использует сложные процедуры сопоставления токенов лидара и камеры, в результате многие методы достигают достаточного быстродействия только на серверном оборудовании класса *NVIDIA A100*, что затрудняет их практическое применение на бортовых вычислителях.

В данной работе рассматривается задача проектирования архитектуры мультимодального трехмерного обнаружения объектов, оптимизированной под высокое быстродействие. Разработан новый метод формирования последовательностей токенов в полярных координатах вида сверху, основанный на радиальном и зигзагообразном разбиении, а также выполнено систематическое исследование различных вариантов позиционных эмбедингов в модуле мультимодального комплексирования данных. Рассматриваются три схемы позиционных эмбедингов – единый обучаемый, множественный (уникальный для каждого блока) и конкатенируемый. Также исследуется влияние длины последовательностей токенов на итоговые метрики качества и быстродействие. Разработанный метод обучен и провалидирован на наборе данных *NuScenes*, эксперименты показывают значительное повышение быстродействия при сопоставимых показателях качества по сравнению с аналогами.

### Позиционные эмбединги в глубоком обучении

Трансформеры – архитектура нейронных сетей, заменяющая конволюционные и рекуррентные нейросети и набирающая популярность при решении актуальных задач глубокого обучения [8]. Ключевой составляющей трансформерной архитектуры является модуль внимания (1), который позволяет для последовательности многомерных векторов признаков (токенов) рассчитать взвешенную смесь значений векторов по запросу «ключ – значение», моделирующую зависимость токенов внутри последовательности:

$$\begin{aligned} \text{Attention}(Q, K, V) &= \text{softmax}\left(\frac{QK^T}{\sqrt{d_k}}\right) \cdot V, \\ Q &= W_Q X, \\ K &= W_K X, \end{aligned} \quad (1)$$

$$V = W_V Y, \quad (1)$$

где  $\text{Attention}(Q, K, V)$  – матрица, вычисляемая модулем внимания;  $Q$  – вектор запросов;  $K$  – вектор ключей;  $V$  – вектор значений;  $W_Q, W_K, W_V$  – матрицы весовых коэффициентов для запросов, ключей и значений соответственно;  $d_k$  – размерность входных векторов запросов и ключей.

Однако в рассмотренной формуле результат является инвариантным к перестановке элементов последовательности, без добавления дополнительного источника информации о структуре последовательности, поэтому используется позиционный эмбединг – вектор чисел, кодирующий позицию токена в последовательности, в оригинальной работе этот вектор имеет ту же размерность, что и токены, и для каждого токена соответствующий позиционный эмбединг поэлементно прибавляется к значениям токенов перед расчетом модуля внимания. Выбор способа расчета позиционного эмбединга является ключевым для достижения высокой обобщающей способности, в частности, в оригинальной архитектуре трансформера используется синусоидальный позиционный эмбединг (2):

$$\begin{aligned} PE(pos, 2m) &= \sin\left(\frac{pos}{10000^{\frac{2m}{d}}}\right), \\ PE(pos, 2m + 1) &= \cos\left(\frac{pos}{10000^{\frac{2m}{d}}}\right), \\ m &= 0, \dots, \frac{d}{2} - 1, \end{aligned} \quad (2)$$

где  $PE$  – позиционный эмбединг, вычисляемый для позиции токена и текущего канала токена;  $pos$  – позиция токена в последовательности;  $m$  – номер канала токена;  $d$  – размерность токена.

Таким образом, соседние индексы каналов кодируются с одинаковой частотой, которая уменьшается с ростом индекса. Ключевым свойством является линейная представимость сдвигов: для каждого фиксированного смещения  $k$  в силу тождеств синуса и косинуса суммы позиционный эмбединг  $PE(pos + k)$  может быть выражен как линейная комбинация  $PE(pos)$ , что облегчает обучение относительных позиций в модуле внимания.

Хотя использование позиционных эмбеде-

дингов обязательно для полноценного функционирования модуля внимания, в научном сообществе предлагаются различные способы их расчета и применения. Так, в визуальном трансформере для обработки изображений предложено применять его в виде обучаемого сдвига, прибавляемого к результату модуля внимания до операции многопеременной логистической функции [4]. Для увеличения качества работы модуля внимания на длинных последовательностях предложен ротационный позиционный эмбединг (*RoPe*) [7], который умножается на вектора ключей и запросов и представляет собой позиционно-зависимый ортонормальный оператор, что обеспечивает вращение данных векторов и представление относительных позиций в частотном пространстве.

Трансформерные архитектуры также активно применяются для задачи трехмерного обнаружения объектов с применением специфических позиционных эмбедингов на базе преобразования Фурье [6] или многослойного перцептрона [15]. В мультимодальных методах позиционные эмбединги помогают не только выучивать позиционные зависимости между токенами, но и обеспечивать комплексирование данных камеры и лидара. Так, в архитектуре *PETR* [3] лучи от пикселей камеры проецируются в трехмерное пространство, формируя усеченную призму трехмерных координат, данные координаты затем преобразуются через многослойный перцептрон и прибавляются к признакам изображения.

### Трехмерное обнаружение объектов

Трехмерное обнаружение объектов представляет собой задачу обнаружения объектов в трехмерном пространстве с определением их положения, размеров и ориентации. Значительный интерес к данной задаче проявляется научным сообществом в области создания автономного транспорта. Основными сенсорами для обнаружения объектов в данной области являются лидары, камеры, радары. Наиболее часто используемые архитектуры нейронных сетей, применяемые в области: сверточные нейросети, разреженные сверточные нейросети [12], трансформеры. При этом отмечается тенденция к росту популярности трансформерных архитектур при создании методов трехмерного обнаружения объектов [9–11].

Методы трехмерного обнаружения объек-

тов можно разделить на три крупные группы: методы, использующие только данные лидара или только данные камеры, и мультимодальные методы. Мультимодальные методы позволяют достигать наиболее высоких показателей качества и также могут быть более устойчивыми к сложным ситуациям, таким как плохие погодные условия или частичный отказ датчиков [5]. Мультимодальные методы имеют цель эффективно использовать синхронизированные данные с лидара и камеры, например, с помощью дополнения разреженных участков облака точек синтетическими точками, предсказанными по соответствующим участкам изображения [14]. Однако актуальные методы трехмерного обнаружения объектов исследуют способы более глубокой интеграции и взаимодействия признаков разных модальностей [11; 13].

Показатели качества на открытых крупномасштабных наборах данных, содержащих реальные данные дорожной обстановки, показывают стабильный рост в течение последних нескольких лет. Тем не менее существует разрыв между проводимыми исследованиями и практической возможностью применения данных методов из-за высоких требований к вычислительным ресурсам. Так, существующие методы способны достигнуть достаточного быстродействия только при использовании мощного серверного оборудования (графический процессор *A100*) [9]. Данный факт подчеркивает необходимость проведения дальнейших исследований, направленных на создание архитектур трехмерного обнаружения объектов, оптимизированных под более высокое быстродействие.

### Оптимальное составление последовательностей токенов и их позиционных эмбедингов

Рассмотрим создание метода мультимодального трехмерного обнаружения объектов, предназначенного для работы в реальном времени. Современные методы мультимодального трехмерного обнаружения объектов, такие как *UniTR* [9], несмотря на их высокие показатели качества и относительно высокое быстродействие, имеют в своей структуре ряд неоптимальных решений. В частности, в архитектуре *UniTR* при комплексировании мультимодальных токенов с лидара и камеры используются неэффективные вычисления, позволяющие про-

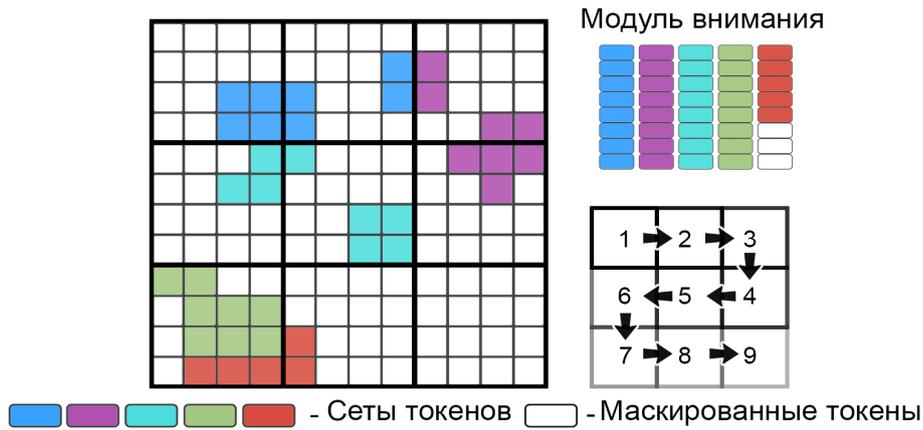


Рис. 1. Зигзагообразное составление последовательностей токенов

водить сопоставление признаков, включающие проецирование облака точек на изображение и поиск ближайшего соответствия методом ближайших соседей, что ведет к снижению быстродействия. Кроме того, аналогично *DSVT* [10] при наборе токенов в локальные последовательности, при недостатке токенов для текущей последовательности она дополняется маскированными токенами до фиксированного размера, что ведет к неэффективному использованию памяти.

Для решения данных проблем разработаем новый метод на базе архитектуры *UniTR* с несколькими модификациями. Будем проводить приблизительное сопоставление токенов камеры и лидара в пространстве вида сверху, используя достоверно известный полярный угол для токенов лидара и камеры, который следует из внутренних и внешних параметров калибровки сенсоров. Поскольку нет возможности перевести пиксели изображения в трехмерное пространство без знания глубины или полярного радиуса в системе координат вида сверху, введем приблизительный расчет значения полярного радиуса (3) с целью получения недостающего параметра и приблизительного упорядочивания данных:

$$R_i = \frac{\sqrt{x_i^2 + y_i^2 + r_c}}{2}, \quad (3)$$

где  $R_i$  – полярный радиус, вычисленный для  $i$ -го токена (группы пикселей) изображения;  $x_i, y_i$  – координаты  $i$ -го пикселя или токена изображения;  $r_c$  – константный радиус.

Таким образом, установив токены лидара и камеры, размещенные в полярных координатах вида сверху, имеем возможность организовать их в локальные последовательности для обработки модулем внимания. Определим радиальное разбиение токенов на последовательности как набор токенов, отсортированных по полярному углу, в последовательности фиксированной длины, с дополнением последней последовательности маскированными токенами при недостатке данных. Поскольку не все объекты оптимально обнаруживать в радиальных окнах, формирующих сектор в пространстве вида сверху, также будем формировать последовательности с помощью локальных окон в декартовых координатах. Для этого определим зигзагообразный набор токенов на последовательности (рис. 1), при котором в одну последовательность токенов определяются все токены, попадающие в локальное окно в декартовых координатах, а также попадающие в соседнее окно в декартовых координатах, если в предыдущем окне было недостаточно токенов, чтобы заполнить последовательность, заключительная последовательность также дополняется маскированными токенами при необходимости.

На разных итерациях метода комплексирования данных возможно менять фактический состав токенов в последовательностях за счет начала набора радиальных последовательностей с разных полярных углов и за счет изменения способа сортировки локальных окон в декартовых координатах, проводя сортировку по оси абсцисс или оси ординат. Используя данные способы составления последовательностей токенов, модуль комплексирования данных со-

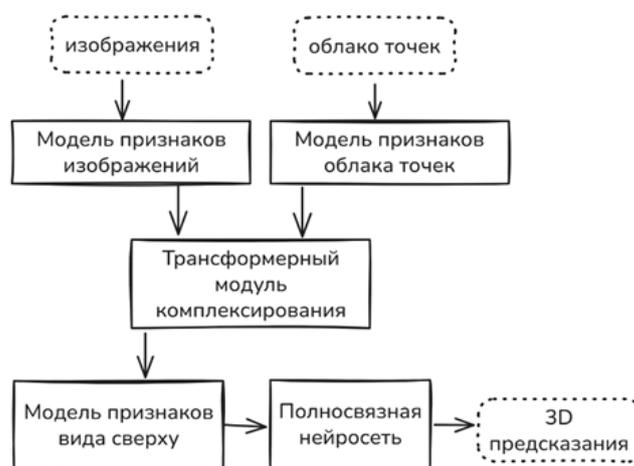


Рис. 2. Полная архитектура метода мультимодального трехмерного обнаружения объектов

стоит из восьми трансформерных блоков, в которых первые и последние два блока используют радиальное разбиение токенов, а остальные четыре – зигзагообразное.

Таким образом, предложенный метод составления последовательностей является вычислительно эффективным и легко реализуется с помощью нескольких векторных операций с данными, а также экономно использует память, необходимую для обработки последовательностей, поскольку их количество сокращается из-за редкого применения маскирования токенов в последовательностях.

На базе предложенного метода комплексирования данных построена архитектура трехмерного обнаружения объектов, в которой все модули, кроме модуля комплексирования, идентичны архитектуре *UniTR* (рис. 2).

Система включает в себя легковесную нейросеть для извлечения из облака точек лидара признаков-колонок [16], модуль токенизации изображений на квадратные патчи аналогично [2] без извлечения дополнительных признаков, нейросеть для обработки признаков вида сверху двумерными свертками, полносвязную нейросеть для предсказания объектов и их параметров.

### Эксперименты

Исследуется влияние различных способов расчета позиционных эмбедингов в модуле комплексирования данных на общую метрику обнаружения объектов, рассматриваются три способа.

1. Обучаемый позиционный эмбединг (4), который вычисляется один раз и далее участвует в каждом трансформерном блоке, что позволяет модели использовать консистентное геометрическое представление позиций токенов на каждом этапе обработки.

2. Множественный позиционный эмбединг (4), который вычисляется аналогично предыдущему варианту, но отдельно для каждого трансформерного блока, что дает модели возможность выучивать специфические позиционные особенности в зависимости на каждом блоке.

3. Конкатенируемый позиционный эмбединг (5) вычисляется один раз, как и в первом случае, но рассчитанный эмбединг конкатенируется к векторам признаков, что дает модели дополнительные измерения для кодирования позиционной информации:

$$\begin{aligned}
 P_{lid} &= E_{lid}(C_{lid}), \\
 P_{img} &= E_{img}(C_{img}), \\
 P &= \begin{bmatrix} P_{lid} \\ P_{img} \end{bmatrix}, \tag{4}
 \end{aligned}$$

$$Q_i = (F_i + P_i)W_Q,$$

$$K_i = (F_i + P_i)W_K, V_i = F_iW_V,$$

где  $P_{lid}$ ,  $P_{img}$  – позиционные эмбединги для признаков лидара и камеры;  $E_{lid}$ ,  $E_{img}$  – многослойные перцептроны;  $C_{lid}$ ,  $C_{img}$  – полярные координаты признаков лидара и камеры;  $P$  – объединенный вектор позиционных эмбедингов;

Таблица 1. Тестирование влияния гиперпараметров,  $L$  – LiDAR,  $C$  – Камера

Модальность	Длина последовательности	Метод вычисления поз. эмбединга	$mAP$	$NDS$	$FPS RTX 3 060$
$L$	90	Обучаемый	59,97	66,68	9,14
$LC$	90	Обучаемый	62,82	68,38	8,50
$LC$	192	Обучаемый	63,21	68,71	7,83
$LC$	256	Обучаемый	64,00	69,00	7,73
$LC$	90	Множественный	62,11	68,15	8,50
$LC$	90	Конкатенируемый	60,08	67,72	8,10

$F_i, P_i$  – признаки и позиционные эмбединги для последовательности  $i$ ;  $Q_i, K_i, V_i$  – вектора запросов, ключей и значений для последовательности  $i$ :

$$\begin{aligned}
 P_{lid} &= E_{lid}(C_{lid}), \\
 P_{img} &= E_{img}(C_{img}), \\
 \hat{F} &= \begin{bmatrix} F_{lid} || P_{lid} \\ F_{img} || P_{img} \end{bmatrix},
 \end{aligned}
 \tag{5}$$

$$Q_i = \hat{F}_i W_Q, K_i = \hat{F}_i W_K, V_i = \hat{F}_i W_V,$$

где  $\hat{F}$  – объединенный вектор признаков, составленных как конкатенация ( $||$ ) признаков и позиционных эмбедингов для лидара ( $F_{lid}, P_{lid}$ ) и камеры ( $F_{img}, P_{img}$ ).

Первый способ основан на интуиции, поскольку токены набираются в последовательности по их координатам, и координаты токена не меняются по мере обработки, то достаточно использовать единственный обучаемый позиционный эмбединг. Во втором способе модели дается дополнительная возможность выучивать различающиеся позиционные эмбединги в зависимости от текущей стадии обработки, однако это потребует хранить и обучать веса многослойных перцептронов позиционного эмбединга для каждого трансформерного блока. Третий способ увеличивает размерность обрабатываемых векторов и тем самым как дает возможность модели более тщательно выучивать позиционные зависимости, так и требует больше вычислений и видеопамати из-за возросшей размерности векторов.

Кроме позиционных эмбедингов актуально также исследовать влияние длины последо-

вательностей, которые обрабатываются модулем внимания при комплексировании данных. Результаты экспериментального исследования на наборе данных *NuScenes* [1] приведены в табл. 1.

В проведенном экспериментальном исследовании для каждого набора гиперпараметров проводилось обучение модуля комплексирования данных при заморозке остальных модулей архитектуры. Обучение производилось на наборе данных *NuScenes*, и в результате измерялась общепринятая метрика средней точности обнаружения объектов ( $mAP$ ), специфическая для набора данных интегральная метрика  $NDS$  (6), а также быстродействие системы с использованием графического процессора *Nvidia RTX 3 060*:

$$NDS = \frac{1}{10} [5mAP + \sum_{mTP \in TP} (1 - \min(1, mTP))], \tag{6}$$

где  $mAP$  – средняя точность трехмерного обнаружения объектов;  $mTP \in TP$  – одна из метрик ошибок усредненная по классам набора данных среди следующих метрик ошибок: ошибка сдвига, ошибка масштаба, ошибка ориентации, ошибка скорости, ошибка атрибута.

Результаты показывают, что оптимальным позиционным эмбедингом оказывается обучаемый позиционный эмбединг, вычисляемый один раз для всех трансформерных блоков, данный вариант показывает наиболее высокие метрики качества, при том, что также является более экономным по вычислениям и видеопамати. Длина последовательности показала ожидаемую корреляцию с точностью, однако из-за негативного влияния увеличения длины последовательности на быстродействие оптимальной

**Таблица 2.** Показатели качества трехмерного обнаружения объектов на наборе данных *NuScenes*

Метод	<i>mAP</i>	<i>NDS</i>	<i>FPS RTX 3 060</i>	<i>FPS A 100</i>
<i>DeepInteraction</i> [13]	69,9	73,4	0,67	1,85
<i>BEVFusion</i> [5]	68,5	71,4	1,64	7,20
<i>CMT</i> [11]	67,9	70,8	5,47	14,31
<i>UniTR</i> [9]	70,0	73,1	3,98	11,23
Предложенный метод	62,8	68,4	8,50	20,72

длиной последовательности можно считать 90.

Сравнение найденной оптимальной конфигурации с открытыми передовыми архитектурами мультимодального трехмерного обнаружения объектов приведено в табл. 2.

Таким образом, предложенный метод упрощенного составления последовательностей токенов с использованием радиального и зигзагообразного разбиения и обучаемыми позиционными эмбедингами позволяет добиться значительного прироста быстродействия при сопоставимых метриках.

### Заключение

Разработан метод мультимодального трехмерного обнаружения объектов, оптимизированный под высокое быстродействие, предложен инновационный способ комплексирования

данных лидара и камеры с помощью составления последовательностей токенов радиальным и зигзагообразным способом и обработкой трансформерной архитектурой с модулем внимания.

Проведено исследование гиперпараметров, определены оптимальная длина последовательностей и способ расчета позиционных эмбедингов. Разработанный метод обучен на наборе данных *NuScenes* и достигнуты показатели качества *mAP* 62,8, *NDS* 68,4. Измерено быстродействие метода на различном оборудовании, которое показало, что метод показывает прирост быстродействия на 46 % (*RTX 3 060*) и 54 % (*Tesla A100*) при сопоставимых метриках качества. Полученные результаты имеют высокую практическую ценность и могут быть применены в реальных робототехнических системах.

### Список литературы/References

1. Caesar, H. nuScenes: A multimodal dataset for autonomous driving / H. Caesar, V. Bankiti, A.H. Lang, S. Vora, V.E. Liong, Q. Xu, A. Krishnan, Y. Pan, G. Baldan, O. Beijbom // Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 2020.
2. Dosovitskiy, A. An image is worth 16×16 words / A. Dosovitskiy, L. Beyer, A. Kolesnikov, D. Weissenborn, X. Zhai, T. Unterthiner, M. Dehghani, M. Minderer, G. Heigold, S. Gelly // arXiv preprint arXiv:2010.11929, 2020. – Vol. 7.
3. Liu, Y. PETR: Position Embedding Transformation for Multi-view 3D Object Detection / Y. Liu, T. Wang, X. Zhang, J. Sun // Computer Vision – ECCV 2022 : Lecture Notes in Computer Science / eds. S.Avidan, G.Brostow, M.Cissé, G.M.Farinella, T.Hassner. – Cham : Springer, 2022.
4. Liu, Z. Swin Transformer: Hierarchical Vision Transformer Using Shifted Windows / Z. Liu, Y. Lin, Y. Cao, H. Hu, Y. Wei, Z. Zhang, S. Lin, B. Guo // Proceedings of the IEEE/CVF International Conference on Computer Vision, 2021. – P. 10012–10022.
5. Liu, Z. BEVFusion: Multi-task Multi-sensor Fusion with Unified Bird’s-Eye View Representation / Z. Liu, H. Tang, A. Amini, X. Yang, H. Mao, D.L. Rus, S. Han // Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA). – IEEE, 2023. – P. 2774–2781.
6. Misra, I. An End-to-End Transformer Model for 3D Object Detection / I. Misra, R. Girdhar,

- A. Joulin // Proceedings of the IEEE/CVF International Conference on Computer Vision, 2021. – P. 2906–2917.
7. Su, J. RoFormer: Enhanced Transformer with Rotary Position Embedding / J. Su, M. Ahmed, Y. Lu, S. Pan, W. Bo, Y. Liu // Neurocomputing. – 2024. – Vol. 568. – 127063.
8. Vaswani, A. Attention Is All You Need / A. Vaswani, N. Shazeer, N. Parmar, J. Uszkoreit, L. Jones, A.N. Gomez, Ł. Kaiser, I. Polosukhin // Advances in Neural Information Processing Systems, 2017. – Vol. 30.
9. Wang, H. UniTR: A Unified and Efficient Multi-Modal Transformer for Bird’s-Eye-View Representation / H. Wang, H. Tang, S. Shi, A. Li, Z. Li, B. Schiele, L. Wang // Proceedings of the IEEE/CVF International Conference on Computer Vision, 2023. – P. 6792–6802.
10. Wang, H. DSVT: Dynamic Sparse Voxel Transformer with Rotated Sets / H. Wang, C. Shi, S. Shi, M. Lei, S. Wang, D. He, B. Schiele, L. Wang // Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 2023. – P. 13520–13529.
11. Yan, J. Cross-Modal Transformer: Towards Fast and Robust 3D Object Detection / J. Yan, Y. Liu, J. Sun, F. Jia, S. Li, T. Wang, X. Zhang // Proceedings of the IEEE/CVF International Conference on Computer Vision, 2023. – P. 18268–18278.
12. Yan, Y. SECOND: Sparsely Embedded Convolutional Detection / Y. Yan, Y. Mao, B. Li // Sensors. – 2018. – Vol. 18. – No. 10. – P. 3337.
13. Yang, Z. DeepInteraction: 3D Object Detection via Modality Interaction / Z. Yang, J. Chen, Z. Miao, W. Li, X. Zhu, L. Zhang // Advances in Neural Information Processing Systems. – 2022. – Vol. 35. – P. 1992–2005.
14. Yin, T. Multimodal Virtual Point 3D Detection / T. Yin, X. Zhou, P. Krähenbühl // Advances in Neural Information Processing Systems. – 2021. – Vol. 34. – P. 16494–16507.
15. Zhao, H. Point Transformer / H. Zhao, L. Jiang, J. Jia, P.H. Torr, V. Koltun // Proceedings of the IEEE/CVF International Conference on Computer Vision, 2021. – P. 16259–16268.
16. Zhou, Y. End-to-End Multi-View Fusion for 3D Object Detection in LiDAR Point Clouds / Y. Zhou, P. Sun, Y. Zhang, D. Anguelov, J. Gao, T. Ouyang, J. Guo, J. Ngiam, V. Vasudevan // Conference on Robot Learning. – PMLR, 2020. – P. 923–932.
-

УДК 658.51

А.Е. БРОМ

ФГАОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)», г. Москва

## СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ К КОНТРОЛЮ КАЧЕСТВА В АВТОМОБИЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ: МЕТОДЫ, СТАНДАРТЫ И ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ

*Ключевые слова:* автомобильная промышленность; безопасность; бережливое производство; контроль качества; надежность; система менеджмента качества; управление качеством; цифровизация; ISO 9001.

*Аннотация.* Контроль качества на автомобильных производствах является одним из ключевых факторов, определяющих успешность и конкурентоспособность компаний в условиях современного рынка.

Автомобильная индустрия – одна из самых динамично развивающихся и технологически сложных отраслей, требующая строгого соблюдения стандартов качества на всех этапах – от разработки и проектирования до производства и послепродажного обслуживания [5]. В условиях растущих требований потребителей к безопасности, надежности и экологичности автомобилей качество становится не просто обязательным, но и стратегически важным элементом, влияющим на репутацию производителя и его финансовые показатели.

Современные методы контроля качества включают различные подходы, такие как статистический контроль процессов, внедрение систем менеджмента качества (например, стандарта ISO 9001) и использование передовых технологий, в частности автоматизации и цифровизации производства [3]. Эти методы позволяют не только выявлять дефекты на ранних стадиях, но и минимизировать риски, связанные с производственными ошибками, что в конечном итоге способствует повышению уровня качества и безопасности выпускаемых автомобилей.

В данной статье рассматриваются основные аспекты контроля качества в автомобильной промышленности, его влияние на безопасность

и надежность продукции, а также современные тенденции и вызовы, с которыми сталкиваются производители в условиях глобализации и усиления конкуренции.

---

### Введение

Автомобильная промышленность является локомотивом технологического развития и ключевой отраслью мировой экономики. В условиях глобализации и насыщения рынка конкуренция между производителями ведется не только в ценовом сегменте, но и в первую очередь в сфере качества, безопасности и надежности выпускаемой продукции. При этом растущая сложность конструкций, ужесточение экологических стандартов и высочайшие требования потребителей делают систему контроля качества критически важным элементом всего производственного цикла [1].

Однако на современном этапе возникает ряд проблем, связанных с ограниченностью существующих методик оценки качества автомобилей в эксплуатации. Вопрос, который встает перед исследователями: насколько существующие системы контроля качества действительно отражают реальные потребительские свойства автомобилей и позволяют прогнозировать их надежность и безопасность в условиях цифровизации и глобальной конкуренции?

Цель работы – выявить ключевые тенденции, методы и проблемы, определяющие эффективность обеспечения качества на сегодняшний день. В рамках статьи рассматривается влияние контроля качества на конечные потребительские свойства автомобиля, такие как безопасность и надежность. Особое вни-

вание уделено современным технологическим вызовам, связанным с цифровизацией и автоматизацией, а также стратегическим аспектам в условиях усиления международной конкуренции.

Гипотеза: внедрение комплексных систем менеджмента качества (*ISO 9001* и *IATF 16949*) на автомобильных предприятиях обеспечивает существенное снижение дефектности продукции и повышение ее надежности за счет стандартизации процессов, мониторинга показателей в реальном времени и формирования культуры непрерывного улучшения.

Основу эффективного управления на современном производстве составляет система контроля качества. Под системой управления качеством понимается совокупность взаимосвязанных и взаимодействующих компонентов, предназначенных для реализации политики организации в области качества и достижения поставленных целей в этой сфере.

Как отмечают Г. Кунц и С. О'Доннел, система обладает несколькими фундаментальными свойствами [1].

1. Целостность: система представляет собой не простую сумму отдельных частей, а новое образование. Ее компоненты взаимосвязаны, а их взаимодействие порождает новые свойства, которые не присущи ни одному из элементов в отдельности.

2. Типология: системы могут быть классифицированы как закрытые (функционирующие изолированно от внешней среды) и открытые (находящиеся в постоянном взаимодействии с внешней средой), что является ключевым аспектом для анализа производственных систем.

3. Структурированность: для идентификации системы необходимы четко определенные границы и внутренние правила, регламентирующие взаимодействие ее элементов.

Эти принципы легли в основу международных стандартов, таких как *ISO 9001*, и являются теоретическим фундаментом для построения эффективных систем качества на автомобильных предприятиях.

В промышленном автомобильном производстве управление качеством является критически важным аспектом, поскольку от него напрямую зависит безопасность, надежность и итоговая удовлетворенность клиентов.

Ключевыми методами, обеспечивающими высокие стандарты в отрасли, являются:

- системы управления качеством (*QMS*, например, *ISO 9001*, *IATF 16949*), которые формируют фундаментальную основу, регламентируя все процессы предприятия;

- статистический контроль процессов (*SPC*), позволяющий отслеживать стабильность производства в реальном времени на основе анализа данных, предотвращая выпуск брака;

- шесть сигм (*Six Sigma*), нацеленные на радикальное снижение дефективности и вариативности критически важных процессов, таких как сборка двигателя или сварка кузова;

- методы *Lean* (бережливое производство) устраняют все виды потерь, повышая эффективность и снижая затраты без ущерба для качества;

- контроль качества на этапе проектирования (*DFQ*) закладывает высокие стандарты надежности и технологичности изделия еще до начала производства, что критически важно для сложной автомобильной продукции.

- анализ коренных причин (*RCA*) и аудиты качества являются основными инструментами реагирования на несоответствия (первый выявляет источник проблемы, а второй системно проверяет соблюдение всех установленных процедур);

- визуальный контроль, остающийся простым и эффективным методом оперативного выявления очевидных дефектов на сборочных линиях.

Эти подходы не используются изолированно, а интегрируются в единую комплексную систему, обеспечивая сквозное управление качеством на всех этапах жизненного цикла автомобиля.

### **Системы управления качеством (*QMS*) как фундаментальная основа**

В рамках комплексного подхода к управлению качеством центральное место занимает внедрение формализованной Системы менеджмента качества (*QMS*). *QMS* представляет собой скоординированную деятельность по руководству и управлению организацией применительно к качеству, направленную на постоянное улучшение процессов и обеспечение стабильного соответствия продукции установленным требованиям.

Международной базой для построения таких систем служит семейство стандартов *ISO 9000*, подготовленное Техническим комитетом ИСО/ТК 176. Ключевым стандартом в этом семействе является *ISO 9001* «Системы менеджмента качества. Требования», который задает универсальную модель для создания эффективной *QMS*, применимую в любой организации, независимо от ее размера и профиля деятельности [2].

Для автомобильной промышленности разработан более специализированный и строгий стандарт – *IATF 16949*, который интегрирует в себя все требования *ISO 9001* и дополняет их отраслевыми практиками, обязательными для всех автопроизводителей и их поставщиков.

### Метод «Шесть сигм» (*Six Sigma*)

Метод «Шесть сигм» – это статистический подход к управлению процессами, нацеленный на радикальное снижение варибельности и количества дефектов. Суть метода заключается в строгом измерении процесса и количественном выражении его качества через показатель  $\sigma$  (сигма), обозначающий стандартное отклонение. Уровень качества процесса определяется тем, насколько его выходные параметры укладываются в заданные допуски. Цель метода – достижение уровня 6 $\sigma$ , что означает всего 3,4 дефекта на миллион возможностей (*ДПМО*) или 99,99966 % на выход годной продукции.

Практическая реализация в автомобильной промышленности происходит через два основных алгоритма:

– *Define, Measure, Analyze, Improve, Control (DMAIC)* (Определить, Измерить, Проанализировать, Улучшить, Контролировать) – для совершенствования существующих процессов, имеющих дефекты;

– *Define, Measure, Analyze, Design, Verify (DMADV)* (Определить, Измерить, Проанализировать, Разработать, Проверить) – для создания новых процессов или продуктов с изначально заложенным высочайшим уровнем надежности.

В автопроме *Six Sigma* является не просто инструментом, а частью производственной культуры, применяясь для оптимизации всего: от точности штамповки кузовных панелей и сборки двигателей до снижения ошибок в логистике и документации [4].

Концепция *Six Sigma* нацелена на решение ряда задач, которые составляют ее основные

принципы.

1. Ориентация на клиента. Конечный потребитель ожидает получить качественный продукт, и в этих ожиданиях скрыты определенные требования. Задача компании заключается в том, чтобы выявить эти требования и удовлетворить их.

2. Управление процессами на основе фактов и данных. В работе не следует полагаться на предположения: действия необходимо обосновывать реальными данными. Для этого важно определить ключевые показатели и регулярно их измерять.

3. Фокус на процессах. Чтобы понять, какие процессы нуждаются в улучшении, необходимо сначала изучить принципы их взаимодействия в производстве или бизнесе. Также важно постоянно управлять и совершенствовать процессы, устраняя те, которые не добавляют ценности.

4. Предусмотрительность. Руководитель должен заранее просчитывать действия, учитывая возможные последствия и результаты своей деятельности.

5. Командная работа и вовлеченность сотрудников. Согласно этой концепции каждый работник должен быть замотивирован на достижение высококачественного результата. Наличие единой цели и заинтересованности в общем деле способствует лучшим результатам и повышению удовлетворенности клиентов.

6. Непрерывное совершенствование и готовность к рискам. Улучшение процессов связано с постоянным повышением качества. В отношении рисков следует проявлять гибкость и не бояться их возникновения, при этом важно учиться на возникающих неудачах и извлекать из них уроки.

### *TQM* (Всеобщее управление качеством)

*Total Quality Management (TQM)* – это комплексная философия управления организацией, основанная на принципе непрерывного улучшения качества всех бизнес-процессов для достижения долгосрочного успеха через полное удовлетворение требований клиента.

Ключевые преимущества внедрения *TQM*:

- значительное повышение удовлетворенности и лояльности клиентов;
- снижение затрат за счет уменьшения брака и переделок;
- формирование корпоративной культуры,

нацеленной на постоянное совершенствование;

- повышение мотивации и ответственности сотрудников.

Потенциальные вызовы и недостатки:

- высокие первоначальные затраты времени и ресурсов на обучение и внедрение;
- сопротивление персонала организационным изменениям;
- риск формального подхода без глубокой трансформации процессов.

В автомобильной промышленности принципы *TQM* лежат в основе отраслевых стандартов (например, *IATF 16949*) и являются идеологическим фундаментом для таких методов, как *Lean Production* и *Six Sigma*.

Анализ коренных причин (*Root Cause Analysis – RCA*) – это систематический метод решения проблем, направленный на выявление и устранение не симптомов, а первоисточников (коренных причин) дефектов, сбоев или инцидентов. Его основная цель – не просто исправить текущую проблему, а разработать и внедрить корректирующие действия, которые предотвратят ее повторное возникновение в будущем.

В автомобильной промышленности *RCA* является критически важным инструментом, особенно при расследовании инцидентов, связанных с:

- браком в продукции (например, дефекты сварки, литья, сборки);
- отказами критически важного оборудования на производственной линии;
- нарушениями в цепочках поставок;
- проблемами безопасности.

Применение методологии *RCA* позволяет не только избежать значительных финансовых потерь от простоев и переделок, но и накапливать знания об уязвимых местах в технологических процессах и продукции [1]. Это способствует созданию более надежных и отказоустойчивых систем, что напрямую влияет на повышение качества и безопасности конечного автомобиля [2].

Основные этапы проведения *RCA* включают следующее.

1. Определение проблемы: четкое описание того, что произошло.
2. Сбор данных: фиксация всех фактов, связанных с инцидентом.
3. Выявление коренной причины.
4. Разработка корректирующих действий: планирование мер по устранению причины.

5. Внедрение и проверка эффективности: реализация решений и мониторинг результата.

Бережливое производство (*Lean production*) – это управленческая концепция, ориентированная на максимальное создание ценности для потребителя путем формирования непрерывного потока и постоянного совершенствования всех процессов организации через полное устранение потерь и вовлечение персонала.

Основная цель *Lean* – систематическое выявление и устранение всех видов потерь. В автомобильном производстве к ключевым потерям относят:

- перепроизводство (избыток деталей);
- излишние запасы (связывает капитал);
- дефекты (брак, требующий переделок);
- ожидание (простой оборудования или персонала);
- излишняя транспортировка (неэффективная логистика);
- лишние движения (неоптимальная эргономика рабочих мест);
- невостребованный талант (неиспользуемый потенциал сотрудников).

Контроль качества на этапе проектирования (*Design for Quality – DFQ*) – это *proactive* (упреждающая) философия и набор методов, интегрированных в процесс разработки продукта с целью заложить высокие стандарты качества, надежности и технологичности непосредственно в конструкцию изделия и производственный процесс, еще до начала его физического производства.

В отличие от традиционного подхода, где качество «контролируется» на выходе сборочной линии, *DFQ* переносит фокус на самые ранние стадии жизненного цикла. В высококонкурентной и технологически сложной автомобильной промышленности это является критическим фактором успеха, так как стоимость исправления ошибки, обнаруженной на этапе проектирования, в сотни раз ниже, чем стоимость устранения той же проблемы на этапе серийного производства или, что еще хуже, – в ходе отзывной кампании.

Важнейшие принципы и методы *DFQ* в автопроме включают следующее.

1. Сбор и анализ требований заказчика (*Voice of the Customer – VoC*): тщательное изучение ожиданий рынка относительно надежности, долговечности, безопасности и удобства эксплуатации будущего автомобиля.

2. *FMEA*-анализ (*Failure Mode and Effects Analysis* – анализ видов и последствий потенциальных отказов): систематическая процедура для выявления всех возможных способов отказа компонента или системы, оценки рисков и разработки предупреждающих действий на этапе проектирования. Проводится как для продукции (*DFMEA*), так и для технологических процессов (*PFMEA*).

3. Разработка эксперимента (*Design of Experiments* – *DOE*): статистический метод планирования и проведения экспериментов для оптимизации параметров продукта и процесса, позволяющий найти наилучшую комбинацию материалов, допусков и настроек оборудования.

4. Совместная работа межфункциональных команд (*Cross-Functional Teams*): непрерывное взаимодействие между инженерами-конструкторами, технологами, специалистами по качеству и снабжению с самого начала проекта для обеспечения *manufacturability* (технологичности) *designs*.

5. Создание прототипов и стендовые испытания: раннее тестирование узлов и систем (двигатель, трансмиссия, подвеска, электроника) в условиях, имитирующих реальные нагрузки, для выявления слабых мест и валидации конструкции [3].

6. Анализ допусков и посадок (*Geometric Dimensioning and Tolerancing* – *GD&T*): точное определение допустимых отклонений геометрических параметров деталей для гарантии их беспроблемной сборки и функционирования.

Преимущества внедрения *DFQ* для автопроизводителя:

- сокращение сроков выхода на рынок за счет минимизации дорогостоящих переделок на поздних стадиях;
- значительное снижение себестоимости за счет уменьшения брака, отходов и затрат на гарантийное обслуживание;
- повышение надежности и безопасности конечного продукта, что напрямую укрепляет репутацию бренда;
- упрощение производственного процесса и снижение его зависимости от высококвалифицированного ручного труда для постоянной «доводки» продукции.

Таким образом, *DFQ* трансформирует качество из функции конечного контроля в неотъемлемый атрибут самого продукта, что является

стратегическим преимуществом в условиях глобального рынка.

### Цифровизация и новые вызовы контроля качества. *Big Data* и Интернет вещей (*IoT*)

Каждый современный автомобиль оснащен тысячами датчиков, которые фиксируют состояние агрегатов, параметры эксплуатации и даже стиль вождения. По данным отраслевых исследований, один автомобиль среднего класса может генерировать до 25 Гб данных в час работы. Эти данные формируют так называемый цифровой двойник автомобиля, который используется для прогнозирования дефектов и оптимизации обслуживания.

Преимущества *Big Data* и *IoT* в управлении качеством.

1. Прогнозирование отказов. Системы на основе потоковых данных позволяют заранее выявлять потенциальные поломки двигателя, тормозной системы или электроники.

2. Персонализация сервисного обслуживания. На основе истории эксплуатации для каждого автомобиля формируются индивидуальные графики технического обслуживания (*ТО*), что снижает вероятность аварий.

3. Управление цепочкой поставок. *IoT* применяется не только в самом автомобиле, но и на заводах: контроль оборудования в реальном времени позволяет минимизировать простои и выпуск брака.

### Искусственный интеллект и машинное обучение

Искусственный интеллект (*AI*) стал ключевым элементом современного контроля качества. Если классические методы ограничиваются анализом статистики или экспертными заключениями, то алгоритмы машинного обучения способны выявлять сложные многомерные зависимости.

1. Компьютерного зрения. Системы камер проверяют качество сварных швов и лакокрасочного покрытия, распознавая микродефекты, которые не видны человеческому глазу.

2. Анализа телеметрии. Машинное обучение прогнозирует вероятность отказа узлов на основе миллионов наблюдений за эксплуатацией автомобилей в разных климатических и дорожных условиях.

Таблица 1. Сравнение традиционных и цифровых методов контроля качества

Подход	Сильные стороны	Ограничения	Перспективы при интеграции
<i>SPC</i> (статистический контроль)	Простота, наглядность, быстрый мониторинг	Эффективен только при стабильных процессах	Может использоваться как базовый слой анализа для <i>IoT</i> -данных
<i>Six Sigma</i>	Снижение дефектов до минимума, культура качества	Требует больших затрат времени и ресурсов	Усиление за счет <i>AI</i> -анализаторов больших массивов
<i>Lean</i>	Устранение потерь, повышение эффективности	Риск снижения качества при чрезмерной оптимизации	Цифровые датчики позволяют объективно измерять потери
<i>Design for Quality (DFQ)</i>	Предотвращает дефекты на стадии проектирования	Высокая стоимость и сложность внедрения	<i>AI</i> может автоматически моделировать сценарии отказов
<i>RCA</i> (анализ коренных причин)	Глубокое устранение источников проблем	Реактивный, применяется после дефектов	<i>Big Data</i> позволяет автоматизировать <i>RCA</i> и выявлять скрытые паттерны
<i>AI + Big Data + IoT</i>	Прогнозирование, работа в реальном времени, высокая точность	Высокая стоимость, риски киберугроз	В сочетании с классическими методами формирует гибридную систему качества

3. Оптимизации логистики и сборки. Алгоритмы анализируют данные по поставкам и автоматически перестраивают производственный план, если выявлен риск нехватки деталей.

### Новые риски цифровизации

1. Кибербезопасность. Чем больше автомобиль зависит от цифровых технологий, тем выше риск хакерских атак, которые могут исказить данные о качестве или даже вывести автомобиль из строя.

2. Высокая стоимость внедрения. Построение инфраструктуры *IoT*, *Big Data* и *AI* требует значительных инвестиций и подготовки персонала.

3. Дефицит компетенций. На стыке машиностроения и цифровых технологий ощущается нехватка специалистов, способных одновременно работать с инженерными процессами и большими данными.

### Перспективы исследования

Во-первых, актуальной задачей становится интеграция традиционных методов управления качеством (*SPC*, *Lean*, *DFQ*) с цифровыми технологиями (*AI*, *IoT*, *Big Data*). Такой гибридный подход позволит объединить накопленный

опыт инженерных школ с возможностями современных вычислительных систем. В частности, данные, поступающие от датчиков на производстве и в эксплуатации автомобилей, могут использоваться для предиктивного анализа и своевременного выявления потенциальных дефектов, что в значительной мере снижает риск массовых отказов и дорогостоящих отзывов.

Во-вторых, перспективным направлением представляется развитие процедур *Failure Mode and Effects Analysis (FMEA)* на основе алгоритмов машинного обучения. Традиционный *FMEA* остается мощным инструментом анализа рисков, однако его применение требует значительных экспертных ресурсов и носит статический характер. Использование методов машинного обучения позволит автоматизировать выявление потенциальных отказов, формировать динамические карты рисков и повышать точность прогнозов.

Наконец, особое значение имеет разработка интеллектуальных систем поддержки принятия решений для специалистов по качеству. Такие системы должны объединять функции мониторинга, прогнозирования и выработки рекомендаций, снижая нагрузку на персонал и минимизируя вероятность человеческих ошибок.

Таким образом, научная новизна работы заключается в предложении концепции инте-

грации классических инструментов управления качеством с современными цифровыми технологиями, что открывает возможности для формирования проактивной, адаптивной и высокоточной системы контроля качества в автомобильной промышленности.

### Заключение

Контроль качества в автомобильной промышленности представляет собой сложную, многогранную систему, основанную на инте-

грации современных методологий и стандартов. Как показано в статье, такие подходы, как *QMS* (в частности, *IATF 16949*), *Six Sigma*, *TQM*, *RCA*, *Lean* и *DFQ*, не являются взаимоисключающими, а, напротив, дополняют друг друга, формируя комплексный подход к управлению качеством.

Дальнейшее развитие отрасли будет связано с глубокой интеграцией цифровых технологий (*AI*, *IoT*, *Big Data*) в практики управления качеством, что откроет новые возможности для прогнозирования и предотвращения рисков [1].

### Список литературы

1. Козловский, В.Н. Методология анализа и прогнозирования качества автомобилей в эксплуатации / В.Н. Козловский, Д.В. Антипов, А.В. Заятров // Известия Самарского научного центра РАН, 2025.
2. Айдаров, Д.В. Совершенствование экспертных инструментов оценки потребительского качества автомобилей / Д.В. Айдаров, В.Н. Козловский. – Самара, 2018.
3. MIT Technology Review. Tesla's over-the-air updates are rewriting the rules of quality control [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://www.technologyreview.com/2021/03/12/1020605/tesla-over-the-air-updates-quality-control>.
4. Кузнецов, Д.О. Методы оценки качества автомобилей с точки зрения потребителей / Д.О. Кузнецов // Автомобильная промышленность, 2009.
5. Федоскина, Л.А. Оценка качества автомобилей с точки зрения потребителей: анализ подходов, применяемых в мировой практике / Л.А. Федоскина // Маркетинг и логистика.

### References

1. Kozlovskiy, V.N. Metodologiya analiza i prognozirovaniya kachestva avtomobiley v ekspluatatsii / V.N. Kozlovskiy, D.V. Antipov, A.V. Zayatrov // Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra RAN, 2025.
2. Aydarov, D.V. Sovershenstvovaniye ekspertnykh instrumentov otsenki potrebitel'skogo kachestva avtomobiley / D.V. Aydarov, V.N. Kozlovskiy. – Samara, 2018.
3. MIT Technology Review. Tesla's over-the-air updates are rewriting the rules of quality control [Electronic Resource]. – Access Mode : <https://www.technologyreview.com/2021/03/12/1020605/tesla-over-the-air-updates-quality-control>.
4. Kuznetsov, D.O. Metody otsenki kachestva avtomobiley s tochki zreniya potrebiteley / D.O. Kuznetsov // Avtomobil'naya promyshlennost', 2009.
5. Fedoskina, L.A. Otsenka kachestva avtomobiley s tochki zreniya potrebiteley: analiz podkhodov, primenyayemykh v mirovoy praktike / L.A. Fedoskina // Marketing i logistika.

УДК 658.5

Э.Р. ЖДАНОВ, Р.А. ЯФИЗОВА, О.С. ХАРИНА, А.В. КРЮКОВ  
ФГБОУ ВО «МИРЭА – Российский технологический университет», г. Москва

## ПЕРСПЕКТИВЫ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ НАУКОЕМКОЙ ПРОДУКЦИИ

*Ключевые слова:* автоматизация производства; безопасность эксплуатации; инновационные материалы; конкурентоспособность; контроль качества; наукоемкая продукция; профессиональная квалификация; управление качеством.

*Аннотация.* В статье рассмотрены перспективы совершенствования системы управления качеством наукоемкой продукции, подчеркнута важность разработки инновационных материалов, автоматизации производственных процессов, организации строгого контроля качества и повышения квалификации персонала. Цель статьи – рассмотреть и предложить пути улучшения системы управления качеством наукоемкой продукции, выявить наиболее значимые аспекты и разработать комплекс мероприятий, позволяющих повысить эффективность производственных процессов, снизить количество дефектов и повысить конкурентоспособность российских предприятий на международном рынке.

Особое внимание уделяется вопросам обеспечения безопасности эксплуатируемых продуктов, подчеркивая необходимость тщательного контроля качества на каждом этапе производственного цикла. Комплексный подход предполагает интеграцию инновационных решений, направленных на улучшение эксплуатационных характеристик изделий и снижение рисков появления дефектов. Для достижения поставленных целей рекомендуется внедрять современные методики контроля качества, проводить регулярное обучение сотрудников и поддерживать партнерские отношения с поставщиками сырья. Эффективное управление качеством наукоемкой продукции способствует укреплению позиций российских предприятий на международном рынке, обеспечивая высокое качество и надежность выпускаемой

продукции.

Вопрос управления качеством наукоемкой продукции выступает ключевым фактором современного производства, особенно в сфере аэрокосмической инженерии. Продукция подобного уровня обязана отвечать строгим критериям качества, надежности и долгосрочной эксплуатации ввиду высокого риска и ответственности, сопряженных с ее использованием.

Соответственно, необходим специализированный подход к обеспечению качества на протяжении всей цепочки создания продукта – от этапа его проектирования до финальной сборки конечного изделия. Современная наука рассматривает проблему управления качеством наукоемкой продукции как комплексную дисциплину, интегрируя в нее принципы менеджмента качества, инженерные знания и методы метрологии [4].

Эффективность любого промышленного процесса напрямую зависит от способности контролировать и улучшать качество продукции на каждой ступени жизненного цикла изделия. Это включает всестороннюю диагностику материалов, точную настройку технологических операций, регулярный мониторинг производственных линий и объективную проверку готовых продуктов.

Процесс управления качеством наукоемкой продукции ориентирован на предотвращение возможных отказов и минимизацию рисков, связанных с дефектами продукции. Применяя инструменты статистического анализа, инструментальные проверки и международные стандарты (например, серии *ISO*), производители стремятся минимизировать вариации в продуктах и процессах, что непосредственно отражается на снижении вероятности возникновения дефектов.

Важно отметить, что ключевую роль играют сертификационные процедуры и обязательные аудиты качества, которые обеспечивают подтверждение соответствия изделия установленным нормам и регламентам. Надежность продукта оценивается посредством тестов на долговечность, усталость материалов, электромагнитную совместимость и прочие параметры, характеризующие продуктивность и безопасность эксплуатации.

Актуальность вопроса повышения качества наукоемкой продукции возрастает вследствие усиливающейся конкуренции на глобальном рынке и роста требований потребителей. Производители сталкиваются с необходимостью учета ряда значимых факторов, оказывающих непосредственное влияние на процесс выпуска качественной продукции.

Прежде всего, особую значимость приобретает требование высокой точности исполнения изделий, обусловленное спецификой применения наукоемких технологий и материалов, допускающих исключительно малые отклонения от нормативных параметров. Несоответствие продукции указанным стандартам способно привести к сбоям в функционировании механизмов и устройств, что чревато дорогостоящими ремонтами и потерей доверия клиентов [3].

Следующей важной задачей является поддержание экономического равновесия путем оптимизации затрат на производство без ущерба качеству изделий. Решение данной проблемы возможно через рационализацию производственных процессов, внедрение энергоэффективных технологий и выбор рациональных схем организации труда.

Еще одним приоритетным направлением является удовлетворение растущих экологических требований, подразумевающих переход на ресурсосберегающие и экологически чистые технологии производства. Требуется разработка новых видов материалов и модернизация традиционных технологических процессов, что подразумевает значительный объем научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ [2].

Наконец, особое внимание должно уделяться обеспечению безопасности эксплуатируемой продукции, особенно в авиационной, космической и оборонной промышленности. Уделяя должное внимание контролю качества на всех этапах производственного цикла, производитель способен гарантировать высокую надеж-

ность выпускаемых изделий и исключить возникновение опасных ситуаций.

Эффективное управление качеством наукоемкой продукции предусматривает реализацию ряда стратегических направлений, каждое из которых направлено на последовательное повышение стабильности и надежности конечного результата [1].

1. Создание инновационных материалов, обладающих повышенной устойчивостью к воздействию неблагоприятных факторов внешней среды, таких как высокие температуры, давление и интенсивные механические нагрузки. Широко распространенным решением в данном контексте выступают композитные материалы, позволяющие сочетать уникальные физико-химические свойства различных веществ, добиваясь существенных улучшений эксплуатационных характеристик изделий.

2. Активное внедрение автоматизации производственных процессов, позволяющее сократить долю человеческого фактора и уменьшить вероятность появления дефектов. Роботизация производственных линий способствует росту производительности и поддержанию стабильно высокого уровня качества продукции.

3. Осуществление регулярного мониторинга технологических режимов, обеспечивающего постоянную обратную связь о состоянии производственных процессов и своевременное реагирование на возможные отклонения. Постоянный контроль за условиями обработки материалов гарантирует стабильность физико-химических свойств готовой продукции.

4. Прохождение обязательной сертификации согласно международным стандартам (*ISO*), подтверждающей приверженность производителя общепринятым правилам и процедурам обеспечения качества. Сертификаты повышают доверие покупателей и способствуют выходу продукции на международный рынок.

5. Повышение профессиональной подготовки кадров, осуществляемое через систему внутреннего и внешнего обучения, адаптированное к специфике производства наукоемкой продукции. Грамотно организованное обучение улучшает квалификацию сотрудников, содействуя развитию компетенций, необходимых для выявления и устранения потенциальных дефектов.

Качество наукоемкой продукции обеспечивается комплексной системой мероприятий, каждая составляющая которой нацелена на

устранение внутренних резервов неэффективности и гарантирование наивысших потребительских свойств продукции.

Среди рекомендованных мер выделяются следующие мероприятия.

1. Регулярные аудиторские проверки технологического процесса, направленные на выявление слабых мест и принятие упреждающих мер для исправления возникающих нарушений. Подобные проверки позволяют своевременно обнаружить дефекты и устранить причины их возникновения.

2. Интеграция автоматизированных систем мониторинга и диагностики дефектов, охватывающих весь цикл производства. Применение цифровых платформ и датчиков обеспечивает быстрое выявление неисправностей, ускоряя реакцию на возникающие сбои.

3. Создание специализированных отделов контроля качества, наделенных полномочиями отслеживать состояние выпускаемых изделий и оперативно реагировать на появление несоответствия стандартам. Такая структура позволяет централизованно управлять всеми этапами производства, устраняя разрывы между отделами и службами.

4. Повышение персональной ответственности каждого сотрудника, участвующего в производственной цепи. Через внедрение мотивационных программ и тренингов удастся стимулировать персонал ответственно относиться к выполнению обязанностей, понимая прямую связь между действиями отдельных исполнителей и итоговыми качествами изделия.

5. Постоянное взаимодействие с поставщиками сырьевых ресурсов и комплектующих, выступающее залогом стабильного обеспечения высококачественным исходным материалом. Устойчивые партнерские отношения обеспе-

чивают поставку проверенных материалов и своевременное информирование о любых изменениях качества поставок.

Таким образом, оптимизация управления качеством наукоемкой продукции возможна лишь при условии интеграции множества взаимодополняющих подходов.

Во-первых, важным этапом являются создание и внедрение инновационных материалов, которые способны выдержать разнообразные внешние воздействия и продлить срок службы изделий.

Во-вторых, активное освоение и адаптация передовых технологий позволяют модернизировать производственный процесс, снижая риски появления дефектов и увеличивая экономические выгоды предприятия.

Третье направление связано с постоянным повышением квалификации сотрудников, что достигается путем организации регулярных учебных курсов и тренингов, обновляющих профессиональные компетенции.

Четвертый ключевой аспект – строгий контроль качества на всех стадиях производственного цикла, позволяющий своевременно выявлять и устранять недостатки еще на ранних этапах.

Только комплексный подход, объединяющий перечисленные компоненты, способен обеспечить российские предприятия необходимыми инструментами для выхода на международную арену, удерживая высокие позиции по уровню качества и конкурентоспособности продукции. Благодаря такому подходу отечественные производители смогут уверенно позиционировать продукцию на мировых рынках, соблюдая необходимые уровни безопасности и долговечности, что придает дополнительную ценность выпускаемым товарам.

*Работа выполнена за счет средств Государственного задания № FSSFZ-2024-0048.*

### Список литературы

1. Андреев, С.А. Стратегические направления повышения качества наукоемкой продукции / С.А. Андреев. – М.: Экономика, 2021. – 256 с.
2. Данилов, И.В. Качество наукоемкой продукции: современный взгляд / И.В. Данилов. – СПб : СПбГУ, 2021. – 256 с.
3. Жданов, Э.Р. Технологические аспекты создания композитных авиационных высокотемпературных оболочек за счет управления свойствами структуры исходного материала / Э.Р. Жданов, Е.В. Климова, А.В. Волков, Р.А. Яфизова, А.В. Крюков, В.Н. Просецкий // КИШП. ОМД. – 2024. – № 10. – С. 3–8.
4. Кузнецов, Е.С. Теория и практика управления качеством наукоемких проектов / Е.С. Куз-

нецов. – Новосибирск : Издательство Новосибирского университета, 2022. – 368 с.

### References

1. Andreyev, S.A. Strategicheskiye napravleniya povysheniya kachestva naukoymkoy produktii / S.A. Andreyev. – M.: Ekonomika, 2021. – 256 s.
2. Danilov, I.V. Kachestvo naukoymkoy produktii: sovremennyy vzglyad / I.V. Danilov. – SPb : SPbGU, 2021. – 256 s.
3. Zhdanov, E.R. Tekhnologicheskiye aspekty sozdaniya kompozitnykh aviatsionnykh vysokotemperaturnykh obolochek za schot upravleniya svoystvami struktury iskhodnogo materiala / E.R. Zhdanov, Ye.V. Klimova, A.V. Volkov, R.A. Yafizova, A.V. Kryukov, V.N. Prosetskiy // KSHP. OMD. – 2024. – № 10. – S. 3–8.
4. Kuznetsov, Ye.S. Teoriya i praktika upravleniya kachestvom naukoymkikh proyektov / Ye.S. Kuznetsov. – Novosibirsk : Izdatel'stvo Novosibirskogo universiteta, 2022. – 368 s.

---

© Э.Р. Жданов, Р.А. Яфизова, О.С. Харина, А.В. Крюков, 2025

УДК 331.1:004.8:005.3

М.Н. МАГОМЕДОВ

ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный институт кино и телевидения»;  
ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет  
«ЛЭТИ» имени В.И. Ульянова (Ленина)», г. Санкт-Петербург

## ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ КАК СРЕДСТВО ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ УПРАВЛЕНИЯ БИЗНЕС-ПРОЦЕССАМИ КОМПАНИИ

*Ключевые слова:* анализ; бизнес-процесс; данные; искусственный интеллект; компания; технологии; управление; эффективность.

*Аннотация.* В статье рассматриваются возможности современных технологий наращивать эффективность работы организаций. Цель – провести анализ особенностей использования искусственного интеллекта для повышения эффективности управления бизнес-процессами компании. Задачи: 1) описать сущность цифровых технологий в бизнесе; 2) выявить сферы, в которых искусственный интеллект способен улучшить управление бизнес-процессами; 3) изучить передовые отраслевые практики и достигнутые эффекты применения технологических инноваций в управлении бизнес-процессами. Гипотеза: внедрение инструментов искусственного интеллекта позволяет увеличить отдачу, упростить и оптимизировать управление бизнес-процессами компании. Методы: моделирование, сравнение, анализ, обобщение, структуризация. Результаты: в статье обозначены стратегические направления интеграции искусственного интеллекта в управление бизнес-процессами. Выделены компетенции и навыки персонала, необходимые для освоения новых технологий. Формализован алгоритм оцифровки экосистемы бизнес-процессов компании.

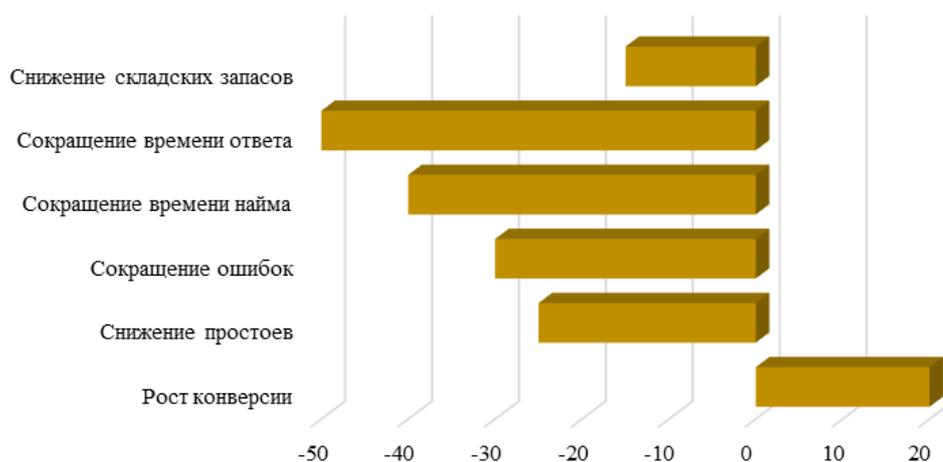
На протяжении последних нескольких десятилетий компании в различных отраслях промышленности сталкиваются с вызовами со стороны нестабильной или динамичной бизнес-среды, характеризующейся стремительно развивающимися технологиями (например, машинное обучение, Интернет вещей и т.д.) и внешними потрясениями (такими как полити-

ческая нестабильность, экономические кризисы, пандемия), которые способны нарушить привычный порядок работы. Это, в свою очередь, усиливает потребность в адаптивных методах управления бизнес-процессами, которые позволяют им быть не только экономически эффективными, но и гибкими, инновационными и устойчивыми по своей природе [4].

Такие запросы на сегодняшний день способны удовлетворить технологии искусственного интеллекта (ИИ), которые дают возможность вносить организационные изменения, направленные на получение будущей выгоды от имплементации передовых решений в контур всего жизненного цикла бизнес-процессов, начиная от разработки до исполнения, мониторинга и анализа данных. Исследование консалтинговой компании *McKinsey* оценивает долгосрочный потенциал роста производительности в сфере управления бизнес-процессами за счет ИИ в 4,4 трлн долл. [1]. На фоне этого компании начинают перепроектировать рабочие процедуры при внедрении ИИ и назначают руководителей высшего звена на ключевые должности, такие как надзор за управлением ИИ. Согласно недавнему опросу *EY*, внедрение ИИ на рабочем месте выросло с 22 % в 2023 г. до 75 % в 2024 г., что свидетельствует о его быстром внедрении во всех отраслях [3].

Полученные результаты уже сегодня оцениваются очень положительно, что наглядно демонстрирует рис. 1.

Принимая во внимание вышеизложенное, очевидным является тот факт, что долгосрочный потенциал ИИ велик, однако краткосрочная отдача от него пока еще неясна. В течение следующих трех лет 92 % компаний планируют увеличить свои вложения в ИИ и расширить его использование. Однако на этом фоне только 1 %



**Рис. 1.** Эффективность использования ИИ в оптимизации бизнес-процессов, % (по данным *McKinsey*)

руководителей называет свои бизнес-процессы «зрелыми» в плане внедрения, это означает, что ИИ полностью интегрирован в рабочие операции и приносит существенные бизнес-результаты.

Поэтому на сегодняшний день главный вопрос заключается в том, каким образом выбрать наиболее действенные инструменты ИИ, как обосновать эффективный алгоритм их внедрения, чтобы сделать бизнес-процессы компании более адаптивными к изменениям (таким как роботизированная автоматизация, предиктивный мониторинг, оптимизация процедур на основе данных), при этом придерживаясь основной стратегии развития и моделей жизненного цикла процессов.

Необходимость решения отмеченных выше вопросов и их актуальность предопределили выбор темы данной статьи.

Потенциал ИИ для революционных изменений во взаимодействии между предприятиями и заинтересованными сторонами, благодаря созданию значительной ценности в результате повышения эффективности управления бизнес-процессами, раскрывают в своих трудах Ю.А. Ключева, Я.В. Грибова, К.А. Закатова, И.А. Кокорев, *S.G. Bouschery, V. Blazevic, T. Frank.*

Проблемы внедрения бизнес-процессов, поддерживаемых технологиями ИИ, в компаниях, чьи информационные системы изначально не были предназначены для структурирования и обработки больших данных, детально анализируют Е.А. Минина, А.Л. Золкин, С.А. Жильцов,

И.В. Соловьев, *Adeel Luqman, Qingyu Zhang, Shalini Talwar.*

Проведенный анализ публикаций и наработок свидетельствует о том, что в поле зрения ученых находится широкий спектр вопросов, относящихся в рассматриваемой тематике, однако также есть еще ряд проблемных моментов, которые требуют уточнения. Например, в дальнейшем развитии нуждаются подходы адаптации инструментов ИИ к профилю и предпочтениям бизнес-пользователя, улучшаемым процессам с тем, чтобы получить наибольшую отдачу от новых технологий. Кроме того, в дополнительном обосновании нуждаются критерии эффективности, которые позволят оценить качество результатов выполнения операций, прохождения процедур и оптимизации бизнес-решений при поддержке ИИ.

Таким образом, цель статьи заключается в проведении анализа особенностей использования ИИ как средства повышения эффективности управления бизнес-процессами компании.

Прежде всего, необходимо отметить, что внедрение технологии ИИ в управление бизнес-процессами компаний предполагает использование машинного и глубокого обучения, многомерных алгоритмов, методов обработки естественного языка, компьютерного зрения и интеллектуальных систем принятия решений для автоматизации задач, которые ранее считались слишком сложными, динамичными или зависящими от человеческого суждения для традиционной автоматизации [5]. В результате бизнес-процессы становятся динамичными и

постоянно совершенствуются, плавно адаптируясь к новым сценариям и меняющимся потребностям бизнеса. В данном случае важно акцентировать внимание на том, что речь идет не просто об ускорении выполнения задач, а о внедрении интеллекта в сам бизнес-процесс, что позволяет системам учиться, адаптироваться, прогнозировать и даже принимать автономные решения в рамках заданных параметров. Такая продвинутая автоматизация имеет ключевое значение для эффективного использования ИИ в бизнесе.

Учитывая новые требования компаний к сквозным инновациям и сохранению актуальности, исследования в области менеджмента сходятся во мнении, что «экосистемы бизнес-процессов» считаются «никогда не завершенными» и постоянно нуждающимися в улучшении [2]. С учетом отмеченного развитие управления бизнес-процессами на основе ИИ требует пересмотра социотехнических конструкций и внедрения новых точек принятия решений, основанных на данных и наблюдениях, полученных в результате применения методов ИИ. Эти обновленные параметры, в свою очередь, позволяют ввести новые стабильные конструкции и требуют переработки платформ управления. За этим следует процесс гибкости/стабильности, который продолжается до тех пор, пока не будет найдена новая, более оптимальная конфигурация бизнес-процессов.

Стратегическая интеграция ИИ в бизнес-процессы направлена на расширение возможностей человека и оптимизацию сложных операционных задач. Опишем более подробно, каким образом ИИ позволяет повысить эффективность управления бизнес-процессами компании.

1. Интеллектуальная система принятия решений на основе ИИ: выходя за рамки базовой автоматизации, ИИ все чаще используется для поддержки принятия сложных решений, а в некоторых случаях – для автономного принятия решений. Анализируя исторические данные, вводимые в режиме реального времени, рыночные условия и сведения, получаемые из внешних коммуникаций, модели ИИ могут предоставлять прогнозную аналитическую информацию, рекомендовать оптимальные действия или даже разрабатывать решения в рамках бизнес-процесса, повышая гибкость и оперативность.

2. Гиперавтоматизация и интегрирован-

ные экосистемы: концепция гиперавтоматизации предполагает автоматизацию всего, что можно автоматизировать, и в настоящее время она только набирает обороты. Это предполагает объединение ИИ, машинного обучения и других технологий для создания глубоко интегрированной экосистемы, которая автоматизирует не только отдельные задачи, но и целые сквозные процессы. Целью многих инициатив по внедрению ИИ в бизнес-процессы является достижение такого уровня бесшовной, комплексной автоматизации [6].

3. Улучшение качества обслуживания клиентов: внедрение ИИ в управление бизнес-процессами играет ключевую роль для персонализации взаимодействия с потребителями с помощью интеллектуальных чат-ботов, виртуальных помощников и рекомендательных систем. Внутри компании инструменты ИИ оптимизируют рабочие процессы, предоставляют интеллектуальную помощь и сокращают рутинные задачи, что приводит к повышению вовлеченности сотрудников и росту их производительности. Это соответствует философии автоматизации, ориентированной на человека, которая гарантирует, что технологии расширяют возможности людей.

4. Генеративный ИИ в создании контента и синтезе данных: генеративные модели ИИ используются в бизнес-процессах для разработки разнообразных материалов, начиная от составления писем и отчетов до генерации кода и маркетинговых текстов. Они также могут аккумулировать информацию из нескольких источников, предоставляя сводки и аналитические данные, которые ускоряют понимание и принятие решений в рамках бизнес-процессов.

5. Расширенная аналитика для прогнозирования операций: ИИ очень хорошо справляется с анализом огромных массивов данных для выявления закономерностей, прогнозирования будущих результатов, таких как отказ оборудования или колебания спроса, и оптимизации распределения ресурсов. Эта способность меняет подход к использованию ИИ в бизнесе в таких областях, как управление цепочкой поставок, предиктивное техническое обслуживание и финансовое планирование.

Анализируя успешные практики и накопленный в различных отраслях опыт, в табл. 1 автором систематизированы примеры использования ИИ в задачах повышения эффективности управления бизнес-процессами компании.

Таблица 1. Примеры использования ИИ в бизнес-процессах по отраслям (составлено автором)

Отрасль	Применение ИИ в бизнес-процессах	Эффект	Результаты
Ритейл	Персонализация предложений, прогноз спроса	Оптимизация ассортимента, рост продаж	Увеличение конверсии на 15–25 %, сокращение неликвидного товара на 10–15 %
Банковский сектор	Кредитный скоринг, выявление мошенничества	Снижение кредитных рисков, ускорение одобрений	Сокращение времени рассмотрения заявок в 2–3 раза, снижение мошеннических операций на 30–40 %
Производство	Предиктивное обслуживание	Минимизация простоев, снижение затрат на ремонт	Уменьшение аварийных остановок на 20–25 %, экономия на ремонте до 15 %
Логистика	Оптимизация маршрутов доставки, прогнозирование времени прибытия	Снижение затрат на транспорт, повышение точности	Сокращение транспортных расходов на 10–20 %, рост пунктуальности на 95 %
Управление персоналом	Автоматизация подбора персонала, анализ вовлеченности	Ускорение рекрутинга, снижение текучести кадров	Сокращение времени закрытия вакансий на 30–40 %, повышение удержания сотрудников на 10–15 %
Здравоохранение	Анализ медицинских изображений, прогнозирование диагнозов	Снижение ошибок диагностики, ускорение обследований	Повышение точности диагностики до 90–95 %, сокращение времени обследования на 20–30 %
Энергетика	Оптимизация энергопотребления, прогноз нагрузки	Энергоэффективность, снижение издержек	Снижение затрат на электроэнергию на 10–15 %, повышение устойчивости сетей

Чтобы в полной мере использовать потенциал ИИ для управления бизнес-процессами, компаниям целесообразно использовать принципы интеллектуального проектирования, продвигать культуру сотрудничества и обучать персонал эффективной работе с инструментами и технологиями ИИ. Устанавливая ценные партнерские отношения с экосистемами ИИ, создавая надежную технологическую инфраструктуру, руководители будут иметь возможность позиционировать свои компании как пионеров в этом процессе трансформации [6].

С учетом вышеизложенного выделим технические навыки и компетенции, которые необходимо развивать у персонала для эффективного внедрения ИИ в контур управления бизнес-процессами.

1. Способность разрабатывать, анализировать и оценивать методы ИИ с точки зрения достоверности и надежности.

2. Навыки интеграции инструментов ИИ в существующие информационные системы.

3. Умение количественно оценивать неопределенность и выявлять показатели надежности ИИ для конкретного контекста работы.

Также, по мнению автора, следует сосредоточить внимание на необходимых изменениях в управлении бизнес-процессами: другими словами, формализовать алгоритм внедрения ИИ в существующую экосистему процессов и процедур. Итак, выделим следующие обязательные шаги.

Шаг 1. Четкое определение и документирование всех участников бизнес-процесса и текущего уровня его производительности.

Шаг 2. На основе анализа больших данных выявление возможностей для улучшения. В ходе проведения такого анализа учитываются различные соображения конфиденциальности данных, а команда, работающая над улучшением бизнес-процессов, анализирует и проверяет, действительно ли внедрение ИИ соответствует принципам надежности и ответственности.

Шаг 3. Пересмотр существующих бизнес-

процессов и заинтересованных сторон, поскольку при поддержке ИИ в новой версии бизнес-процессов у ключевых стейкхолдеров могут появиться новые роли.

Шаг 4. Разработка рекомендаций по улучшению бизнес-процессов, то есть областей для непосредственного внедрения технологий ИИ.

Шаг 5. Составление плана проекта изменений и плана управления изменениями, а также выбор мер и периодичности проведения контрольных процедур.

Подводя итоги, отметим, что внедрение

технологий ИИ в управление бизнес-процессами является императивом сегодняшнего дня. Благодаря своей способности собирать, анализировать и интерпретировать огромные объемы данных, ИИ играет ключевую роль в повышении эффективности, автоматизации повторяющихся процессов и совершенствовании процедур принятия решений. Для получения высокого результата необходимо использовать пошаговый алгоритм внедрения ИИ и развивать нужные навыки и компетенции персонала.

### Список литературы

1. Krishnan, N. Future of business culture: An artificial intelligence-driven digital framework for organization decision-making process / N. Krishnan // *Complexity*. – 2022. – Vol. 20. – Issue 1. – P. 45–52.
2. Yang, N. Financial big data management and control and artificial intelligence analysis method based on data mining technology / N. Yang // *Wireless Communications and Mobile Computing*. – 2022. – Vol. 20. – P. 65–74.
3. Wang, Y. Safety production supervision of industrial enterprises based on deep learning and artificial intelligence / Y. Wang // *Mobile Information Systems*. – 2022. – Vol. 17. – Issue 14. – P. 23–29.
4. Албогачиева, Л.А. Искусственный интеллект и его влияние на бизнес-процессы / Л.А. Албогачиева // *Экономика: вчера, сегодня, завтра*. – 2024. – Т. 14. – № 7-1. – С. 812–816.
5. Голота, Е.П. Автоматизация бизнес-процессов с помощью искусственного интеллекта: от маркетинга до операционного управления / Е.П. Голота // *Экономика и бизнес: теория и практика*. – 2025. – № 1-2(119). – С. 63–66.
6. Сенько, В.В. Исходные требования для использования искусственного интеллекта в бизнес-процессах / В.В. Сенько // *Экономическое развитие России*. – 2025. – Т. 32. – № 2. – С. 18–25.

### References

4. Albogachiyeva, L.A. Iskusstvennyy intellekt i yego vliyaniye na biznes-protsessy / L.A. Albogachiyeva // *Ekonomika: vchera, segodnya, zavtra*. – 2024. – Т. 14. – № 7-1. – С. 812–816.
5. Golota, Ye.P. Avtomatizatsiya biznes-protsessov s pomoshch'yu iskusstvennogo intellekta: ot marketinga do operatsionnogo upravleniya / Ye.P. Golota // *Ekonomika i biznes: teoriya i praktika*. – 2025. – № 1-2(119). – С. 63–66.
6. Sen'ko, V.V. Iskhodnyye trebovaniya dlya ispol'zovaniya iskusstvennogo intellekta v biznes-protsessakh / V.V. Sen'ko // *Ekonomicheskoye razvitiye Rossii*. – 2025. – Т. 32. – № 2. – С. 18–25.

---

© М.Н. Магомедов, 2025

УДК 621.7:004.4

Е.А. ПРЫТКОВА, В.М. ДАВЫДОВ

ФГБОУ ВО «Тихоокеанский государственный университет», г. Хабаровск

## РАЗВИТИЕ ЦИФРОВЫХ ИНСТРУМЕНТОВ УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ В УСЛОВИЯХ РЕИНЖИНИРИНГА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА

*Ключевые слова:* автоматизация производства; качество продукции; машиностроительное предприятие; реинжиниринг процессов; система менеджмента качества (СМК); цифровизация производства; цифровые технологии.

*Аннотация.* В статье рассматриваются проблемы развития цифровых инструментов управления качеством в условиях реинжиниринга технологических процессов машиностроительных предприятий. Цель исследования – изучить особенности развития цифровых инструментов управления качеством в условиях реинжиниринга технологических процессов машиностроительного производства. Проанализированы существующие программные решения для цифровизации систем менеджмента качества, выявлены основные направления их совершенствования. Предложена концептуальная модель интеграции цифровых инструментов в процессы управления качеством с учетом специфики отечественного машиностроения. Проведенное исследование показало, что цифровизация систем менеджмента качества в условиях реинжиниринга технологических процессов в машиностроении движется неравномерно: производственный контур (MES/ERP, мониторинг, диспетчеризация) развивается быстрее, чем собственно процессы управления качеством. Ключевые разрывы сосредоточены в информационном слое: отсутствуют сквозные механизмы управления несоответствиями и аудитами, единый цифровой словарь объектов качества, а также полнота и сохранность исторических данных для аналитики и прогнозирования.

Современное машиностроительное производство характеризуется непрерывным услож-

нением технологических процессов и ростом требований к качеству выпускаемой продукции. В условиях глобальной конкуренции предприятия вынуждены искать новые подходы к оптимизации производственных процессов, одним из которых является реинжиниринг технологических систем с применением цифровых технологий.

Система менеджмента качества остается одним из ключевых элементов обеспечения конкурентоспособности машиностроительных предприятий. Однако традиционные подходы к управлению качеством зачастую не соответствуют требованиям современного производства, характеризующегося высокой динамичностью и сложностью процессов.

Исследование практики внедрения цифровых инструментов на предприятиях отечественного машиностроения показывает неравномерность развития различных компонентов системы менеджмента качества. Наиболее активно оцифровываются участки, тесно связанные с производственным контуром и учетом ресурсов (MES/ERP, диспетчеризация, мониторинг оборудования), тогда как собственно процессы управления качеством остаются фрагментарными: регистрация несоответствий, анализ причин, планирование и отслеживание корректирующих действий, а также управление аудитами ведутся в разрозненных файлах и локальных базах, не связанных с технологическими данными и данными эксплуатации. Как отмечается в работах Д.И. Благовещенского с соавторами, процессы дирекции (департамента) качества практически не затронуты автоматизацией, единая информационная среда отсутствует. Это следствие стратегической ошибки: цифровые инициативы запускаются «поверх» жизненного цикла изделия, минуя ядро СМК и процессно-

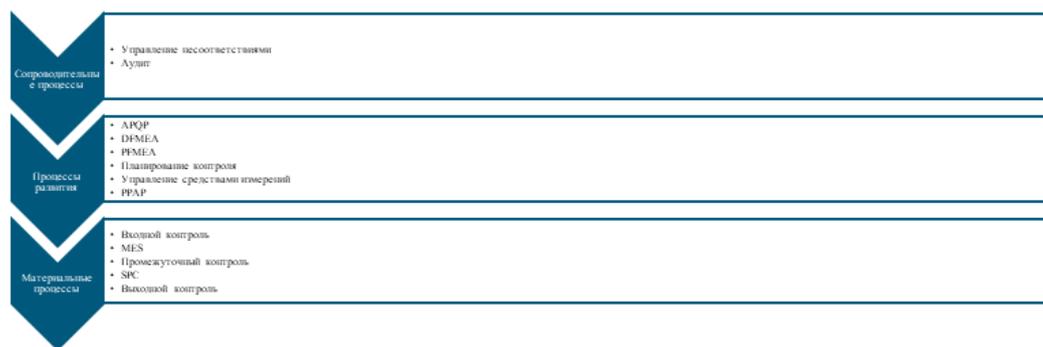


Рис. 1. Решения, используемые с учетом инструментов цифровизации в российской автомобильной отрасли

системный аппарат *ISO 9001*, из-за чего теряется ожидаемый эффект [1].

Практический результат такого перекоса – разомкнутый контур обратной связи между производством, службой качества и эксплуатацией. Внутренние дефекты, претензии потребителей и поломки в эксплуатации регистрируются в несогласованных реестрах; атрибуты события (характеристика контроля, узел, номер операции, партия, поставщик) описываются в свободной форме, не совпадают с мастер-данными технологической подготовки производства. Это делает невозможной устойчивую прослеживаемость «дефект – причина – корректирующее действие – эффект» и повышает риск повторного возникновения проблем на смежных моделях и линиях. На уровне управления отсутствует оперативная картина статусов *САР* и *8D*, сроков и затрат на устранение, долей внешних и внутренних отказов, что напрямую указывается как системная проблема первой категории: нет инструмента управления несоответствиями и корректирующими мероприятиями, работа ведется в *Excel/Word* без сохранения истории и онлайн-статусов [3].

Не менее критичен второй разрыв – управление аудитами. Планирование, чек-листы, несоответствия и последующие действия по аудитам системы, процесса, продукции и поставщиков живут в разных контурах, часто на бумаге. В результате корректирующие мероприятия по итогам разных типов аудитов не консолидируются, метрики зрелости процессов не сравнимы, а тренды нарушений по объектам контроля не выявляются. Это ровно та «вторая ветвь» препятствий цифровизации, зафиксированная в отраслевых исследованиях: отсутствует комплексный инструмент аудитов

от планирования до валидации эффективности корректирующих действий [8]. Показательно, что даже при наличии современных производственных ИТ-систем основной акцент цифровизации СМК остается на информационных инструментах, «недоработанных» в составе существующих решений, – их роль и взаимосвязи четко показаны в концептуальной модели и на обобщенной схеме акцентов цифровизации (рис. 1).

С методологической точки зрения разрыв укоренен в несогласованности целевого и процессного управления качеством. Реинжиниринг технологических процессов, если он не опирается на единый цифровой словарь объектов качества (характеристики, планы контроля, причины, виды несоответствий, меры и эффекты), воспроизводит прежние барьеры в новом интерфейсе. Напротив, цифровое формирование взаимосвязанных инструментов качества – от регистрации дефекта до закрытия эффекта в эксплуатации – задает требуемый контур: единое пространство данных, сквозные идентификаторы событий, согласованные роли и метрики по всей цепочке создания стоимости [9]. В автомобильной отрасли, где требования к прослеживаемости и скорости реакции выше среднего, такая связность – не опция, а условие конкурентоспособности.

Анализ существующих программных решений выявляет значительные различия в функциональных возможностях и степени адаптации к российским условиям. В табл. 1 представлено сравнение основных характеристик популярных систем управления качеством, используемых в машиностроении.

Система *CASQ-it (Boehme&Weihs)* демонстрирует полную российскую локализацию

**Таблица 1.** Сравнительный анализ основных характеристик систем управления качеством, используемых в российских машиностроительных предприятиях

Критерий	<i>CASQ-it (Boehme&amp;Weihs)</i>	<i>SAP QM</i>	<i>Siemens QMS</i>
Локализация	Полная	Полная	Частичная
Освоение и интерфейс	Легко освоить, веб-интерфейс	Сложный, перегруженный	Требуется спецподготовка
Модули качества ( <i>APQP, FMEA, PPAP, MSA</i> )	Полный комплект	Часть методик требует доработки/настроек	<i>MSA</i> и часть аналитики ограничены
Интеграции (измерительное, <i>ERP</i> )	Широкая интеграция с измерительным; <i>ERP</i> – есть	<i>ERP</i> -интеграция сильная (особенно с <i>SAP</i> ), измерительное – частично	Интеграции есть; с <i>Microsoft Outlook</i> – в основном
Аудиты и <i>CPA/8D</i>	Сквозной контур, удобно отслеживать статусы	Есть, но часто требуют доработки и настройки маршрутов	Базово есть; аналитика и связность ограничены
Поддержка и обучение ( <i>RU</i> )	Русскоязычная поддержка, быстрое обучение	Поддержка есть; обучение длительное	Поддержка/локализация ограничены

и высокую простоту освоения, что делает ее привлекательной для российских предприятий. Интерфейс системы организован по принципу работы с браузером, обеспечивая удобство использования. Пользователи получают возможность самостоятельной настройки интерфейса в пределах предоставленных прав доступа.

В то же время *SAP QM*, несмотря на полную локализацию, характеризуется сложным для понимания интерфейсом, перегруженным информацией. Работа с данной системой требует значительной практической подготовки персонала, что может затруднить ее внедрение на предприятиях с ограниченными ресурсами на обучение.

Система *Siemens QMS* занимает промежуточное положение, предлагая частичную локализацию и требуя специализированной подготовки пользователей. Интеграция с продуктами *Microsoft* ограничена только взаимодействием с *Outlook*, что существенно сужает возможности интеграции с корпоративными информационными системами.

Обобщенный анализ препятствующих факторов развития процессов цифровизации на предприятиях отечественного машиностроения позволяет выделить две ключевые проблемные области.

Первое направление связано с отсутствием эффективного инструмента управления внутренними несоответствиями и корректирующими мероприятиями. Данная проблема

проявляется в отсутствии взаимосвязи между выявленными дефектами и реализуемыми корректирующими мероприятиями как по внутренним производственным несоответствиям, так и по внешним, возникающим в процессе эксплуатации продукции.

Второе направление характеризуется отсутствием комплексного инструмента управления аудитами. Эта проблема включает ручное управление всей документацией по аудиту, начиная от стадии планирования и заканчивая отслеживанием выполнения корректирующих мероприятий. Большое количество печатных форм создает дополнительные сложности в управлении аудиторскими процессами. Как отмечается в источниках, современная ситуация на отечественных предприятиях характеризуется парадоксом: система менеджмента качества – «на бумаге» одна из самых сильных на предприятиях промышленного сектора России. Процессы дирекции (департамента) качества практически не затронуты автоматизацией, единая информационная среда отсутствует [1].

Фундаментальной основой разработанной в рамках настоящего исследования концептуальной модели служит принцип цифрового формирования взаимосвязанных инструментов управления качеством, который предполагает создание единой информационной среды, объединяющей все ключевые процессы обеспечения качества. Согласно представленной концептуальной модели по объектам цифровизации в

рамках действующих СМК на автосборочных предприятиях, данный подход реализуется через интеграцию четырех основных процессных блоков: планирования качества, контроля технологических параметров, управления несоответствиями и проведения корректирующих мероприятий. Такая архитектура позволяет преодолеть методологический разрыв, который, как указывается в источниках, укоренен в несогласованности целевого и процессного управления качеством [6].

Критически важным компонентом модели является создание единого цифрового словаря объектов качества, включающего характеристики продукции, планы контроля, классификацию причин и видов несоответствий, а также каталог корректирующих мер и их эффектов. Как подчеркивается в источнике, реинжиниринг технологических процессов, если он не опирается на единый цифровой словарь объектов качества (характеристики, планы контроля, причины, виды несоответствий, меры и эффекты), воспроизводит прежние барьеры в новом интерфейсе [5]. Напротив, цифровое формирование взаимосвязанных инструментов качества от регистрации дефекта до закрытия эффекта в эксплуатации задает требуемый контур единого пространства данных со сквозными идентификаторами событий и согласованными ролями по всей цепочке создания стоимости.

Технологической основой модели выступает система автоматического сбора данных с измерительного оборудования, которая обеспечивает непрерывный мониторинг параметров качества в режиме реального времени. Анализ существующих решений показывает, что наиболее эффективные системы обеспечивают поддержку интеграции со всеми современными электронными системами измерения, что позволяет формировать полную картину состояния качества без временных задержек.

Особое внимание в рамках концептуальной модели уделяется решению двух ключевых проблемных областей, выявленных в ходе анализа процессов цифровизации на предприятиях отечественного машиностроения. Первое направление связано с отсутствием эффективного инструмента управления внутренними несоответствиями и корректирующими мероприятиями.

Для решения этой проблемы концептуальная модель предусматривает создание комплексного инструмента управления несо-

ответствиями, обеспечивающего полную прослеживаемость от момента выявления дефекта до завершения корректирующих мероприятий. Такой инструмент должен интегрировать данные о внутренних производственных несоответствиях с информацией о дефектах, выявленных в процессе эксплуатации продукции потребителями. Формирование единой базы данных позволит проводить комплексный анализ причин возникновения проблем качества и разрабатывать системные решения по их предотвращению.

Второе направление характеризуется отсутствием комплексного инструмента управления аудитами, который должен охватывать весь цикл аудиторских процессов от планирования до валидации эффективности корректирующих действий. Как указывается в источниках, эта проблема включает ручное управление всей документацией по аудиту, начиная от стадии планирования и заканчивая отслеживанием выполнения корректирующих мероприятий. Особенно остро стоит проблема отсутствия взаимосвязи корректирующих мероприятий по результатам различных типов аудитов, включая аудиты системы менеджмента качества, технологических процессов, готовой продукции и поставщиков [2].

Организационный аспект концептуальной модели предусматривает создание гибкой системы управления правами доступа, которая обеспечивает ролевое разграничение полномочий с возможностью тонкой настройки функциональности под специфические потребности различных подразделений предприятия. Такая система позволяет адаптировать цифровые инструменты управления качеством к организационной структуре конкретного предприятия, обеспечивая при этом необходимый уровень информационной безопасности.

Критически важным элементом модели является обеспечение сохранности исторических данных о решении проблем качества. Накопление статистической информации создает основу для применения методов анализа видов, последствий и причин потенциальных дефектов (*FMEA*), что позволяет не только анализировать эффективность принятых мер, но и прогнозировать потенциальные проблемы качества на основе исторических данных [7].

Анализ основных акцентов процессов цифровизации СМК приводит к выводу о том, что основной фокус должен быть направлен на

информационные инструменты, недостаточно полно разработанные в рамках существующих систем. Как отмечается в источниках, в автомобильной отрасли, где требования к прослеживаемости и скорости реакции выше среднего, такая связность является не опцией, а условием конкурентоспособности [4].

Развитие цифровых инструментов управления качеством должно учитывать специфические требования машиностроительного производства в условиях реинжиниринга технологических процессов. Первоочередного внимания требует создание комплексного инструмента управления несоответствиями, обеспечивающего полную прослеживаемость от момента выявления дефекта до завершения корректирующих мероприятий.

Такой инструмент должен интегрировать данные о внутренних производственных несоответствиях с информацией о дефектах, выявленных в процессе эксплуатации продукции потребителями. Формирование единой базы данных позволит проводить комплексный анализ причин возникновения проблем качества и разрабатывать системные решения по их предотвращению.

Развитие инструментов управления аудитами должно предусматривать создание единой системы планирования, проведения и анализа результатов различных типов аудиторских проверок. Интеграция аудитов системы менеджмента качества, технологических процессов, готовой продукции и поставщиков в рамках единой информационной платформы обеспечит формирование комплексного представления о состоянии системы качества.

Особое внимание следует уделить разработке аналитических инструментов, обеспечивающих оперативное предоставление информации о статусе решения проблем качества, результатах анализа причин несоответствий, количественных и финансовых показателях дефектности, временных параметрах выполнения корректирующих мероприятий [10].

Предложенная концептуальная модель ориентирована на устранение этих разрывов за счет формирования единого пространства данных

качества с общими идентификаторами событий, согласованных ролей и метрик по всей цепочке создания стоимости. В модели центральное место занимают:

- комплексный инструмент управления несоответствиями с полной прослеживаемостью от выявления дефекта до проверки эффективности корректирующих действий, интегрированный с данными эксплуатации у потребителя;

- единый контур управления аудитами (СМК, процессы, продукт, поставщики) – от планирования и исполнения до валидации эффективности мер и увязки корректирующих действий между типами аудитов;

- политика сохранности и накопления исторических данных для применения *FMEA* и продвинутой аналитики;

- интеграция с измерительными системами и производственными информационными технологиями для получения данных о качестве в реальном времени;

- гибкое ролевое управление доступом и настройка функциональности под организационную структуру предприятия при соблюдении требований информационной безопасности.

Результаты анализа подтверждают, что в отраслях с высокими требованиями к прослеживаемости (автопром) сквозная связность является не опцией, а условием конкурентоспособности. Следовательно, приоритизация должна смещаться с «железных» и учетных компонентов к информационным инструментам качества, недостаточно покрытым существующими решениями, при обязательной стандартизации терминологии и справочников.

Практические эффекты внедрения модели включают: сокращение цикла реакции на дефекты, снижение стоимости несоответствий за счет повторного использования знаний и предотвращения повторных проблем, повышение эффективности аудитов и качества данных для управленческих решений. Ограничениями являются потребность в корпоративном управлении данными (*data governance*), согласование межфункциональных ролей и изменение организационной культуры.

## Список литературы

1. Благовещенский, Д.И. Развитие цифровых инструментов управления качеством в машиностроительном производстве / Д.И. Благовещенский, В.Н. Козловский, С.А. Шанин, С.И. Клейменов // Известия ТулГУ. Технические науки. – 2022. – № 6. – С. 167–174.

2. Горбунов, А.В. Внутренний аудит системы менеджмента качества / А.В. Горбунов // Менеджмент качества. – 2020. – № 3. – С. 228–240.
3. Григорьева, Е.М. Управление несоответствиями с помощью IT-решения // Экономические исследования. – 2024. – № 1 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://myeconomix.ru/upload/iblock/345/sjsh8ojamry0nund165o5rcz26x0ztt2.pdf>.
4. Информационная логистика в предприятиях автосервиса / О.М. Кирасиров, Д.А. Голованов, Д.М. Кирасиров, А.М. Кирасиров // Научное и техническое обеспечение АПК, состояние и перспективы развития : материалы IX Международной научно-практической конференции, посвященной 105-летию ФГБОУ ВО Омский ГАУ, Омск, 27 апреля 2023 года. – Омск : Омский государственный аграрный университет имени П.А. Столыпина, 2023. – С. 464–469.
5. Казаков, О. Цифровой реинжиниринг моделей бизнес-процессов на основе их метрик качества / О. Казаков, Н. Азаренко, А. Лысенко // Экономика. Информатика. – 2023. – Т. 50. – № 4. – С. 781–791.
6. Клаузевиц, К. О войне / К. Клаузевиц // Vox. Философский журнал. – 2023. – Т. 19. – № 42. – С. 123–138.
7. Мартынюк, А.В. FMEA-анализ как один из комплексных методов эффективного управления качеством / А.В. Мартынюк, А.В. Зарецкий, Т.И. Зимина, М.А. Макаров // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. – 2012. – № 6 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://cyberleninka.ru/article/n/fmea-analiz-kak-odin-iz-kompleksnyh-metodov-effektivnogo-upravleniya-kachestvom>.
8. Мешкова, Г.В. Цифровая трансформация и ее воздействие на методику аудита / Г.В. Мешкова // Гуманитарный научный вестник. – 2024. – № 5. – С. 165–169.
9. Павленко, Н.А. Совершенствование процессов управления качеством с использованием цифровых технологий / Н.А. Павленко // Профессиональная ориентация. – 2024. – № 4-1. – С. 72–74.
10. Чая, В.Т. Показатели качества аудита: проблемы и решения / В.Т. Чая, Н.В. Кобозева // Аудит. – 2018. – № 4. – С. 7–12.

## References

1. Blagoveshchenskiy, D.I. Razvitiye tsifrovyykh instrumentov upravleniya kachestvom v mashinostroitel'nom proizvodstve / D.I. Blagoveshchenskiy, V.N. Kozlovskiy, S.A. Shanin, S.I. Kleymenov // Izvestiya TulGU. Tekhnicheskoye nauki. – 2022. – № 6. – С. 167–174.
2. Gorbunov, A.V. Vnutrenniy audit sistemy menedzhmenta kachestva / A.V. Gorbunov // Menedzhment kachestva. – 2020. – № 3. – С. 228–240.
3. Grigor'yeva, Ye.M. Upravleniye nesootvetstviyami s pomoshch'yu IT-resheniya // Ekonomicheskiye issledovaniya. – 2024. – № 1 [Electronic resource]. – Access mode : <https://myeconomix.ru/upload/iblock/345/sjsh8ojamry0nund165o5rcz26x0ztt2.pdf>.
4. Informatsionnaya logistika v predpriyatiyakh avtoservisa / O.M. Kirasirov, D.A. Golovanov, D.M. Kirasirov, A.M. Kirasirov // Nauchnoye i tekhnicheskoye obespecheniye APK, sostoyaniye i perspektivy razvitiya : materialy IX Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, posvyashchennoy 105-letiyu FGBOU VO Omskiy GAU, Omsk, 27 aprelya 2023 goda. – Omsk : Omskiy gosudarstvennyy agrarnyy universitet imeni P.A. Stolypina, 2023. – С. 464–469.
5. Kazakov, O. Tsifrovoy reinzhiniring modeley biznes-protsessov na osnove ikh metrik kachestva / O. Kazakov, N. Azarenko, A. Lysenko // Ekonomika. Informatika. – 2023. – Т. 50. – № 4. – С. 781–791.
6. Klauzevits, K. O voyne / K. Klauzevits // Vox. Filosofskiy zhurnal. – 2023. – Т. 19. – № 42. – С. 123–138.
7. Martynyuk, A.V. FMEA-analiz kak odin iz kompleksnykh metodov effektivnogo upravleniya kachestvom / A.V. Martynyuk, A.V. Zaretskiy, T.I. Zimina, M.A. Makarov // Aktual'nyye problemy gumanitarnyykh i yestestvennykh nauk. – 2012. – № 6 [Electronic resource]. – Access mode : <https://cyberleninka.ru/article/n/fmea-analiz-kak-odin-iz-kompleksnyh-metodov-effektivnogo-upravleniya-kachestvom>.

8. Meshkova, G.V. Tsifrovaya transformatsiya i yeye vozdeystviye na metodiku audita / G.V. Meshkova // Gumanitarnyy nauchnyy vestnik. – 2024. – № 5. – S. 165–169.

9. Pavlenko, N.A. Sovershenstvovaniye protsessov upravleniya kachestvom s ispol'zovaniyem tsifrovyykh tekhnologiy / N.A. Pavlenko // Professional'naya oriyentatsiya. – 2024. – № 4-1. – S. 72–74.

10. Chaya, V.T. Pokazateli kachestva audita: problemy i resheniya / V.T. Chaya, N.V. Kobozeva // Audit. – 2018. – № 4. – S. 7–12.

---

© Е.А. Прыткова, В.М. Давыдов, 2025

УДК 005.6

М.А. СВЕТАЛКИНА, Д.Д. КРАМОР

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

## АНАЛИЗ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПОСТАВЩИКОВ АО «ППО «ЭВТ ИМ. В.А. РЕВУНОВА»

*Ключевые слова:* дефект; маркетинговые исследования; неудовлетворенность потребителей; поставщики.

*Аннотация.* Статья посвящена анализу деятельности поставщиков АО «ППО «ЭВТ им. В.А. Ревунова». Целью исследования является оценка существующих отношений с поставщиками. Основная задача – улучшение качества выпускаемой продукции на АО «ППО «ЭВТ им. В.А. Ревунова».

В результате исследования разработаны рекомендации по взаимодействию с поставщиками с использованием балльно-рейтинговой оценки показателей и построения сравнительной диаграммы.

Одной из основных причин возникновения дефектов на производстве, а также неудовлетворенности потребителей является «Выявление некачественных материалов, полуфабрикатов и комплектующих изделий» (доставленных от поставщиков). Для разработки вариантов устранения данной проблемы проведены маркетинговые исследования с целью анализа рынка поставщиков необходимых комплектующих [1; 2].

В связи со сложившейся политической и экономической ситуацией в мире предприятие АО «ППО «ЭВТ им. В.А. Ревунова» планирует локализовать наибольшее количество закупаемых материалов. При анализе бытовой кухонной техники было выявлено, что показатели локализации по плитам на данный момент составляют 80 %, по встраиваемой технике значения – ниже 70 % [3; 4].

Был рассмотрен рынок поставщиков разделителей для горелок, так как данный вид комплектующих используется в наибольшем количестве продукции, производимой на предприятии. Сейчас АО «ППО «ЭВТ

им. В.А. Ревунова» закупает данный вид комплектующих у итальянской фирмы *Sabaf S.p.A.* Компания специализируется на разработке и производстве компонентов из цветных сплавов для бытовой газовой кухонной техники. АО «ППО «ЭВТ им. В.А. Ревунова» рассматривает вариант смены поставщика на белорусский бренд *Gefest*, который производится на предприятии СП ОАО «Брестгазоаппарат», также рассматриваемые разделители для горелок производит и российский бренд *Darina*, который работает на базе предприятия ОАО «Газмаш».

После проведения опроса был составлен список значимых показателей по выбору поставщика, наименее значимым оказались такие показатели, как расстояние от продавца до потребителя, количество магазинов у продавца, известность бренда; а наиболее значимые – отзывы на продукцию, цена и таможенная пошлина (рис. 1).

После проведенных маркетинговых исследований составлена таблица, в которой приведены исходные данные по каждому из рассматриваемых поставщиков (табл. 1).

Далее каждому из показателей по каждому поставщику, приведенных в табл. 2, был присвоен балл от 1 до 10, который показывает, насколько каждый из показателей отвечает удовлетворенности потребителя. С учетом разработанной шкалы, где:

- 1 – потребитель абсолютно не удовлетворен данным показателем и готов сменить поставщика в ближайшее время;
- 2 – потребитель полностью не удовлетворен данным показателем, но имеет место быть пересмотр договора с поставщиком;
- 3 – показатель не удовлетворяет требования потребителя, но потребитель не готов сменить поставщика из-за данного показателя;
- 4 – показатель не до конца удовлетворяет требования потребителя;

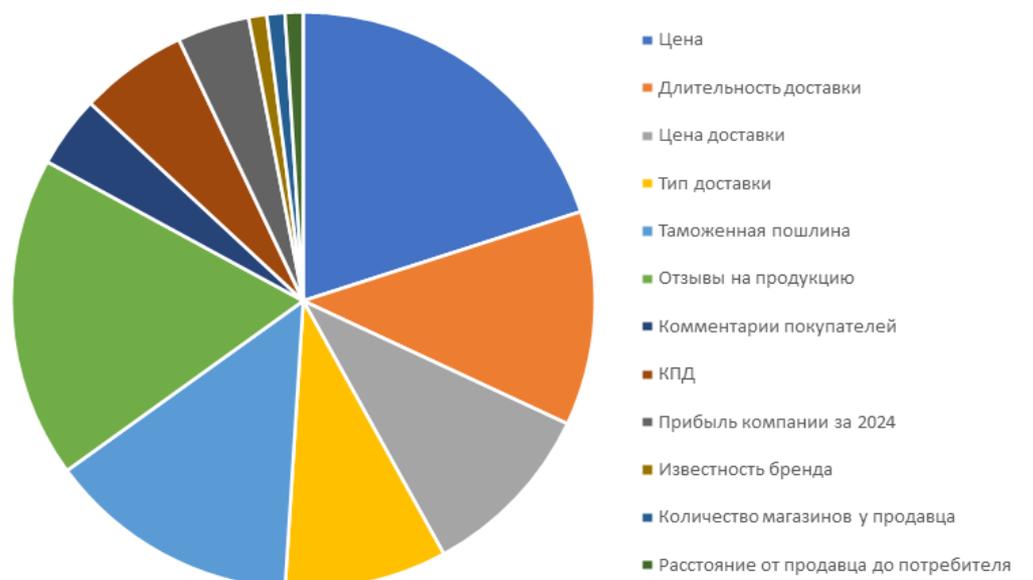


Рис. 1. Показатели выбора поставщика

– 5 – данный показатель не оказывает большого влияния на выбор поставщика, поэтому потребитель относится нейтрально;

– 6 – потребитель частично удовлетворен данным показателем, при этом занимается маркетинговыми исследованиями, чтобы выявить предложения, которые предоставляют наиболее подходящие значения данного показателя;

– 7 – потребитель удовлетворен данным показателем, однако готов заниматься маркетинговыми исследованиями, чтобы рассмотреть предложения, предоставляющие лучшие значения данного показателя;

– 8 – потребитель удовлетворен данным показателем и не готов финансово вкладываться в маркетинговые исследования для поиска более выгодного предложения, однако готов рассматривать поступающие предложения;

– 9 – потребитель полностью удовлетворен данным показателем и не готов финансово вкладываться в маркетинговые исследования для поиска более выгодного предложения;

– 10 – показатель полностью удовлетворяет требования потребителя, выявлено, что значение данного показателя лучшее на рынке.

Баллы, присвоенные каждому из показателей, указаны в табл. 2.

Данные по каждому показателю представлены в виде диаграммы (рис. 2).

Анализируя сравнительную диаграмму поставщиков, можно сделать вывод о том, что отзывы о продукции наиболее высокие у бренда

*Darina*, данный показатель у других поставщиков отстает на 0,1 балла. Также данный бренд имеет наилучшие оценки по показателям «Цена комплектующих», «Цена доставки», так как их расценки наименьшие, что делает их продукцию наиболее выгодной для покупателя среди рассматриваемых поставщиков.

По показателям «Длительность доставки», «Таможенная пошлина», «Комментарии покупателей» *Darina* имеет максимальные из рассматриваемых оценок, но такое же значение имеет бренд *Gefest*.

Наихудшие оценки данный бренд имеет по показателю «Ассортимент», по показателям «Тип доставки», «Коэффициент полезного действия» *Darina* отстает только от бренда *Gefest*. Однако, учитывая, что лучше всего покупатели оценивают бренд *Darina*, можно сделать вывод о том, что отстающие показатели не являются приоритетными для потребителя.

Бренды *Sabaf S.p.A.* и *Gefest* имеют одинаковый балл по отзывам о продукции. Однако бренд *Sabaf S.p.A.* отстает от конкурента по всем показателям, кроме «Ассортимент» и «Прибыль компании». Наиболее весомые для потребителя показатели «Цена» и «Таможенная пошлина» у данного бренда отстают от своих конкурентов.

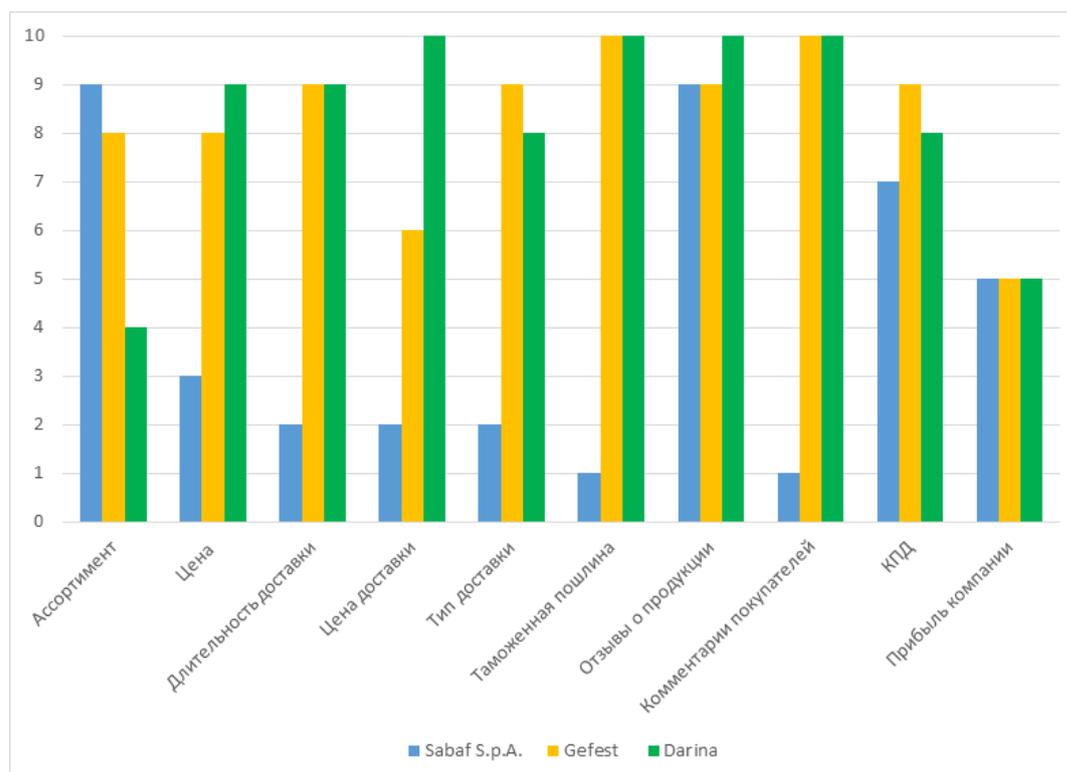
На основе анализа сравнительной диаграммы был составлен ряд рекомендаций для АО «ППО «ЭВТ им. В.А. Ревунова» по смене поставщика разделителей для горелок, список

**Таблица 1.** Показатели для сравнения поставщиков

Показатели	<i>Sabaf S.p.A.</i> , Италия	<i>Gefest</i> СП ОАО «Брестгазоаппарат», Белоруссия	<i>Darina</i> ОАО «Газмаш», Россия
1	2	3	4
Ассортимент	23	20	3
Цена за 1 рассекатель малый газовый	350 руб.	280 руб.	219 руб.
Длительность доставки	от 20 дней	1–3 дня	1–3 дня
Цена доставки	Только через посредников, цена не нормирована	Только при заказе от 5 000 руб.	Бесплатная при любом заказе
Тип доставки	Доставка из Турции в СПб, оттуда через СДЭК по России	ТК «ПЭК», ТК «КИТ», ТК «СДЭК», ТК «Деловые линии», ТК «ЖелДор-Экспедиция», Почта России	ТК «КИТ», Почта России
Таможенная пошлина на ввоз в страну	9 %	0 %	0 %
Отзывы о продукции, оставленные на платформе Яндекс Маркет	4,7	4,7	4,8
Комментарии покупателей	Запросы из РФ обрабатываются с задержкой, компания не отправляет товары в РФ	–	–
Коэффициент полезного действия продукции	49 %	54 %	52 %
Прибыль компании за 2024 г.	114 млн руб.	41,7 млн руб.	43,2 млн руб.

**Таблица 2.** Показатели для сравнения поставщиков в баллах

Показатели	<i>Sabaf S.p.A.</i>	<i>Gefest</i>	<i>Darina</i>
1	2	3	4
Ассортимент	9	8	4
Цена	3	8	9
Длительность доставки	2	9	9
Цена доставки	2	6	10
Тип доставки	2	9	8
Таможенная пошлина на ввоз в страну	1	10	10
Отзывы о продукции, оставленные на платформе Яндекс Маркет	9	9	10
Комментарии покупателей	1	10	10
Коэффициент полезного действия продукции	7	9	8
Прибыль компании за 2024 г.	5	5	5



**Рис. 2.** Сравнительные диаграммы поставщиков

**Таблица 3.** Рекомендации для АО «ППО «ЭВТ им. В.А. Ревунова»

Проблема	Решение
1	2
1. Высокие цены на покупные комплектующие	Проанализировать ценовую политику <i>Sabaf S.p.A</i> и сравнить ее с ценами на продукцию <i>Darina</i> и <i>Gefest</i> . Обсудить с поставщиком возможность снижения цен или предоставления более выгодных условий сотрудничества. При отказе в предоставлении более выгодных условий сотрудничества рассмотреть переход на сотрудничество с брендом <i>Darina</i> или <i>Gefest</i> как с более выгодными поставщиками.
2. Долгая доставка комплектующих из-за границы, ненормированная цена доставки	Рассмотреть возможность оптимизации условий доставки для снижения затрат. Если не предоставляется возможным в связи со сложившейся политической и экономической ситуацией в мире, поэтому предлагается переход на сотрудничество с брендом <i>Darina</i> или <i>Gefest</i> как с более выгодными поставщиками.
3. Наличие таможенной пошлины в размере 9 % на ввоз товаров в страну	При ввозе в страну товаров итальянской фирмы <i>Sabaf S.p.A.</i> товары облагаются налогом, который оплачивает предприятие, при смене поставщика на <i>Gefest</i> или <i>Darina</i> данные затраты пропадут.

рекомендаций приведен в табл. 3.

Таким образом, можно сделать вывод о том, что бренд *Darina* выделяется высокими отзы-

вами о продукции и наиболее выгодными ценами на комплектующие и доставку. Несмотря на некоторые отставания по ассортименту, типу

доставки и коэффициенту полезного действия, положительные оценки покупателей нивелируют эти недостатки. Бренды *Sabaf S.p.A.* и *Gefest* имеют схожие показатели по отзывам о продук-

ции, но *Darina* и *Gefest* обходят *Sabaf S.p.A.* по цене и таможенной пошлине, что делает продукцию бренда *Sabaf S.p.A.* наименее привлекательной для потребителя.

### Список литературы

1. Макарова, Л.В. Разработка оценки поставщиков с учетом затрат, связанных с качеством их продукции (на примере АО «ПТПА») / Л.В. Макарова, А.Н. Переселкова // Молодой ученый. Сборник статей VIII Международной научно-практической конференции. – Пенза, 2024. – С. 54–58.
2. Новичкова, А.О. Анализ конкурентных преимуществ выпускаемой продукции (на примере электроводонагревателей АО «ППО ЭВТ им. В.А. Ревунова») / А.О. Новичкова, Р.В. Тарасов, Л.В. Макарова // Образование и наука в современном мире. Инновации. – 2024. – № 4(53). – С. 200–210.
3. Жегера, К.В. Разработка методики оценки конкурентоспособности поставщика / К.В. Жегера, Д.В. Трощев, Н.А. Дасаева // Образование и наука в современном мире. Инновации. – 2024. – № 1(50). – С. 50–57.
4. Жегера, К.В. Анализ конкурентоспособности на примере предприятий молочной промышленности / К.В. Жегера, О.А. Панина // Наука и бизнес: пути развития. – 2023. – № 4(142). – С. 121–126.

### References

1. Makarova, L.V. Razrabotka otsenki postavshchikov s uchotom zatrat, svyazannykh s kachestvom ikh produktsii (na primere AO «ПТПА») / L.V. Makarova, A.N. Pereselkova // Molodoy uchonyy. Sbornik statey VIII Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. – Penza, 2024. – S. 54–58.
2. Novichkova, A.O. Analiz konkurentnykh preimushchestv vypuskayemoy produktsii (na primere elektrovodonagrevateley AO «PPO EVT im. V.A. Revunova») / A.O. Novichkova, R.V. Tarasov, L.V. Makarova // Obrazovaniye i nauka v sovremennom mire. Innovatsii. – 2024. – № 4(53). – S. 200–210.
3. Zhegera, K.V. Razrabotka metodiki otsenki konkurentosposobnosti postavshchika / K.V. Zhegera, D.V. Troshchev, N.A. Dasayeva // Obrazovaniye i nauka v sovremennom mire. Innovatsii. – 2024. – № 1(50). – S. 50–57.
4. Zhegera, K.V. Analiz konkurentosposobnosti na primere predpriyatiy molochnoy promyshlennosti / K.V. Zhegera, O.A. Panina // Nauka i biznes: puti razvitiya. – 2023. – № 4(142). – S. 121–126.

---

© М.А. Светалкина, Д.Д. Крамор, 2025

УДК 622.276.04

А.В. СМИРНОВ, А.Е. БРОМ

ФГАОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)», г. Москва

---

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОБЛЕМЫ НЕЯВНЫХ ДЕФЕКТОВ НА ОСНОВЕ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ

---

*Ключевые слова:* бинарные отношения; возмущающие факторы; композиция; машиностроение; нечеткая логика; неявные дефекты; управление качеством; черный ящик.

*Аннотация.* Целью исследования является разработка математического аппарата для прогнозирования рисков возникновения неявных (скрытых) дефектов в технологических цепочках машиностроительных производств на основе комплексного моделирования причинно-следственных связей.

Были поставлены следующие задачи:

1) формализовать модель производственного процесса внутренних поставщиков как «черного ящика», подверженного воздействию качественных и субъективных возмущающих факторов;

2) разработать математический аппарат на основе теории нечетких множеств для формализации отдельных возмущающих факторов и их композиции;

3) продемонстрировать практическую применимость метода на примере операции токарной обработки.

Гипотеза исследования заключается в том, что комплексное влияние нечетко заданных возмущающих факторов на риск возникновения дефектов может быть смоделировано и количественно оценено с помощью композиции нечетких бинарных соответствий, связывающих входные и выходные параметры системы.

Результатом исследования является метод оценки сквозного влияния входных параметров на выходные через возмущающие факторы, результатом которого является матрица количественных оценок риска дефектов. На практическом примере операции токарной обработки показан метод выявления «узких мест», позволяющий обоснованно распределять ресурсы входного и операционного контроля.

### Введение

Современное машиностроительное производство характеризуется высокой сложностью и взаимосвязанностью технологических процессов. Моделирование последних, особенно на уровне отдельных операций, часто требует применения методов системного анализа, позволяющих исследовать объекты в условиях априорной неопределенности и неполноты информации о внутренних механизмах преобразований. В этом контексте наиболее подходящим инструментом описания элементов производственной системы является модель «черного ящика», фокусирующаяся на анализе взаимосвязей между входными и выходными параметрами без детализации внутренних процессов.

Особую актуальность проблема моделирования приобретает в контексте борьбы с неявными (скрытыми) дефектами. Эти дефекты, возникая на ранних стадиях производства в результате воздействия различных возмущений, часто не обнаруживаются средствами операционного контроля. Их основная опасность заключается в способности к кумулятивному накоплению и каскадному развитию по мере прохождения изделием последующих технологических переделов. Незначительное отклонение на этапе, например, термической обработки заготовки может привести к микротрещине, которая, будучи невыявленной, на стадии механической обработки трансформируется в концентратор напряжений, а в процессе эксплуатации изделия – к внезапному хрупкому разрушению ответственной детали. Таким образом, скрытый дефект, порожденный на ранней стадии, проявляется в виде явного брака или критического отказа на более поздних, дорогостоящих стадиях производства или, что еще хуже, на этапе эксплуатации, приводя к значительным финан-

совым и репутационным издержкам.

Основная проблема моделирования таких сценариев заключается в том, что на преобразование входов в выходы воздействуют многочисленные возмущающие факторы, носящие качественный и субъективный характер (например, «низкая квалификация персонала», «нестабильность процесса», «неудовлетворительное состояние оборудования»). Традиционные вероятностно-статистические методы оказываются малоэффективными для их формализации, так как оперируют с четкими числовыми данными и требуют репрезентативных статистических выборок, которые для редких или слабоформализуемых событий часто отсутствуют. Это обуславливает актуальность применения аппарата теории нечетких множеств, позволяющего перейти от качественных описаний к количественным оценкам и работать с экспертной информацией в условиях неопределенности.

### Задача

Процесс преобразования в модель «черного ящика» формализуется следующим образом.

1. Входные параметры представляются вектором  $X = (x_1, x_2, \dots, x_m)$ .

2. Выходные параметры качества описываются вектором  $Y = (y_1, y_2, \dots, y_n)$ .

3. Возмущающие воздействия формализуются как вектор  $F = (f_1, f_2, \dots, f_p)$ .

Преобразование входных параметров в выходные под воздействием возмущений описывается нелинейным оператором:

$$Y = \Phi(X, F),$$

где  $\Phi$  – оператор, отражающий совокупное влияние  $X$  и  $F$  на  $Y$ .

Для формализации слабоструктурированных возмущающих факторов используется аппарат нечетких множеств. Нечетким бинарным соответствием  $\tilde{\Gamma}$  между множествами  $A$  и  $B$  называется нечеткое множество на универсальном множестве  $A \times B$ , характеризующееся функцией принадлежности  $\mu_{\tilde{\Gamma}}: A \times B \rightarrow [0, 1]$ . Данная функция количественно выражает степень уверенности в том, что элемент  $a \in A$  находится в отношении  $\tilde{\Gamma}$  с элементом  $b \in B$ .

Соответствие  $\tilde{\Gamma}$  называется нормальным, если высота его функции принадлежности равна единице:

$$h(\tilde{\Gamma}) = \sup_{\substack{a \in A \\ b \in B}} \mu_{\tilde{\Gamma}}(a, b) = 1.$$

Если  $h(\tilde{\Gamma}) < 1$ , соответствие нормализуется преобразованием:

$$\mu_{\tilde{\Gamma}}^n(a, b) = \frac{\mu_{\tilde{\Gamma}}(a, b)}{h(\tilde{\Gamma})}.$$

Для работы с конечными множествами удобно задавать нечеткое соответствие матрицей инцидентий  $R_{\tilde{\Gamma}} = [r_{ij}]$ , где  $r_{ij} = \mu_{\tilde{\Gamma}}(a_i, b_j)$ .

Для моделирования сквозного влияния в цепи «вход – возмущение – выход» вводится операция композиции. Пусть заданы два нечетких отношения:

- $\Gamma_1 \subseteq X \times F$  (связь входов и возмущений);
- $\Gamma_2 \subseteq F \times Y$  (связь возмущений и выходов).

Композиция отношений  $\Gamma = \Gamma_1 \circ \Gamma_2 \subseteq X \times Y$  позволяет оценить прямое влияние входных параметров на выходные через возмущения. Наиболее точной для моделирования причинно-следственных связей является максиминная композиция:

$$\mu_{\Gamma_1 \circ \Gamma_2}(x, y) = \max_{f \in F} \left( \min(\mu_{\Gamma_1}(x, f), \mu_{\Gamma_2}(f, y)) \right),$$

где операция  $\min$  соответствует логическому «И» (принцип «слабейшего звена»), а операция  $\max$  – логическому «ИЛИ» (поиск наиболее возможного пути влияния).

Для конечных множеств композиция сводится к матричной операции, аналогичной умножению матриц, но с заменой умножения на операцию  $\min$ , а сложения – на операцию  $\max$ . Результирующая матрица влияния имеет вид:

$$\begin{aligned} Q_{\Gamma_1 \circ \Gamma_2} &= Q_{\Gamma_1} \cdot Q_{\Gamma_2} = \\ &= \left( \max_{k=1, p} \left( \min \left( \mu_{\Gamma_1}(x_i, f_k), \mu_{\Gamma_2}(f_k, y_j) \right) \right) \right)_{m \times n} = \\ &= \left( \mu_{\Gamma_1 \circ \Gamma_2}(x_i, y_j) \right)_{m \times n}, \end{aligned}$$

где  $p$  – количество возмущающих факторов;  $m$  – количество входных параметров;  $n$  – количество выходных параметров.

### Результаты моделирования

Рассмотрим операцию токарной обработки

вала. Цель – оценить риск возникновения неявных дефектов (ухудшение шероховатости, нарушение точности размеров) под влиянием входных параметров заготовки и технологических возмущений.

1. Определим множества:  $X = \{\text{несоосность заготовки, неоднородность материала}\}$ ;  $F = \{\text{износ резца, биение шпинделя, колебания подачи смазочно-охлаждающей жидкости (СОЖ)}\}$ ;  $Y = \{\text{шероховатость поверхности } R_a, \text{ отклонение диаметра } \Delta D\}$ .

2. Зададим нечеткие соответствия. Экспертным путем или на основе статистических данных формируются матрицы.

Матрица  $R_{\Gamma_1}$  – влияние входных параметров на возмущающие факторы:

$$R_{\Gamma_1} = \begin{pmatrix} & \text{Износ} & \text{Биение} & \text{СОЖ} \\ \text{Несоосность} & 0,3 & 0,8 & 0,2 \\ \text{Неоднородность} & 0,7 & 0,4 & 0,1 \end{pmatrix}.$$

Например, несоосность заготовки сильно влияет на биение шпинделя (0,8), а неоднородность материала – на износ резца (0,7).

Матрица  $R_{\Gamma_2}$  – влияние возмущающих факторов на выходные параметры:

$$R_{\Gamma_2} = \begin{pmatrix} & R_a & \Delta D \\ \text{Износ} & 0,9 & 0,7 \\ \text{Биение} & 0,6 & 0,8 \\ \text{СОЖ} & 0,4 & 0,3 \end{pmatrix}.$$

Как видно, износ резца наиболее критичен для шероховатости (0,9), а биение – для точности диаметра (0,8).

Выполним композицию для оценки прямого влияния  $X \rightarrow Y$ . По формуле (2,5) вычисляем матрицу  $Q = R_{\Gamma_1} \circ R_{\Gamma_2}$ .

Рассчитаем, например, элемент  $q_{11}$  – влияние «несоосности» на «шероховатость»:

$$q_{11} = \max(\min(0,3, 0,9), \min(0,8, 0,6), \min(0,2, 0,4)) = \max(0,3, 0,6, 0,2) = 0,6.$$

Таким образом, полученная матрица количественно характеризует риски возникновения дефектов. Наибольшую опасность представляет влияние несоосности заготовки на отклонение диаметра (0,8). Это указывает на критическую важность правильной установки заготовки. Неоднородность материала оказывает сильное и равномерное влияние как на шероховатость, так и на геометрию (0,7), что требует усиления входного контроля материала.

### Заключение

Предложенный в работе математический аппарат на основе композиции нечетких бинарных соответствий позволяет перейти от изолированного анализа возмущающих факторов к комплексному моделированию причинно-следственных связей в технологических процессах машиностроения.

Метод предоставляет инструмент для количественной оценки рисков возникновения неявных дефектов, что является основой для построения проактивной системы управления качеством. Выявленные «узкие места» позволяют пересмотреть этапы приемочного контроля качества для предотвращения скрытых дефектов.

Использование максиминной композиции отражает логику распространения возмущений по принципу «слабейшего звена», что близко к моделированию реальных производственных условий. Преимуществом метода является его гибкость, т.е. возможность интеграции объективных данных измерений и субъективных экспертных оценок.

### Список литературы

1. Зубарев, А.А. Использование метода нечетких множеств при обосновании технико-технологического обновления машиностроительного производства / А.А. Зубарев, С.В. Фролова // Московский экономический журнал. – 2022. – № 3. – С. 731–739.
2. Семенов, Н.А. Модель автоматизированной системы управления качеством в многоменклатурном машиностроительном производстве / Н.А. Семенов, Г.Б. Бурдо, А.Ю. Сорокин // Программные продукты и системы. – № 4. – С. 248–252.
3. Сидельников, И.Д. Организация пула запасных частей в условиях альянса эксплуатирующих компаний / И.Д. Сидельников // Наука и бизнес: пути развития. – 2020. – № 12(114). –

С. 74–78.

4. Сидельников, И.Д. Оптимизация запаса обменного фонда для восстанавливаемых элементов / И.Д. Сидельников, А.Е. Бром // Наука и бизнес: пути развития. – 2020. – № 12(114). – С. 49–51.

5. Смирнов, А.В. Обратная задача моделирования параметров качества изделий в аддитивном производстве / А.В. Смирнов, А.Е. Бром // Контроль качества продукции. – 2024. – № 5. – С. 52–57.

6. Смирнов, А.В. Анализ моделирования организационно-технических факторов эксплуатации в нечеткой постановке / А.В. Смирнов, А.Е. Бром, И.Д. Сидельников // Проблемы машиностроения и автоматизации. – 2024. – № 2. – С. 40–46.

7. Швайко, Б.А. О необходимости оперативного контроля качества в процессах управления конфигурацией / Б.А. Швайко // Инновации в менеджменте. – 2023. – № 3. – С. 74–79.

### References

1. Zubarev, A.A. Ispol'zovaniye metoda nehotkikh mnozhestv pri obosnovanii tekhniko-tekhnologicheskogo obnovleniya mashinostroitel'nogo proizvodstva / A.A. Zubarev, S.V. Frolova // Moskovskiy ekonomicheskiy zhurnal. – 2022. – № 3. – С. 731–739.

2. Semonov, N.A. Model' avtomatizirovannoy sistemy upravleniya kachestvom v mnogonomenklaturnom mashinostroitel'nom proizvodstve / N.A. Semonov, G.B. Burdo, A.YU. Sorokin // Programmnyye produkty i sistemy. – № 4. – С. 248–252.

3. Sidel'nikov, I.D. Organizatsiya pula zapasnykh chastey v usloviyakh al'yansa ekspluatiruyushchikh kompaniy / I.D. Sidel'nikov // Nauka i biznes: puti razvitiya. – 2020. – № 12(114). – С. 74–78.

4. Sidel'nikov, I.D. Optimizatsiya zapasa obmennogo fonda dlya vosstanavlivayemykh elementov / I.D. Sidel'nikov, A.Ye. Brom // Nauka i biznes: puti razvitiya. – 2020. – № 12(114). – С. 49–51.

5. Smirnov, A.V. Obratnaya zadacha modelirovaniya parametrov kachestva izdeliy v additivnom proizvodstve / A.V. Smirnov, A.Ye. Brom // Kontrol' kachestva produktsii. – 2024. – № 5. – С. 52–57.

6. Smirnov, A.V. Analiz modelirovaniya organizatsionno-tekhnicheskikh faktorov ekspluatatsii v nehotkoy postanovke / A.V. Smirnov, A.Ye. Brom, I.D. Sidel'nikov // Problemy mashinostroyeniya i avtomatizatsii. – 2024. – № 2. – С. 40–46.

7. Shvayko, B.A. O neobkhodimosti operativnogo kontrolya kachestva v protsessakh upravleniya konfiguratsiyey / B.A. Shvayko // Innovatsii v menedzhmente. – 2023. – № 3. – С. 74–79.

---

© А.В. Смирнов, А.Е. Бром, 2025

УДК 005.6

А.В. ЧАБАНЕНКО, Д.Ф. САВИН, М.Д. РАССЫХАЕВА  
ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения», г. Санкт-Петербург

## МОДЕЛЬ ЗРЕЛОСТИ САРА И ЕЕ ВЛИЯНИЕ НА ПРОИЗВОДСТВЕННУЮ РЕЗУЛЬТАТИВНОСТЬ В РАМКАХ QMS ПРЕДПРИЯТИЯ В УСЛОВИЯХ ИНДУСТРИИ 4.0

*Ключевые слова:* зрелость процессов; Индустрия 4.0; корректирующие и предупреждающие действия; процессный подход; риск-ориентированное мышление; система менеджмента качества (СМК); цифровые двойники; САРА; FMEA; QMS.

*Аннотация.* В условиях Индустрии 4.0 предприятия переходят от фрагментарного контроля качества к сквозным цифровым контурам управления несоответствиями и рисками. Центральным механизмом такого контура является *Corrective and Preventive Action (САРА)* – управляемый цикл анализа первопричин, внедрения действий и верификации устойчивости результатов. При этом в версиях стандартов ISO 9001:2015/ГОСТ Р ИСО 9001-2015 акцент смещен с «предупреждающих действий» как отдельной процедуры к риск-ориентированному мышлению и управлению знаниями; на практике же термин САРА устойчиво применяется как интеграция корректирующих действий (СА) и риск-предупредительных активностей (РА), встроенных в жизненный цикл продукта и процесса.

Несмотря на широкое распространение САРА, зрелость этой функции на предприятиях различается: от «реактивной починки» до проактивной, аналитически обоснованной и статистически управляемой системы, связанной с целевыми KPI бизнеса.

Цель данной статьи – предложить прикладную модель зрелости САРА, увязанную с метриками производственной результативности (ОЕЕ, дефектность, повторные несоответствия, скорость замыкания циклов, экономический эффект), и показать, как рост зрелости САРА влияет на устойчивое повышение показателей СМК в цифровой среде Индустрии 4.0.

### Введение

В условиях Индустрии 4.0, когда производственные системы стремительно усложняются, требования к продукции ужесточаются, а конкуренция глобализируется, предприятия вынуждены не просто поддерживать СМК, а непрерывно развивать ее механизмы на основе данных. На этом фоне особое значение приобретает концепция зрелости процессов управления качеством: она позволяет оценивать не «факт наличия процедур», а степень их устойчивости, воспроизводимости и способности к самообучению. Иначе говоря, зрелость – это не разовая настройка регламентов, а доказанная на практике управляемость контуров качества, их адаптивность и связь с бизнес-результатами [1; 2].

С учетом современных технологических возможностей ключевым ресурсом становится интеллектуальный анализ данных производственного мониторинга. Поток телеметрии от оборудования (IIoT), журналы MES/SCADA, журналы несоответствий и претензий, результаты инспекций и испытаний образуют богатую основу для квантификации зрелости: из этих массивов можно извлекать причинно-следственные связи, измерять скорость реакции системы на отклонения и прогнозировать вероятность повторных дефектов. Методы машинного обучения и статистического управления процессами (SPC) позволяют обнаруживать скрытые зависимости, строить предиктивные модели рисков, а также автоматизировать оценку зрелости с опорой на объективные метрики (RR – доля повторных несоответствий, LT САРА – время замыкания цикла, Cpk – способность

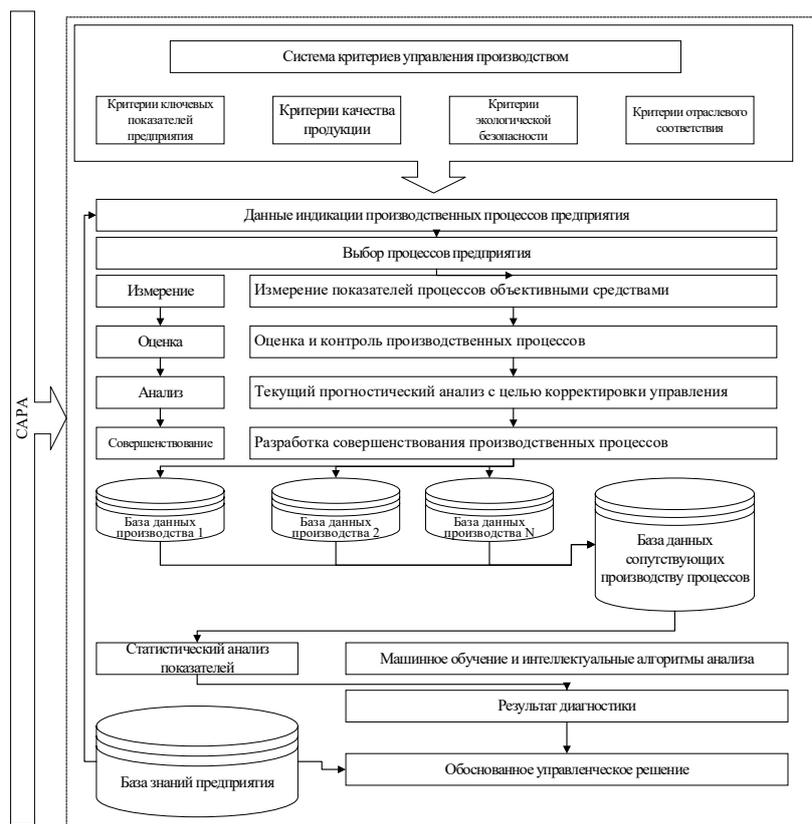


Рис. 1. Интеллектуальная модель мониторинга и управления процессами качества (CPA) в сложных производственных системах Индустрии 4.0

процесса, DPMO и др.) (рис. 1).

На основе современных механизмов мониторинга производственных процессов предложена модель внедрения CPA.

Схема демонстрирует сквозной контур «данные → аналитика → решения → исполнение → верификация → обучение» для управления зрелостью CPA и производственной результативностью. Источники данных (IIoT/MES/ERP/QMS) консолидируются в витрину, анализируются методами SPC/ML/DOE, инициируют и оркестрируют CPA, подключенные к изменению стандартов, компетенций и KPI (OEE, Cpk, DPMO, CoPQ). Возвратная связь обновляет базу знаний и индекс зрелости CPA.

В таком подходе зрелость процессов означает наличие стандартизированных и воспроизводимых практик, которые постоянно совершенствуются по циклу PDCA и дают гарантируемое достижение целевых показателей качества при оптимальных затратах. На ранних стадиях организация часто действует реактивно: процедуры не формализованы, многое держится на

индивидуальной экспертизе сотрудников, проблемы решаются «точно», а предупреждение повторов не встроено в систему. По мере развития появляются четко определенные роли и SLA, единая логика анализа первопричин (5 Why, диаграмма Ишикавы, FMEA), механизмы подтверждения эффективности действий, а также регулярный мониторинг KPI в цифровых дашбордах. На старших уровнях зрелости контур качества становится предиктивным: CPA инициируется автоматически на основе порогов SPC, а корректирующие меры привязываются к рисковому сценариям и управлению изменениями (change management) вплоть до уровня конструкторской и технологической документации.

### Интеллектуальная модель мониторинга и оценки зрелости CPA

Предлагаемая схема мониторинга процессов управления в сложных производственных системах строится как модульная архитектура.

1. Входные критерии и ограничения. На

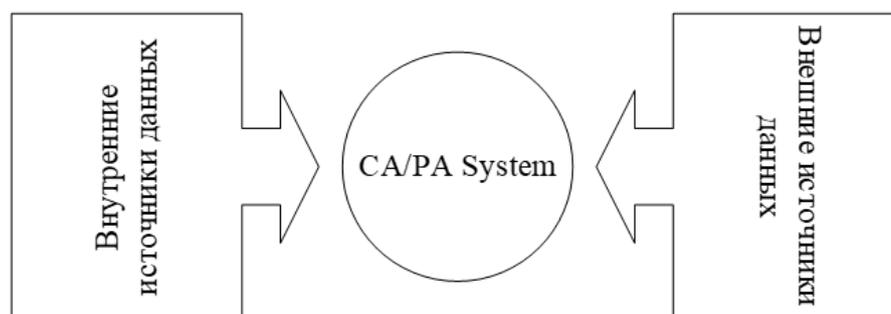


Рис. 2. Архитектура потоков данных для системы *САРА* (внутренние и внешние источники)

вход подаются многомерные критерии: показатели качества продукции (дефектность, стабильность характеристик), регуляторное/отраслевое соответствие, экономическая эффективность (*CoPQ*, *OEE*), экологические и *HSE*-требования. Это позволяет ранжировать «узкие места» бизнес-процессов не только по дефектности, но и по совокупному риску и стоимости последствий [3].

2. Выбор критического процесса. На основе скоринговой модели (например, интегральный индекс риска/стоимости) выбирается процесс-кандидат для оптимизации. Здесь важна трассируемость: каждое решение должно объясняться через вклад метрик, чтобы сохранялась прозрачность для аудита [4; 5].

3. Методы измерений и верификация данных. Определяются объективные средства измерений (МИ/онлайн-сенсоры/видеоконтроль/лабораторные испытания) и правила валидации данных: диапазоны применимости, частота отбора, калибровка, контроль пропусков и аномалий. На этом шаге закладывается доверие к аналитике – без корректной метрологии любые *ML*-выводы теряют ценность.

4. Аналитический контур (*SPC* + *ML*). Данные поступают в аналитическую витрину: контрольные карты, регрессии, кластеризация причин дефектов, прогнозирование вероятности отклонений и времени до отказа. Выявленные «сигналы» автоматически формируют инициативы *САРА*, которым присваиваются приоритеты с учетом критичности и окупаемости [6; 7].

5. Управление *САРА* и замыкание цикла. Для каждой инициативы фиксируются ответственные, сроки, ресурсы и критерии эффективности. После внедрения действий проводится статистическая верификация устойчивости

(например, изменение *Срк*, снижение *RR*, сдвиг медианы *LT САРА*). Результаты попадают в базу знаний и приводят к обновлению стандартов, инструкций, планов обучения.

6. Контур непрерывного улучшения. Итеративно пересчитывается индекс зрелости, формируется портфель улучшений, а также уточняются модели (дрейф данных, сезонность, изменения ассортимента). На зрелых уровнях применяется событийная аналитика (*СЕР*), цифровые двойники и симуляции «что если» для оценки эффекта мер еще до их внедрения в цех.

Таким образом, оценка зрелости перестает быть «разовой диагностикой» и превращается в живой управленческий механизм: метрики зрелости напрямую связаны с *KPI* производства и стоимостью качества, *САРА* становится управляемым и предсказуемым процессом, а цифровая архитектура обеспечивает наблюдаемость, воспроизводимость и масштабирование решений. Это и есть практическое содержание зрелости *СМК* в эпоху цифровой трансформации.

### Процессный и риск-ориентированный подход с применением модели *САРА* для предприятий

*СМК* по ГОСТ Р ИСО 9001-2015 предполагает процессную модель с обратной связью потребителя и циклами *PDCA*. *САРА* – часть подсистемы «Улучшение» и «Поддержка» (управление несоответствиями, знаниями, компетентностью, документированной информацией). Риск-ориентированное мышление связывает анализ причин с управлением рисками (ГОСТ Р ИСО 31000-2019) и типовыми методами (*FMEA* по ГОСТ Р 51901.12-2007) (рис. 2).

*САРА*-контур (классический контур) вклю-

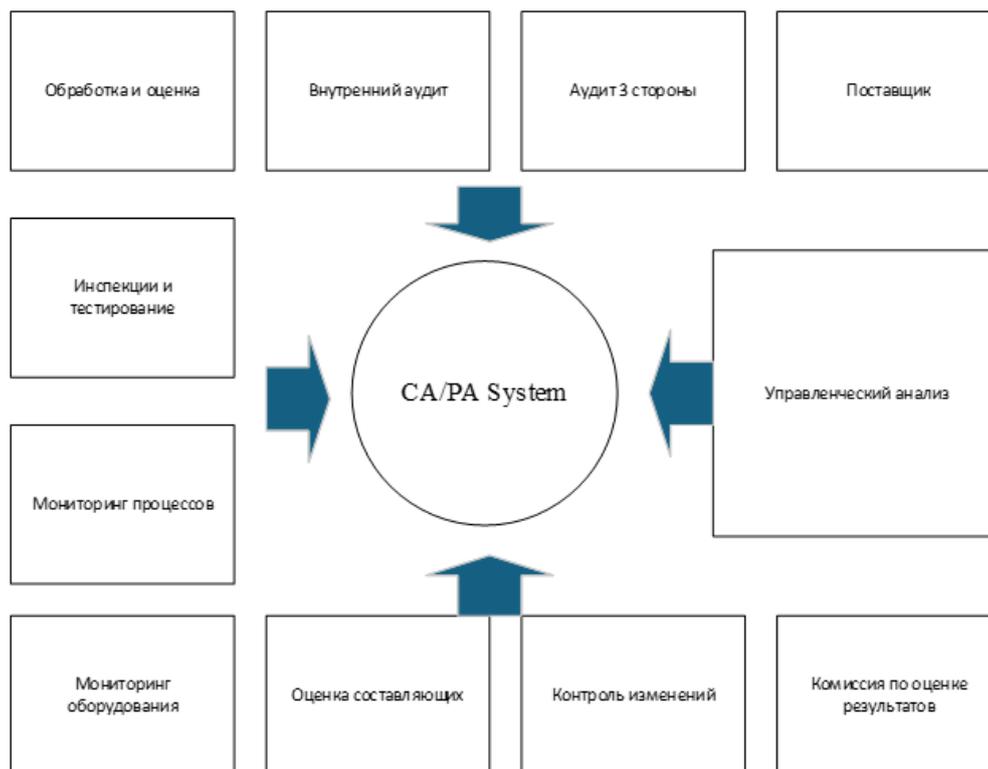


Рис. 3. Экосистема CAPA: основные источники и потребители информации в контуре СМК

чает: обнаружение несоответствия (*NCR/Complaint/Deviations*) → блокировку/изоляцию → временное исправление → анализ причин (*5 Why*/диаграмма Ишикавы/*FMEA/Fishbone/DOE*) → план корректирующих действий → внедрение → верификацию эффективности → предотвращение повторов (обновление стандартов, обучения, управление знаниями) → аудит и мониторинг. В цифровой среде добавляются: интеграция с *MES/PLM/ERP*, статистическое управление процессами (*SPC*), цифровые двойники, автоматическое извлечение знаний, панель показателей *CAPA*.

Схема отражает роль *CAPA System* как центрального узла, который консолидирует данные из внутренних и внешних источников, преобразует их в решения по корректирующим и предупреждающим действиям и возвращает результирующую информацию обратно в процессы СМК (рис. 3).

Ключевые механизмы влияния:

- снижение повторных несоответствий (*Recurrence Rate*);
- уменьшение времени цикла *CAPA* (*Lead Time to Closure*);
- рост стабильности процесса (*Cp, Cpk*);

- повышение доступности и качества (*OEE*);
- снижение стоимости плохого качества (*CoPQ*);
- ускорение обучения организации (*Knowledge Turnover*).

Система *CAPA* выступает центральным узлом оркестрации качества, который консолидирует входы из ключевых источников (аудиты, инспекции и тестирование, мониторинг процессов и оборудования, оценка составляющих, поставщики) и формирует управленческие решения (управленческий анализ, контроль изменений, комиссия по оценке результатов, обработка и оценка). Замкнутый контур обеспечивает выявление первопричин, планирование корректирующих/предупреждающих действий, их реализацию и верификацию эффективности с последующим обновлением стандартов и обучением (таблица на рис. 4).

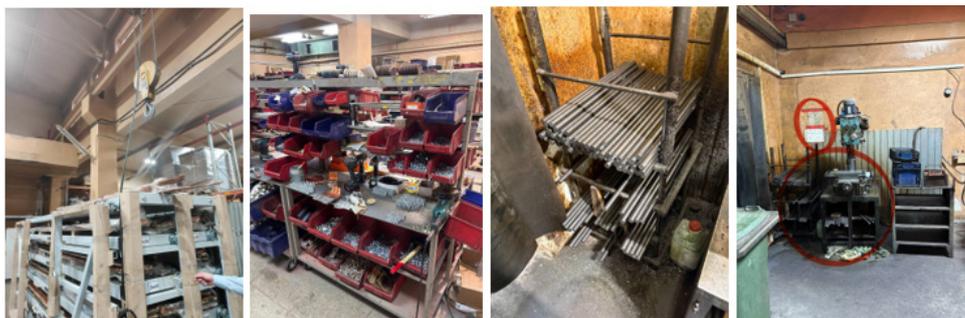
Эффективность оборудования (*OEE*):

$$OEE = A \times P \times Q.$$

Эффективность оборудования рассчитывается как произведение трех компонент – до-

Уровень	Название	Фокус	Данные и аналитика	Методы	Управление изменениями	Связь с KPI
1	Реактивный	«Тушим пожары»	Разрозненные данные, ручные записи	5 Why эпизодически	Локальные правки инструкций	KPI не связаны, эффект не измеряется
2	Регламентированный	Процедуры CAPA внедрены	Единые формы, база NCR/CAPA	5 Why + Ишикава, базовый Pareto	Контроль выполнения действий	Измеряются сроки и закрытие, влияние на дефекты – частично
3	Управляемый	Стандартизовано и воспроизводимо	Единый реестр CAPA, интеграция с аудитами	SPC, FMEA (RPN), матрицы рисков	Утвержденные изменения, обучение	Связь с дефектностью и OEE, отчетность
4	Аналитический	Предиктивная аналитика	Сквозные данные MES/ERP/QMS, BI-панели	DOE, регрессии, причинно-следственный анализ	Управление знаниями, база уроков	KPI-дерево: CAPA ↔ CoPQ/OEE/Spk
5	Оптимизирующий	CAPA как цифровой контур	Цифровые двойники, ML/AI, автоматизация	Раннее предупреждение, авто-CAPA	Управление изменениям и на уровне дизайна	Непрерывные улучшения, экономический эффект в бюджете

**Рис. 4.** Уровни зрелости CAPA и ключевые признаки в 5 уровней



**Рис. 5.** Пример управления складскими запасами и организацией производственного цикла малого предприятия полного цикла

ступности ( $A$ ), производительности ( $P$ ) и качества ( $Q$ ):  $OEE = A \times P \times Q$ . Доступность показывает, какую долю от планового времени станок или линия фактически были в работе; ее удобно определять как отношение фактического времени работы к плановому времени, где фактическое время – это план минус все простои, включая аварии, переналадку, ожидание материала, отсутствие оператора и другие остановки. Производительность отражает, с какой скоростью оборудование выпускало продукцию по отношению к его эталонной способности; в практических расчетах берут идеальное время цикла (норматив: например, минуты

на изделие) и умножают на общее число произведенных единиц за время работы, после чего делят на фактическое время работы: таким образом  $P$  показывает потери скорости из-за микропростоев, холостых ходов и неполной загрузки. Особенно это актуально для малых предприятий полного цикла при управлении складскими запасами (рис. 5).

### Закключение

В статье предложена прикладная пятиуровневая модель зрелости CAPA, увязанная с ключевыми метриками производственной результа-

тивности в условиях Индустрии 4.0. Показано, что переход от реактивного к аналитическому и оптимизирующему уровням обеспечивает статистически значимое снижение повторных несоответствий (до 50 %), сокращение времени цикла *САРА* (до 40–60 %), рост способности процессов ( $Cpk +0,2-0,4$ ), улучшение *OEE* (на 8–11 п.п.) и снижение *CoPQ* с положительным *NPV* в горизонте 2–3 лет.

Переход от реактивного подхода к несоответствиям к системно управляемому, аналитически подкрепленному и цифрово интегрированному контуру *САРА* показал, что зрелость этой функции является одним из ключевых детерминант устойчивого повышения качества, операционной эффективности и экономических результатов. Рассмотренная пятиуровневая модель зрелости, увязанная с измеряемыми показателями (доля повторных несоответствий, время замыкания *САРА*, индексы способности процессов, дефектность, *OEE*, стоимость плохого качества), позволяет предприятиям перейти от декларативного исполнения процедур к доказуемой управляемости и предсказуемости результатов. Концептуально зрелость *САРА* – это способность организации обеспечивать быстрый, воспроизводимый и подтвержденно эффективный цикл «обнаружение – анализ причин – действие – верификация – обучение – изменение стандартов», при котором решения основаны на верифицированных данных, а влияние на ключевые *KPI* прозрачно и прослеживаемо.

Практическая ценность предложенного подхода проявляется в нескольких измерениях. Во-первых, зрелость *САРА* непосредственно снижает риск повторяемости несоответствий, что, в свою очередь, уменьшает скрытые потери, высвобождает производственные мощности и повышает доверие потребителя. Во-вторых,

сокращение времени замыкания *САРА* укрепляет операционную устойчивость: организация быстрее локализует причины, сокращает период действия временных мер и ранее возвращается к номинальному режиму. В-третьих, системная связка *САРА* со статистическим управлением процессами и инженерным анализом (*SPC*, *FMEA*, *DOE*, регрессии) повышает *Cpk* ключевых характеристик и стабилизирует вариабельность, что отражается и на качестве выходной продукции, и на эффективности использования оборудования ( $A \times P \times Q$ ). В-четвертых, установление прямой связи между портфелем *САРА* и экономикой качества (*CoPQ*) делает программу улучшений предметом взвешенного управленческого выбора: меры ранжируются по критичности и окупаемости, а инвестиции в цифровые средства и обучение обосновываются на основе *ROI/NPV*, а не интуитивных ожиданий.

Существенным фактором успеха выступает цифровая архитектура. Консолидация потоков данных из *IIoT*, *MES/SCADA*, *QMS*, *LIMS*, *ERP/PLM* в единую витрину с прозрачными правилами качества данных формирует фундамент доверия к аналитике. Интеграция с контролем изменений обеспечивает «перенос» уроков *САРА* в реальные стандарты и технологии, а управление знаниями закрепляет улучшения и расширяет их тиражируемость. На зрелых уровнях в контур включаются предиктивные модели и событийные триггеры: *САРА* инициируется по порогам *SPC*, оценке *RPN* и прогнозам *ML*, что переводит контур из «реактивного тушения пожаров» в «раннее предупреждение» и профилактику. Именно такая логика отвечает вызовам Индустрии 4.0, где частота изменений, сложность кооперации и масштаб данных исключают ручное, изолированное и нерегламентированное управление качеством [8].

### Список литературы

1. Чабаненко, А.В. Управление качеством аддитивного производства / А.В. Чабаненко // Стандарты и качество. – 2024. – № 7. – С. 92–98.
2. ГОСТ Р ИСО 9000–2015. Системы менеджмента качества. Основные положения и словарь.
3. ГОСТ Р ИСО 9001–2015. Системы менеджмента качества. Требования.
4. ГОСТ Р ИСО 9004–2019. Качество организации. Руководство по достижению устойчивого успеха.
5. Чабаненко, А.В. Обеспечение качества аддитивного производства посредством моделирования процессов печати / А.В. Чабаненко // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2024. – № 4. – С. 33–39.
6. Чабаненко, А.В. Управление качеством корпусных элементов РЭА / А.В. Чабаненко //

Стандарты и качество. – 2018. – № 2. – С. 90–94.

7. Чабаненко, А.В. Оценка пластичности с комбинированным упрочнением для исследования процессов деформирования конструкционных материалов при различных режимах малоцикловых нагружений / А.В. Чабаненко, М.Д. Рассыхаева // Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ № 2021619545 от 11.06.2021.

8. Фролова, Е.А. Методика автоматизации и цифровизации предпроизводственного этапа для обеспечения качества процессов при изготовлении радиоэлектронной продукции / Е.А. Фролова, П.С. Зайцев // Наука и бизнес: пути развития. – 2025. – № 3(165). – С. 151–154.

### References

1. Chabanenko, A.V. Upravleniye kachestvom additivnogo proizvodstva / A.V. Chabanenko // Standarty i kachestvo. – 2024. – № 7. – S. 92–98.

2. GOST R ISO 9000–2015. Sistemy menedzhmenta kachestva. Osnovnyye polozheniya i slovar'.

3. GOST R ISO 9001–2015. Sistemy menedzhmenta kachestva. Trebovaniya.

4. GOST R ISO 9004–2019. Kachestvo organizatsii. Rukovodstvo po dostizheniyu ustoychivogo uspekha.

5. Chabanenko, A.V. Obespecheniye kachestva additivnogo proizvodstva posredstvom modelirovaniya protsessov pechati / A.V. Chabanenko // Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskiye nauki. – 2024. – № 4. – S. 33–39.

6. Chabanenko, A.V. Upravleniye kachestvom korpusnykh elementov REA / A.V. Chabanenko // Standarty i kachestvo. – 2018. – № 2. – S. 90–94.

7. Chabanenko, A.V. Otsenka plastichnosti s kombinirovannym uprochneniyem dlya issledovaniya protsessov deformirovaniya konstruktsionnykh materialov pri razlichnykh rezhimakh malotsiklovykh nagruzheniy / A.V. Chabanenko, M.D. Rassykhayeva // Svidetel'stvo o registratsii programmy dlya EVM № 2021619545 ot 11.06.2021.

8. Frolova, Ye.A. Metodika avtomatizatsii i tsifrovizatsii predproizvodstvennogo etapa dlya obespecheniya kachestva protsessov pri izgotovlenii radioelektronnoy produktsii / Ye.A. Frolova, P.S. Zaytsev // Nauka i biznes: puti razvitiya. – 2025. – № 3(165). – S. 151–154.

---

© А.В. Чабаненко, Д.Ф. Савин, М.Д. Рассыхаева, 2025

УДК 005.6

E. V. SHALOMOVA, I. S. ANTIPKIN

Vladimir State University named after A.G. and N.G. Stoletovs, Vladimir

## TOTAL QUALITY MANAGEMENT AS A STRATEGIC TOOL TO IMPROVE THE COMPETITIVENESS OF THE RUSSIAN INSURANCE SECTOR

*Keywords:* total quality management; insurance sector; digital transformation; hypercompetition.

*Abstract.* The purpose of the article is to study the role of Total Quality Management (TQM) as a strategic tool to increase the competitiveness of the Russian insurance sector. Research objectives are as follows: in the context of digital transformation and growing customer centricity, the principles of TQM are considered as a key factor in optimizing business processes, reducing transaction costs and strengthening customer loyalty. Research hypothesis assumes that the introduction of the principles of universal quality management as an integrated approach into the Russian insurance market, the study of the best international experience in this area, will contribute to the creation of its own exceptional methodology that can compete with dignity on the world stage. Research methodology is based on the adaptation of international experience, and includes surveys based on the Likert model and an analysis of the best practices of leading Russian insurance companies. Research results are as follows: the study confirms that the introduction of TQM as a strategic tool to increase the competitiveness of the Russian insurance sector contributes to the creation of sustainable competitive advantages and ensures long-term growth in conditions of hypercompetition.

The modern Russian insurance market is facing unprecedented challenges: digital transformation, tougher competition and growing customer requirements for the quality of services. Under these conditions, traditional management approaches are giving way to comprehensive strategies focused on creating sustainable competitive advantages. Proven to be effective in the global financial sec-

tor, Total Quality Management (TQM) offers a systems methodology to transform business processes, improve operational efficiency and build customer loyalty. This article examines the potential for adapting the TQM principles in the Russian insurance market, analyzes key barriers and the possibilities of overcoming them, and also evaluates the impact of the introduction of TQM on the competitiveness of companies.

### Theoretical Foundations of TQM and Their Adaptation to the Insurance Sector

TQM is a comprehensive approach that integrates the principles of continuous improvement, customer centricity and employee engagement. In the context of insurance services, the key elements of TQM are:

- 1) customer orientation: insurance products and their support processes are designed based on the needs and expectations of customers;
- 2) process approach: optimization of end-to-end processes of loss settlement, underwriting and customer service;
- 3) data-driven decision making: using analytics to identify bottlenecks and measure performance.

In an adapted form, these elements became part of the quality management system principles set out in the ISO 9000 series of standards.

To assess the applicability of TQM in Russian conditions, a two-stage methodology was developed:

- 1) qualitative analysis comprises in-depth interviews with top managers of 10 leading insurance companies in Russia;
- 2) quantitative study is a survey of 400 middle managers using an adapted Likert model, evaluating:
  - maturity of quality management processes;

**Table 1.** Impact of TQM on the business performance of insurance companies

Indicator	Prior to TQM implementation	After TQM implementation
NPS	+35	+58
Time of settlement of losses	14 days	7 days
Policy operating costs	1 200 rubles	900 rubles

- employee engagement level;
- degree of integration of TQM into digital transformation.

This methodology helped not only to improve the quality of the product, but also to optimize costs. In this regard, companies are increasingly adapting the system of TQM for their field of activity.

### Analysis of the Results of the Implementation of TQM

These studies revealed a significant correlation between the implementation of TQM practices and key performance indicators.

#### Success Cases

1. SberStrakhovanie – implementation of quality standards based on TQM allowed:
  - reduce the number of complaints by 40 %;
  - increase the NPS loyalty index by 25 points;
  - automate 70 % of routine operations.
2. Ingosstrakh – the implementation of the process approach of TQM will give:
  - 30 % reduction in transaction costs;
  - 2.5 times faster agreement of contracts;
  - increase corporate customer satisfaction by up to 85 %.

The main obstacles to the implementation of the TQM system are insufficient support from management, resistance to change, ineffective planning, lack of resources, lack of a permanent training program and poor consumer orientation.

#### Implementation Barriers and Ways to Overcome Them

The main tasks in the implementation of TQM in Russia.

1. Organizational resistance: 65 % of com-

panies report difficulties with changing corporate culture.

2. Regulatory restrictions: stringent requirements of the Central Bank of the Russian Federation for procedures sometimes contradict the flexible approaches of TQM.

3. Lack of expertise: only 20 % of insurers have internal certified quality specialists.

Recommendations for overcoming barriers:

- phased implementation through pilot projects;
- development of adapted procedures in accordance with the requirements of the regulator;
- creation of competence centers for quality management.

Removing barriers requires vigorous leadership, careful planning and systematic training, active involvement of all employees, a focus on customer satisfaction, and a transformation of corporate culture towards greater flexibility and customer focus.

#### Integrating TQM with Digital Transformation

The modern implementation of TQM is impossible without integration with a digital strategy.

1. Digital process twins allow you to model processes before they are implemented.
2. AI quality analytics employs artificial intelligence-based systems for predicting service quality.

3. End-to-end quality control systems imply integration of TQM into CRM-system (customer relationship management) and ERP-system (enterprise resource management).

These approaches allow Russian insurers not only to catch up with the best international practices, but also to create unique competitive advantages in the global market.

Thus, having studied and analyzed the principles of TQM, we can conclude that they are not an outdated trend, but a strategic imperative for

Russian insurance companies striving to lead in the new reality. Successful implementation does not require one-off events, but fundamental changes in the culture and processes of the company. Conducting research on the proposed methodology

will make it possible to develop specific practical recommendations for the Russian market, providing companies not only with survival, but also with sustainable development in conditions of hyper-competition.

### Список литературы

1. ГОСТ Р ИСО 9000–2015. Системы менеджмента качества. Основные положения и словарь. – М. : Стандартинформ, 2019. – 48 с.
2. Джордж, С. Всеобщее управление качеством: стратегии и технологии, применяемые сегодня в самых успешных компаниях / С. Джордж, А. Ваймерскирх. – М. : Виктория плюс, 2002. – 256 с.
3. Лаптева, Е.П. Теоретические основы интеграции систем менеджмента / Е.П. Лаптева, Е.В. Глебова, Е.Г. Тимчук, А.Л. Блинова, Е.А. Заяц // Наука и бизнес: пути развития. – М. – 2024. – № 4(133). – С. 143–151.
4. Нодельман, В.А. Развитие теории управления комплексным качеством бизнеса / В.А. Нодельман // Наука и бизнес: пути развития. – 2024. – № 4(154). – С. 136–142.
5. Нодельман, В.А. Управление комплексным качеством (TQM) / В.А. Нодельман // Вестник Санкт-Петербургского университета. Сер. 8. Менеджмент. – 2004. – № 2. – С. 69–86.
6. Cole, R.T. Learning from the quality movement / R.T. Cole // California Management Review. – 1998. – Vol. 41. – P. 43–73.

### References

1. GOST R ISO 9000–2015. Sistemy menedzhmenta kachestva. Osnovnyye polozheniya i slovar'. – М. : Standartinform, 2019. – 48 s.
2. Dzhordzh, S. Vseobshcheye upravleniye kachestvom: strategii i tekhnologii, primenyayemyye segodnya v samykh uspeshnykh kompaniyakh / S. Dzhordzh, A. Vaymerskirkh. – М. : Viktoriya plus, 2002. – 256 s.
3. Lapteva, Ye.P. Teoreticheskiye osnovy integratsii sistem menedzhmenta / Ye.P. Lapteva, Ye.V. Glebova, Ye.G. Timchuk, A.L. Blinova, Ye.A. Zayats // Nauka i biznes: puti razvitiya. – М. – 2024. – № 4(133). – S. 143–151.
4. Nodel'man, V.A. Razvitiye teorii upravleniya kompleksnym kachestvom biznesa / V.A. Nodel'man // Nauka i biznes: puti razvitiya. – 2024. – № 4(154). – S. 136–142.
5. Nodel'man, V.A. Upravleniye kompleksnym kachestvom (TQM) / V.A. Nodel'man // Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta. Ser. 8. Menedzhment. – 2004. – № 2. – S. 69–86.

---

© E.V. Shalomova, I.S. Antipkin, 2025

УДК 349.442.699.8

*П.А. ШМАТОВА, В.А. АКРИСТИНИЙ**ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский московский государственный строительный университет», г. Москва*

## **МЕТОДЫ И ОСОБЕННОСТИ ПРОВЕДЕНИЯ СУДЕБНО-ЭКСПЕРТНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ СТРОИТЕЛЬНЫХ ОБЪЕКТОВ, ПОДВЕРГШИХСЯ ВОЗДЕЙСТВИЮ СЕЙСМОВЗРЫВНЫХ И УДАРНЫХ ВОЗДУШНЫХ ВОЛН**

*Ключевые слова:* динамические нагрузки; моделирование и реконструкция; неразрушающий контроль; нормативно-правовые акты; сейсмозрывная волна; судебно-экспертные исследования; ударная воздушная волна.

*Аннотация.* Статья посвящена исследованию особенностей судебно-экспертных исследований строительных объектов, подвергшихся воздействию сейсмозрывной волны (**СВВ**) и ударной воздушной волны (**УВВ**). В работе раскрываются характерные задачи экспертизы: установление причин разрушений, оценка ущерба, определение возможности дальнейшей эксплуатации и установление юридически значимых обстоятельств дела. Подчеркнута сложность процессов взаимодействия волн с конструкциями, многофакторность повреждений и необходимость строгой доказательственной силы выводов. Результаты способствуют унификации методик судебной экспертизы в области строительной техники и повышению объективности судебных решений.

Цель исследования – установить особенности проведения судебно-экспертных исследований строительных объектов, подвергшихся воздействию сейсмозрывных и ударных воздушных волн. Проблема исследования состоит в том, что судебно-экспертное исследование строительных объектов, которые подверглись воздействию сейсмозрывных и ударных воздушных волн, представляет собой одно из наиболее сложных направлений экспертизы в области строительной техники. Объекты такого рода

нередко испытывают значительные деструктивные нагрузки, превышающие обычные эксплуатационные условия, что требует применения специализированных методик и учета действующих нормативно-правовых актов для справедливой оценки состояния объектов и причин повреждений.

Современная правоприменительная практика, связанная с расследованием последствий техногенных аварий, террористических актов, несанкционированных взрывов, а также боевых действий, все чаще сталкивается с необходимостью справедливой оценки технического состояния строительных объектов, подвергшихся воздействию динамических нагрузок взрывного характера. К таким нагрузкам относятся сейсмозрывная волна (**СВВ**), распространяющаяся в грунте и оказывающая воздействие на подземные и фундаментные части сооружений, и ударная воздушная волна (**УВВ**), воздействующая на надземные конструкции. Проведение судебно-экспертных исследований по таким объектам характеризуется значительной спецификой, обусловленной физикой процессов взаимодействия волн с конструкциями, комплексным характером повреждений и высокими требованиями к доказательственной силе заключения эксперта. Актуальность темы определяется необходимостью разработки единых методических принципов для решения задач судебной экспертизы, направленных на установление обстоятельств, имеющих юридическое значение: определение причины разрушений, оценка стоимости ущерба, установление виновных лиц, оценка возможности дальнейшей эксплуатации объекта.

Правовой основой для назначения и про-

ведения судебно-экспертного исследования в данной сфере являются Федеральный закон от 31 мая 2001 г. № 73-ФЗ «О государственной судебно-экспертной деятельности в Российской Федерации» [1], соответствующие процессуальные кодексы (УПК, ГПК, АПК РФ), а также ведомственные инструкции. Вопросы методического обеспечения регламентируются рядом федеральных стандартов судебной экспертизы, в частности ФССЭ № 16 «Исследование строительных объектов и территории застройки (строительно-техническая экспертиза)». Однако ввиду уникальности и комплексности воздействий СВВ и УВВ стандартные методики часто требуют адаптации и дополнения.

Ключевое значение имеют нормативно-технические документы, регламентирующие проектирование, строительство и оценку безопасности зданий. К ним относятся своды правил (СП), такие как СП 20.13330.2016 «Нагрузки и воздействия» [2], в которых содержатся положения о расчете конструкций на особые воздействия, включая взрывные. При оценке последствий применяются положения СП 13-102-2003 «Правила обследования несущих строительных конструкций зданий и сооружений» [3], ГОСТ 31937-2011 «Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния» [4], а также методические пособия и рекомендации научно-исследовательских институтов, посвященные взрывостойкости строительных объектов.

Процесс экспертного исследования поврежденного объекта можно разделить на несколько взаимосвязанных этапов, каждый из которых имеет свою специфику.

Как подчеркивают Г.П. Парамонов, В.А. Артемов, А.Н. Холодилов, Е.Ю. Виноградова [5], подготовительный этап включает изучение материалов дела, исходно-разрешительной документации на объект (проектная, исполнительная документация), а также сведений об обстоятельствах инцидента (предполагаемая мощность и место взрыва, тип взрывчатого вещества и т.д.). На данном этапе формулируются рабочие гипотезы о возможных механизмах повреждений и планируется программа обследования. Этап визуального и инструментального обследования является ключевым. Он направлен на выявление, фиксацию и систематизацию всех видимых дефектов и

повреждений. Проводится детальный осмотр как внешних, так и внутренних поверхностей здания, с обязательной фотофиксацией всех обнаруженных повреждений с привязкой к поэтажным планам и фасадам. Особое внимание уделяется выявлению системности в расположении дефектов. Например, веерообразное расположение трещин в остеклении может указывать на эпицентр взрыва, а однонаправленный характер разрушения легких перегородок – на направление прихода УВВ.

Инструментальные методы обследования включают:

- измерение геометрических параметров здания (крены, отклонения от вертикали) с использованием тахеометров, нивелиров;
- исследование дефектов конструкций с применением оптических приборов (микроскопы, лупы) для определения их «возраста» (свежести);
- неразрушающие методы контроля прочности бетона (ультразвуковой, ударно-импульсный), армирования (искатели арматуры), толщины защитного слоя;
- диагностика состояния кладки и швов каменных конструкций.

Лабораторные и экспериментальные методы применяются для уточнения физико-механических характеристик материалов конструкций. Отбираются пробы бетона, раствора, арматуры для проведения испытаний на прочность, деформативность, химсостав. В сложных случаях может проводиться натурное или модельное экспериментирование для воспроизведения механизма разрушения. Расчетно-аналитический этап является завершающим и направлен на установление причинно-следственных связей. На основе данных обследования и лабораторных испытаний создается расчетная модель объекта в специализированном программном комплексе (например, *SCAD*, *LIRA*). Затем моделируется воздействие СВВ и УВВ с параметрами, соответствующими обстоятельствам дела. Сравнение картины разрушений, полученной в результате расчета, с реальной картиной, зафиксированной при обследовании, позволяет с высокой степенью достоверности подтвердить или опровергнуть версию о воздействии взрывной волны определенной интенсивности. Данный этап позволяет оценить остаточную несущую способность конструкций и всего здания в це-

лом, что является основой для выводов о возможности и условиях его дальнейшей эксплуатации, ремонта или усиления.

Процедура судебно-экспертных исследований строительно-технических объектов, подвергшихся воздействию сейсмозрывных волн, начинается с комплексного осмотра и фиксации состояния объекта с применением фото- и видеоматериалов, актов обследований, инженерно-геологических изысканий и проектной документации. Особое внимание уделяется анализу материалов, примененных при возведении конструкций, оценке их соответствия нормативам и проектным требованиям. Для определения характера повреждений и их причин используется совокупность инструментальных методов, включающих неразрушающий контроль, расчетные модели динамического воздействия и лабораторные испытания образцов строительных материалов. Ударные воздушные волны, возникающие при взрывах, оказывают воздействие преимущественно на фронтальные стены зданий, создавая высокие пиковые давления, вызывающие разрушения первичных несущих элементов. Распространение ударной волны внутрь здания сопровождается взаимодействием с грунтом, что усиливает нагрузки на подземные конструкции. Вследствие этого нередко происходят как пластические деформации, так и локальные разрушения, которые должны быть тщательно зафиксированы и интерпретированы в экспертном заключении. Современные исследования направлены на совершенствование методик расчета и обследования с учетом неравномерности давления и динамического перемещения элементов конструкций под воздействием ударных волн.

Г.Г. Орлов, А.Д. Корольченко [6] пишут о том, что особенности проведения судебно-экспертных исследований строительных объектов, подвергшихся воздействию сейсмозрывных и ударных воздушных волн, обусловлены рядом специфических факторов, которые требуют применения комплексных методик и учета уникальных условий повреждения.

Одной из ключевых проблем является неполнота сведений, возникающая вследствие значительного разрушения объекта и перемещения его частей. В таких условиях эксперт не всегда может получить полную информацию о состоянии конструкций и их первоначальных параметрах. Для восполнения пробелов в данных

используются специальные познания и практический опыт, накопленный при расследовании аналогичных взрывов и аварийных ситуаций. Современные методы, такие как лазерное сканирование, нейросетевое и 3D-моделирование, позволяют реконструировать пространственную структуру объекта и восстановить утраченные данные, что значительно повышает достоверность экспертных выводов. Ситуационный характер исследований предполагает не только анализ текущего состояния объекта, но и реконструкцию ситуации, приведшей к взрыву. Эксперт изучает сохранившиеся признаки повреждений, восстанавливает хронологию событий и пространственную динамику развития аварии. Это позволяет установить причины и особенности взрыва, а также определить последовательность разрушения конструкций.

Важным аспектом является применение частных методик физико-химических исследований. В частности, для установления веществ, участвовавших в химической реакции, проводится анализ следовых количеств продуктов взрыва с использованием методов капиллярного электрофореза, газовой хроматографии и других современных аналитических технологий. Металловедческие исследования обломков и осколков позволяют оценить величины и длительность механических нагрузок, вызвавших разрушение конструкций, что имеет решающее значение для установления причин аварии. Особое внимание уделяется учету частотных характеристик колебаний. При анализе воздействия сейсмозрывных волн необходимо сравнивать частотные спектры колебаний грунта основания с собственными частотами колебаний самого сооружения. Сооружение может усиливать колебания, близкие по частоте к собственным, и подавлять другие, что делает его подобным фильтру. Преобладающие частоты колебаний грунта при взрывах обычно лежат в диапазоне 1,4–2,2 Гц, а акустические волны могут вызывать колебания с частотой собственных колебаний здания, что приводит к резонансным эффектам и дополнительным разрушениям.

Заключения судебных экспертов в области строительной техники, выполненные с соблюдением методических и нормативных требований, являются юридически значимыми документами, оказывающими решающее влияние на

судебные решения о причинах повреждений, степени их тяжести и возможности реконструкции объектов. Они также служат основанием для принятия мер по обеспечению безопасности и восстановлению объектов, а в ряде случаев – для признания зданий аварийными с последующими юридическими последствиями. Важно, что эксперты обязаны гарантировать объективность, полноту и научную обоснованность своих выводов, опираясь на комплексную оценку материалов обследования и нормативных документов.

Таким образом, проведение судебно-экспертных исследований строительных объектов, подвергшихся воздействию сейсмозрывных и ударных воздушных волн, представляет собой сложный, многокомпонентный процесс, тре-

бующий от эксперта глубоких знаний в области строительной механики, физики взрыва, методов диагностики и нормативно-правовой базы. Ключевыми факторами, обеспечивающими обоснованность и достоверность выводов, являются комплексный подход, сочетающий полноценное натурное обследование с современными расчетно-аналитическими методами, и умение дифференцировать повреждения, вызванные различными типами динамических воздействий. Разработка и унификация специализированных методик для данного вида экспертиз является перспективным направлением для совершенствования судебно-экспертной деятельности в целом, что будет способствовать более объективному и справедливому разрешению споров в судебном порядке.

### Список литературы

1. Федеральный закон от 31.05.2001 № 73-ФЗ. О государственной судебно-экспертной деятельности в Российской Федерации (ред. от 11.06.2021) // Собрание законодательства РФ. – 2001. – № 23. – Ст. 2291.
2. СП 20.13330.2016. Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85\*. – Введ. 27.06.2017. – М. : Минстрой России, 2017. – 81 с.
3. СП 13-102-2003. Правила обследования несущих строительных конструкций зданий и сооружений. – Введ. 21.11.2003. – М. : Госстрой России, 2003. – 44 с.
4. ГОСТ 31937-2011. Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния. – Введ. 01.01.2013. – М. : Стандартинформ, 2019. – 111 с.
5. Парамонов, Г.П. Новый метод оценки предельных значений раскачки зданий при воздействии на них сейсмических и воздушных ударных волн / Г.П. Парамонов, В.А. Артемов, А.Н. Холодилов, Е.Ю. Виноградова // Записки Горного института. – 2005 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://cyberleninka.ru/article/n/novyuy-metod-otsenki-predelnyh-znacheniy-raskachki-zdaniy-pri-vozdeystvii-na-nih-seysmicheskikh-i-vozdushnyh-udarnyh-voln>.
6. Орлов, Г.Г. Нагрузки, разрушающие строительные конструкции в результате аварийных взрывов / Г.Г. Орлов, А.Д. Корольченко // Пожаровзрывобезопасность. – 2016. – № 3.

### References

1. Federal'nyy zakon ot 31.05.2001 № 73-FZ. O gosudarstvennoy sudebno-ekspertnoy deyatel'nosti v Rossiyskoy Federatsii (red. ot 11.06.2021) // Sobraniye zakonodatel'stva RF. – 2001. – № 23. – St. 2291.
2. SP 20.13330.2016. Nagruzki i vozdeystviya. Aktualizirovannaya redaktsiya SNiP 2.01.07-85\*. – Vved. 27.06.2017. – M. : Ministroy Rossii, 2017. – 81 s.
3. SP 13-102-2003. Pravila obsledovaniya nesushchikh stroitel'nykh konstruktsiy zdaniy i sooruzheniy. – Vved. 21.11.2003. – M. : Gosstroy Rossii, 2003. – 44 s.
4. GOST 31937-2011. Zdaniya i sooruzheniya. Pravila obsledovaniya i monitoringa tekhnicheskogo sostoyaniya. – Vved. 01.01.2013. – M. : Standartinform, 2019. – 111 s.
5. Paramonov, G.P. Novyy metod otsenki predel'nykh znacheniy raskachki zdaniy pri vozdeystvii na nikh seysmicheskikh i vozdushnykh udarnykh voln / G.P. Paramonov, V.A. Artemov, A.N. Kholodilov, Ye.YU. Vinogradova // Zapiski Gornogo instituta. – 2005 [Electronic resource]. – Access mode : <https://cyberleninka.ru/article/n/novyuy-metod-otsenki-predelnyh-znacheniy-raskachki>

zdaniy-pri-vozdeystvii-na-nih-seysmicheskikh-i-vozdushnyh-udarnyh-voln.

6. Orlov, G.G. Nagruzki, razrushayushchiye stroitel'nyye konstruktsii v rezul'tate avariynykh vzryvov / G.G. Orlov, A.D. Korol'chenko // Pozharovzryvobezopasnost'. – 2016. – № 3.

---

© П.А. Шматова, В.А. Акристиний, 2025

УДК 681.5.08

Т.М. ЛЕВИНА, Л.Р. ВАХИТОВА, В.В. ГАЛКИНА

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

## ОПТОВОЛОКОННЫЕ УСТРОЙСТВА КАК ЭЛЕМЕНТЫ СОВРЕМЕННЫХ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ И СИСТЕМ

*Ключевые слова:* брэгговская решетка; волоконно-оптические системы; датчик; измерительное устройство; интерференция; поляризация; хитозановая пленка.

*Аннотация.* Эффективный мониторинг состояния геологических сред и скважин требует применения надежных измерительных технологий, способных работать в условиях высоких температур, давления и химической активности. Волоконно-оптические системы, устойчивые к электромагнитным помехам, коррозии и перегреву, становятся ключевым инструментом для длительных геофизических наблюдений. Благодаря своим свойствам оптическое волокно позволяет передавать сигнал на большие расстояния с минимальными потерями и обеспечивает высокую чувствительность измерений.

В работе рассматриваются современные волоконно-оптические датчики, используемые для регистрации температуры, виброакустических воздействий и химического состава среды. Анализируются их конструктивные особенности и физические принципы работы, включая интерференционные, фазовые и спектральные методы регистрации сигналов. Отдельное внимание уделено свойствам кварцевого волокна, обеспечивающим надежность и безопасность эксплуатации в скважинах и геотермальных зонах.

Цель работы – провести обзор конструкций и принципов функционирования волоконно-оптических датчиков, применяемых в геофизических системах.

Методы исследования: сравнительный анализ литературных источников, патентных решений и физических моделей оптоволоконных измерительных технологий.

Представленный обзор создает необходимую основу для введения, в котором подробно рассматриваются преимущества оптоволокон-

ных технологий и их место в современных геофизических комплексах.

Современные геофизические методы исследования скважин основаны на применении высокоточных информационно-измерительных систем, регистрирующих параметры температуры, давления, кислотности и виброакустических воздействий в реальном времени. Все более широкое распространение получают волоконно-оптические технологии, позволяющие осуществлять долговременный мониторинг геосред даже в экстремальных условиях. Они обладают такими ключевыми достоинствами, как высокая чувствительность, быстродействие, устойчивость к электромагнитным помехам и долговечность материала. Именно эти преимущества делают волоконно-оптические технологии особенно востребованными при создании систем, применяемых в геофизических методах.

Ключевым элементом таких систем является оптическое волокно, изготовленное из высококчистого кварцевого стекла. Этот материал устойчив к высоким температурам, не подвержен коррозии, горению и химически инертен, что делает его безопасным для эксплуатации в скважинах и зонах с повышенным риском воспламенения. Кроме того, оптоволоконно характеризуется малыми оптическими потерями, высокой радиационной стойкостью и полной невосприимчивостью к электромагнитным помехам, что обеспечивает стабильную передачу сигнала на десятки километров [8].

Использование таких технологий открывает возможности для реализации устройств, которые рассмотрим далее.

Одним из примеров таких устройств является волоконно-оптический интерференционный дифференциальный датчик температуры,

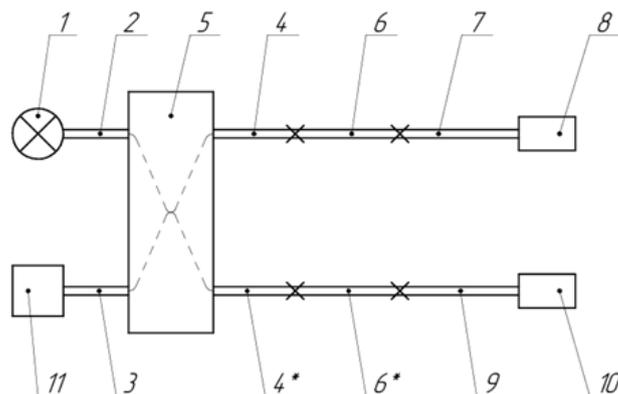


Рис. 1. Схематическая структура волоконно-оптического интерференционного дифференциального датчика температуры

принцип работы которого основан на регистрации сдвига интерференционной картины, возникающего в результате изменения оптических свойств материала при воздействии температуры. Конструктивная схема волоконно-оптического интерференционного дифференциального датчика температуры представлена на рис. 1.

Конструктивно датчик включает следующие основные элементы: источник излучения (1), вводное оптическое волокно (2), оптоэлектронное устройство регистрации (3), оптические волокна, соединяющие разветвитель (4), сам волоконно-оптический разветвитель (5), сегменты оптических волокон, служащие для передачи света (6), оптоволоконно с увеличенным диаметром поля моды (7, 9), плоскопараллельные отражающие элементы, формирующие опорный и измерительный интерферометры Фабри – Перо (8, 10), блок электронной обработки и регистрации данных (11).

Благодаря использованию интерференционного принципа Фабри – Перо датчик обладает высокой точностью, устойчивостью к внешним воздействиям и малым дрейфом нуля, что особенно важно при полевых геофизических измерениях.

В основе работы интерференционного резонатора лежит принцип многократного отражения света в оптической структуре. Световые лучи, распространяясь внутри резонатора, многократно отражаются от его границ, формируя устойчивые интерференционные картины. Такое поведение можно рассматривать через понятие мод, каждая из которых соответствует определенному углу распространения и рас-

пределению электромагнитного поля. Волновые свойства излучения в резонаторе описываются через постоянную распространения  $\beta$ , которая определяется по формуле:

$$\beta = kn \cos, \quad (1)$$

где  $k = 2\pi/\lambda$  – волновое число;  $n$  – показатель преломления среды;  $\theta$  – угол распространения луча относительно оси [6].

При заданных геометрических параметрах и показателе преломления среды внутри резонатора устойчивое распространение света возможно лишь для дискретных условий фазы, что и приводит к появлению интерференционных максимумов и минимумов [2].

Таким образом, изменение внешнего параметра приводит к изменению оптической длины резонатора и, как следствие, к смещению интерференционной картины. Именно эта зависимость лежит в основе чувствительности устройства.

Современные исследования показывают, что чувствительность интерферометрических волоконно-оптических датчиков температуры может достигать  $0,83 \text{ нм}/^\circ\text{C}$  при нагревании и  $-0,84 \text{ нм}/^\circ\text{C}$  при охлаждении в диапазоне  $35\text{--}95 \text{ }^\circ\text{C}$  для классических конструкций Фабри – Перо [7].

Другим примером практического применения оптоволоконных технологий является волоконно-оптический измеритель кислотности, использующий полимерное хитозановое покрытие, чувствительное к  $pH$  среды. На рис. 2 представлена схема датчика.

Волоконно-оптический датчик включает в

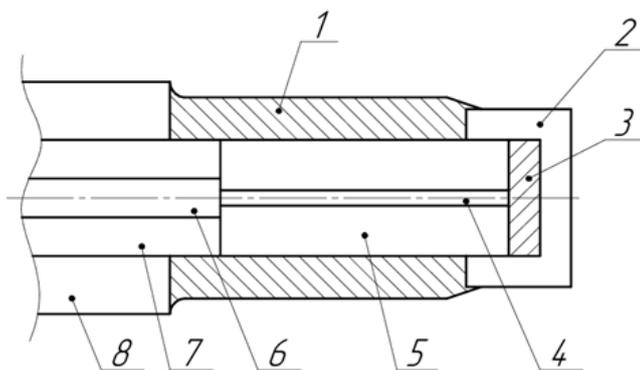


Рис. 2. Схема волоконно-оптического датчика

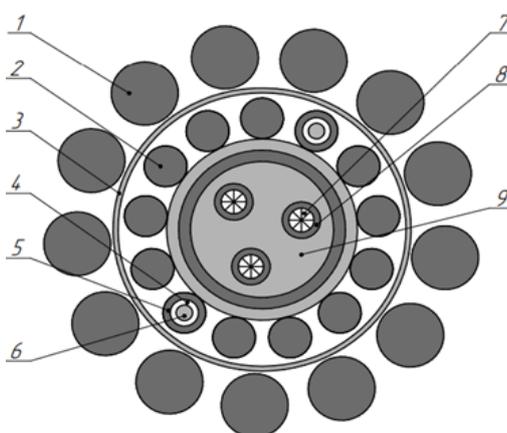


Рис. 3. Принципиальная схема геофизического волоконно-оптического стабилизированного кабеля

себя: хитозановая пленка (1), клеевая оболочка (2), зеркальное покрытие торца (3), сердцевина оптического волокна (4), защитная отражающая оболочка волокна SM600 (5), сердцевина одно-модового волокна стандарта (6), защитная отражающая оболочка волокна SMF-28 (7), внешний защитный буфер волокна (8).

В основе его работы лежит принцип изменения оптических свойств чувствительного слоя под действием ионного состава раствора. Конструктивно датчик представляет собой оптическое волокно диаметром несколько микрометров, на торец которого нанесено зеркальное покрытие, защищенное полимерной оболочкой. Поверх оболочки нанесен хитозановый слой, толщина и показатель преломления которого меняются при изменении кислотности среды вследствие протонирования амино-групп [1].

Подобные изменения интенсивности отраженного света можно рассматривать по

аналогии с законом Малюса, который описывает зависимость интенсивности прошедшего через анализатор света от угла между плоскостями поляризации, представленную в формуле:

$$I_A = I_{\Pi} \cos^2 \alpha, \quad (2)$$

где  $I_{\Pi}$  – интенсивность света, падающего на анализатор;  $I_A$  – интенсивность света после прохождения через анализатор;  $\alpha$  – угол между направлениями поляризации падающего света и осью анализатора.

Изменение кислотности приводит к изменению показателя преломления хитозановой пленки, что вызывает сдвиг спектральных характеристик отраженного излучения. Датчик преобразует химическое воздействие в измеримый оптический сигнал, что позволяет оценивать кислотность раствора по изменению отраженной интенсивности. Использование



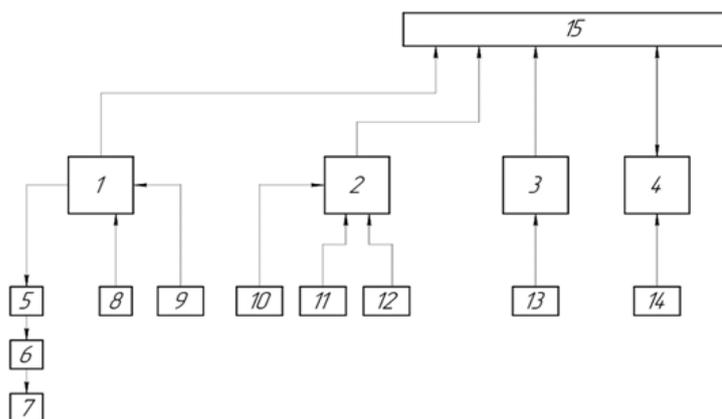


Рис. 5. Измерительное устройство контроля и диагностики физических параметров объекта на волоконно-оптических элементах

ков распределенных виброакустических воздействий. Они обеспечивают оперативное выявление низкочастотных вибраций и шумов, повышая эффективность контроля инженерных сооружений, трубопроводов и защищаемых зон. Функциональная схема работы оптоволоконного фазового датчика распределенных виброакустических воздействий изображена на рис. 4, в ней использованы следующие элементы: источник сфокусированного оптического излучения (1), первый волоконный разветвитель (2), фазовый модулятор (3), две ячейки Поккельса (4), оптический циркулятор (5), чувствительное оптическое одномодовое волокно (6), волоконный разветвитель (7), балансный фотодетектор (8), блок управления и обработки данных (9), устройство вывода результатов (10), аттенюатор (11), контроллер поляризации (12), корпус (13).

Ячейки Поккельса используются для понижения частоты повторения фемтосекундных импульсов света при их усилении. Работа ячеек Поккельса основана на линейном электрооптическом эффекте Поккельса – вращении плоскости поляризации в электрическом поле. Вертикально линейно-поляризованное излучение проходит через поляризатор и через двулучепреломляющий кристалл. Среди кристаллов имеются такие, в которых одному направлению распространения света соответствуют две моды с линейной поляризацией. В этих кристаллах коэффициент преломления для направления поляризации каждой моды (для главных осей) изменяется пропорционально напряженности приложенного электрического поля. При этом

обычно в отношении поляризации и коэффициента преломления исследуются цилиндрические образцы.

В данном случае будет рассмотрен элемент Поккельса кубического кристалла и при условии действия электрического поля вдоль оси  $x_3$  кристалла. Выражения для векторов поляризации вдоль главных осей, а также для соответствующих коэффициентов преломления имеют следующий вид:

$$\begin{aligned} x'_1 &= \frac{1}{\sqrt{2}}(x_1 + x_2); \\ x'_2 &= \frac{1}{\sqrt{2}}(x_1 - x_2); \\ x'_3 &= x_3; \\ n'_1 &\approx n_0 - \frac{1}{2}n_0^3\gamma_{41}E_3; \\ n'_2 &\approx n_0 + \frac{1}{2}n_0^3\gamma_{41}E_3; \\ n'_3 &= n_0, \end{aligned} \tag{4}$$

где  $n_0$  – коэффициент преломления при отсутствии электрического поля;  $\gamma_{41}$  – электрооптический коэффициент (тензор);  $E_3$  – напряженность приложенного электрического поля.

Исходя из формул, видно, что благодаря приложенному электрическому полю для коэффициентов возникает двойное преломление ( $n'_1$  и  $n'_2$ ), а связанное с этим изменение коэффициентов пропорционально  $n_0^3\gamma_{41}E_3$ .

Измерительное устройство контроля и диагностики физических параметров объекта на волоконно-оптических элементах представля-

ет собой высокотехнологичное средство мониторинга, способное с высокой точностью отслеживать изменение ключевых показателей, таких как вибрации, температура, давление и деформации. На рис. 5 приведена структурная схема информационно-измерительного устройства контроля и диагностики физических параметров объекта на волоконно-оптических элементах [5]. Устройство работает следующим образом: на каждый чувствительный волоконно-оптический элемент (6, 8, 9, 10, 11, 12) поступает внешний контролируемый сигнал с электродегидраторов, резервуаров, главных понижающих подстанций и другого нефтехимического оборудования, и контролируемый сигнал элементов (6, 8, 9, 10, 11, 12) передается микроконтроллерам (1, 2, 3, 4). При этом фотодиод (7) преобразует оптическое излучение в электрический сигнал. Блок (13) оптического наблюдения оповещает микроконтроллер (3) об отсутствии препятствия для дальнейшего движения, и микроконтроллер (3) передает это оповещение в устройство ввода-вывода, микроконтроллер (4) получает сигнал от устройства (15) ввода-вывода данных о дальнейшем передвижении измерительного устройства контроля и диагностики физических параметров объекта на волоконно-оптических элементах на другой объект измерения и передает его на механизм перемещения (14).

Измерение характеристик, отвечающих за погрешности, может быть построено по принципу интеллектуальной системы:

$$N = \frac{N_1 + N_2 + \dots + N_n}{n} = \Delta N + \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n N_i, \quad (5)$$

где  $N$  – это среднее значение измеряемой величины;  $N_1, N_2, \dots, N_n$  – отдельные измерения;  $n$  – количество измерений;  $\Delta N$  – систематическая погрешность или корректировка.

Для этого в структурную схему информационно-измерительного прибора необходимо добавить нейронный датчик. Это позволит снизить допустимые погрешности, возникающие вследствие влияния факторов: температуры на диаманитное оптическое волокно, сторонних источников излучения, неоднородности среды, нестабильности коэффициента передачи схемы, нестабильности источников питания, повышенной или пониженной температуры, влажности воздуха, пыли, солнечной радиации.

Использование интерференционных, фазовых, спектральных и распределенных принципов в современных волоконно-оптических системах позволяет регистрировать малейшие изменения температуры, давления, кислотности, виброакустических воздействий и других параметров геосреды. Таким образом, волоконно-оптические технологии формируют основу современных геофизических и комплексных систем, позволяя перейти от разрозненных наблюдений к комплексному и долговременному мониторингу подземных процессов с высокой пространственной и временной разрешающей способностью.

### Список литературы

1. Патент RU 207294 U1. Волоконно-оптический измеритель кислотности : № 2021121746 : заявл. 21.07.2021 : опубл. 21.10.2021 / Л.И. Гафурова. – 3 с.
2. Патент RU 229232 U1. Волоконно-оптический интерференционный дифференциальный датчик температуры : № 2024111944 : заявл. 02.05.2024 : опубл. 27.09.2024 / Ф.А. Егоров, А.П. Неугольников, И.С. Егоров. – 6 с.
3. Патент RU 196039 U1. Геофизический волоконно-оптический стабилизированный кабель : № 2019135119 : заявл. 31.10.2019 : опубл. 14.02.2020 / В.А. Исаев, А.Д. Савич, А.А. Семенцов, Д.Г. Халилов, А.В. Шумилов. – 4 с.
4. Патент RU 232797 U1. Оптоволоконный фазовый датчик распределенных виброакустических воздействий : № 2024127813 : заявл. 20.09.2024 : опубл. 20.03.2025 / Я.С. Посмитная, М. Чылий. – 6 с.
5. Патент RU 62712 U1. Информационно-измерительное устройство контроля электрического тока и магнитного поля : № 2006143955/22 : заявл. 11.12.2006 : опубл. 27.04.2007 / М.А. Ураксеев, Т.М. Левина, И.В. Галиуллин. – 6 с.
6. Окоси, Т. Волоконно-оптические датчики / Т. Окоси, К. Окамото, М. Оцу [и др.]. – Л. : Энергоатомиздат, 1991. – 252 с.

7. Рахул, К.Г. Датчики температуры на основе оптического волокна: обзор / К.Г. Рахул, К. Снеха, К.П. Ахилеш [и др.] // Оптика. – 2023. – № 4. – С. 171–197.

8. Татьяна, И.М. Конструктивно-технологическое решение волоконно-оптического датчика для экспресс-анализа качества нефти и нефтепродуктов / И.М. Татьяна, Е.А. Бадеева, В.А. Бадеева // Надежность и качество сложных систем. – 2024. – № 1. – С. 108–114.

### References

1. Patent RU 207294 U1. Volokonno-opticheskiy izmeritel' kislotnosti : № 2021121746 : zayavl. 21.07.2021 : opubl. 21.10.2021 / L.I. Gafurova. – 3 s.

2. Patent RU 229232 U1. Volokonno-opticheskiy interferentsionnyy differentsial'nyy datchik temperatury : № 2024111944 : zayavl. 02.05.2024 : opubl. 27.09.2024 / F.A. Yegorov, A.P. Neugodnikov, I.S. Yegorov. – 6 s.

3. Patent RU 196039 U1. Geofizicheskiy volokonno-opticheskiy stabilizirovannyy kabel' : № 2019135119 : zayavl. 31.10.2019 : opubl. 14.02.2020 / V.A. Isayev, A.D. Savich, A.A. Sementsov, D.G. Khalilov, A.V. Shumilov. – 4 s.

4. Patent RU 232797 U1. Optovolokonnyy fazovyy datchik raspredelennykh vibroakusticheskikh vozdeystviy : № 2024127813 : zayavl. 20.09.2024 : opubl. 20.03.2025 / YA.S. Posmitnaya, M. Chyliy. – 6 s.

5. Patent RU 62712 U1. Informatsionno-izmeritel'noye ustroystvo kontrolya elektricheskogo toka i magnitnogo polya : № 2006143955/22 : zayavl. 11.12.2006 : opubl. 27.04.2007 / M.A. Urakseyev, T.M. Levina, I.V. Galiullin. – 6 s.

6. Okosi, T. Volokonno-opticheskiye datchiki / T. Okosi, K. Okamoto, M. Otsu [i dr.]. – L. : Energoatomizdat, 1991. – 252 s.

7. Rakhul, K.G. Datchiki temperatury na osnove opticheskogo volokna: obzor / K.G. Rakhul, K. Snekha, K.P. Akhilesh [i dr.] // Optika. – 2023. – № 4. – С. 171–197.

8. Tat'yana, I.M. Konstruktivno-tehnologicheskoye resheniye volokonno-opticheskogo datchika dlya ekspress-analiza kachestva nefi i nefteproduktov / I.M. Tat'yana, Ye.A. Badeyeva, V.A. Badeyeva // Nadezhnost' i kachestvo slozhnykh sistem. – 2024. – № 1. – С. 108–114.

---

© Т.М. Левина, Л.Р. Вахитова, В.В. Галкина, 2025

УДК 004

Н.О. КОЛОСОВСКИЙ, Д.Н. ЛЕОНТЬЕВ

ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет

Петра Великого», г. Санкт-Петербург

## ЦИФРОВАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ МЕХАНИЗМОВ ГОСУДАРСТВЕННО-ЧАСТНОГО ПАРТНЕРСТВА В ТРАНСПОРТНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЕ САНКТ-ПЕТЕРБУРГА

*Ключевые слова:* государственно-частное партнерство; Санкт-Петербург; транспортная инфраструктура; цифровизация; цифровой портал.

*Аннотация.* В данной работе рассматриваются перспективы и конкретные случаи применения информационных технологий в ходе осуществления проектов государственно-частного партнерства (ГЧП) в транспортной сфере Санкт-Петербурга.

Цель исследования – изучение потенциала использования цифровых технологий в ходе реализации ГЧП в транспортной сфере Санкт-Петербурга и разработка предложений по их практическому применению. Задачи исследования: дать характеристику ключевым цифровым инструментам, исследовать опыт их применения на примере конкретных проектов, установить препятствия для их внедрения и сформулировать соответствующие рекомендации. Гипотеза исследования состоит в том, что применение цифровых решений в рамках государственно-частного партнерства положительно сказывается на открытости, продуктивности и инвестиционном климате транспортных инициатив в Санкт-Петербурге. Методы исследования включают в себя традиционные технологии сбора и анализа информации, обработки статистических данных. Используются качественные методы, применяемые в современных исследованиях: сравнение, анализ официальной статистики. Количественным образом анализировались данные рейтингов и аналитики. В качестве вывода сформулировано положение о том, что интеграция цифровых решений в проекты государственно-частного партнерства содействует созданию передовой городской транспортной системы, что положительно сказывается на

уровне жизни горожан и привлекательности региона для инвесторов.

Нормативная база для цифровой трансформации ГЧП в России задана Федеральным законом № 224-ФЗ, регламентирующим юридические аспекты оформления договоров, требования к конкурсным материалам и способы открытого информирования о реализации проектов [2]. Успешность государственно-частного партнерства тесно связана с уровнем информационной поддержки, где цифровые решения могут нивелировать разницу в осведомленности сторон и усилить надзор за выполнением договорных обязательств.

Основные цифровые решения, используемые в инфраструктурном строительстве.

1. Технология информационного моделирования (BIM), представляющая собой единый источник проектной, сметной и эксплуатационной информации. В России правила формирования информационной модели закреплены в строительных нормах, разработанных Министерством строительства (например, СП 333.1325800.2020 и последние версии СП по BIM), что формирует законодательную основу для обязательного использования BIM на масштабных объектах [3].

2. Цифровые двойники – виртуальные копии реальных объектов, получающие информацию от датчиков и систем контроля для оценки текущего состояния и прогнозирования работы инфраструктуры в режиме реального времени.

3. Унифицированные платформы мониторинга и аналитики – реестры проектов и панели контроля за исполнением сметы/сроков, дающие возможность государственным органам и инвесторам контролировать ход реализа-

ции проекта и принимать обоснованные решения на основе актуальных данных [1; 4].

Параллельно с расширением использования *VIM*-технологий в транспортной отрасли возрастает значимость интеллектуальных транспортных систем (*ИТС*), которые обеспечивают коммуникацию между компонентами городской инфраструктуры. Подобные системы дают возможность проводить анализ дорожного движения, предсказывать транспортную загруженность и оптимизировать функционирование дорожной сети, используя данные, получаемые от сенсоров и камер видеонаблюдения. Внедрение подобных цифровых платформ согласуется с приоритетами цифровой трансформации, установленными Министерством строительства Российской Федерации.

Внедрение цифровых технологий в приоритетных инициативах Санкт-Петербурга. Для проведения анализа были отобраны три показательных примера: автомагистраль ЗСД, аэропорт «Пулково» и программы развития метрополитена Северной столицы.

1. Западный скоростной диаметр (*ЗСД*) представляет собой крупномасштабный городской проект, платную автомагистраль, осуществленную с привлечением частных капиталов и включающую в себя концессионные соглашения. В годовом отчете акцентируется внимание на применении новейших автоматизированных комплексов контроля движения и систем регистрации проездов при функционировании автотрассы, что гарантирует сбор рабочих данных и улучшает открытость работы оператора [4]. Полученные цифровые сведения применяются для анализа интенсивности движения и экономической эффективности проекта, а также для организации работ по обслуживанию и ремонту.

2. Аэропорт «Пулково». В последние несколько лет аэропорт «Пулково» активно внедрял цифровые технологии: были развернуты *ERP*-системы уровня *S/4HANA* и систематически используются аналитические инструменты на основе машинного обучения для предсказания периодов максимальной загруженности. Это дало возможность более эффективно использовать трудовые ресурсы и сократить текущие расходы [5]. Информация о функционировании терминалов и ходе строительных работ объединяется в единое информационное пространство, что способствует улучшению контроля над инвестиционными проектами.

3. Метрополитен Санкт-Петербурга. Ме-

тростроение всегда отличалось комплексными инженерными задачами и множеством взаимосвязанных процессов. В последнее время в проектировании и сооружении метро все активнее внедряются *VIM*-технологии: применяются трехмерные модели станций и тоннелей, формируются базы данных элементов, что позволяет сократить количество корректировок в проекте и упростить координацию между исполнителями. Российские проектные организации отмечают экономию времени и уменьшение количества ошибок при использовании *3D*-моделей вместо *2D*-чертежей.

Изучение опыта внедрения проектов государственно-частного партнерства (*ГЧП*) в Санкт-Петербурге демонстрирует, что внедрение цифровых технологий положительно влияет не только на техническую сторону, но и на усиление взаимодействия между государственными структурами и частными инвесторами на институциональном уровне. Использование интегрированных цифровых платформ позволяет увеличить прозрачность движения денежных средств, облегчить мониторинг выполнения договорных обязательств и снизить вероятность несоблюдения сроков. Это, в свою очередь, повышает доверие бизнеса в государственных инициативах и создает предпосылки для развития стабильных партнерских отношений.

Рассмотрим препятствия для интеграции цифровых технологий в проекты государственно-частного партнерства. Изучение существующих практик и нормативной базы показывает, что основным сдерживающим фактором являются следующие проблемы:

– разрозненность нормативного регулирования: отсутствие унифицированных региональных стандартов для цифровой отчетности в *ГЧП*-проектах препятствует организации стандартизированного обмена информацией между участниками; несмотря на то, что Федеральный закон № 224-ФЗ включает общие принципы ведения реестра обязательств, конкретные цифровые форматы определяются отдельными ведомствами и региональными властями [2];

– значительные финансовые затраты на внедрение: внедрение *VIM*-технологий и цифровых двойников предполагает существенные первоначальные инвестиции в программное обеспечение, техническое оснащение и подготовку кадров, что может негативно повлиять на экономическую эффективность проекта, особенно на стадии подготовки конкурсной доку-

ментации [3];

– проблемы совместимости технологий и отсутствие общих стандартов для обмена метаданными: отсутствие унификации форматов данных может привести к разрозненному хранению информации и снижению ее полезности на протяжении всего жизненного цикла объекта [3];

– недостаточный уровень цифровой грамотности у проектных организаций и государственных органов, а также вопросы, связанные с защитой конфиденциальной информации, ограничивают полноту публичных реестров и аналитических данных;

– обеспечение защиты от киберугроз и конфиденциальности информации в рамках цифровых ГЧП-платформ, увеличение количества взаимодействующих элементов и пользователей обуславливает необходимость введения общих норм безопасности и правил информационного обмена.

Практические направления совершенствования. По результатам проведенного анализа предлагаются следующие шаги.

1. Создание единого «Цифрового портала ГЧП-СПб». Этот портал будет служить в качестве регистра проектов государственно-частного партнерства, инструмента для отслеживания бюджетных показателей и соблюдения сроков, а также предоставит защищенный доступ для инвесторов и регулирующих органов к актуальной информации. Ключевым аспектом портала является интеграция с *BIM*-моделями и системами управления эксплуатацией (*CMMS/ERP*), что создаст всеобъемлющую цифровую среду, охватывающую весь жизненный цикл объекта [4].

2. Внедрение *BIM*: нормативное и техническое регулирование. Для проектов, стоимость которых превышает определенный лимит, целесообразно включить наличие *BIM*-модели в число обязательных критериев отбора подрядчиков. Унификация метаданных и используемых форматов обмена (основанная на строительных нормах Минстроя) позволит обеспечить эффективное взаимодействие и обмен данными между различными участниками проекта, включая подрядные и эксплуатирующие организации [3].

3. Использование аналитических инстру-

ментов и искусственного интеллекта для прогнозирования вероятных рисков. Необходимо развернуть системы прогнозирования превышения бюджета и задержек в выполнении работ, опираясь на сбор и анализ структурированных данных (таких как текущий статус задач, объем финансовых затрат, телеметрические параметры). Для оценки экономической эффективности первоначальное внедрение может быть осуществлено на объектах с развитой цифровой инфраструктурой, например, ЗСД или аэропорт «Пулково» [5].

4. Развитие компетенций и экспериментальные инициативы. Внедрение образовательных курсов для *BIM*-менеджеров и экспертов по цифровым моделям вместе с ведущими университетами, а также выполнение 1–2 тестовых проектов с измерением ключевых показателей эффективности (*KPI*) (уменьшение количества переделок в проекте, процентное сокращение бюджетных расходов, ускорение процесса утверждения).

В заключение можно отметить, что внедрение цифровых технологий в управление проектами ГЧП в транспортной сфере Санкт-Петербурга критически важно для большей открытости и результативности инвестиционных вложений в масштабные инициативы. Анализ опыта ЗСД, аэропорта «Пулково» и строительства метро демонстрирует благоприятное воздействие цифровых решений. Тем не менее их широкое использование требует последовательной деятельности по унификации, законодательному обеспечению и формированию общей цифровой платформы. Комплекс запланированных действий, включающий разработку цифрового портала, внедрение стандартов *BIM*, использование аналитики и искусственного интеллекта, а также обучение специалистов, способен значительно улучшить контроль и повысить инвестиционную заинтересованность проектами ГЧП в регионе.

Планомерное совершенствование цифровой инфраструктуры, образовательных программ и сотрудничества между разными секторами даст возможность Санкт-Петербургу выйти в лидеры по внедрению принципов «умного города» и послужить образцом цифрового менеджмента в транспортной отрасли для других регионов России.

**Список литературы**

1. Стратегия социально-экономического развития Санкт-Петербурга на период до 2035 года : закон Санкт-Петербурга от 19.12.2018 № 771-164 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://docs.cntd.ru/document/551979680>.
2. О государственно-частном партнерстве, муниципально-частном партнерстве в Российской Федерации : федеральный закон от 13.07.2015 № 224-ФЗ [Электронный ресурс]. – Режим доступа : [https://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_182660](https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_182660).
3. СП 333.1325800.2020. Информационное моделирование в строительстве : свод правил [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://docs.cntd.ru/document/573514520>.
4. АО «Западный скоростной диаметр». Годовой отчет за 2024 год [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://whsd.ru/assets/disclosure/21/year2024.pdf>.
5. Стратегия развития транспортной системы Российской Федерации до 2030 года : распоряжение Правительства РФ от 27.11.2021 № 3363-р [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://mintrans.gov.ru/documents/8/11825>.

**References**

1. Strategiya sotsial'no-ekonomicheskogo razvitiya Sankt-Peterburga na period do 2035 goda : zakon Sankt-Peterburga ot 19.12.2018 № 771-164 [Electronic resource]. – Access mode : <https://docs.cntd.ru/document/551979680>.
2. O gosudarstvenno-chastnom partnerstve, munitsipal'no-chastnom partnerstve v Rossiyskoy Federatsii : federal'nyy zakon ot 13.07.2015 № 224-FZ [Electronic resource]. – Access mode : [https://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_182660](https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_182660).
3. SP 333.1325800.2020. Informatsionnoye modelirovaniye v stroitel'stve : svod pravil [Electronic resource]. – Access mode : <https://docs.cntd.ru/document/573514520>.
4. АО «Западный скоростной диаметр». Godovoy otchot za 2024 god [Electronic resource]. – Access mode : <https://whsd.ru/assets/disclosure/21/year2024.pdf>.
5. Strategiya razvitiya transportnoy sistemy Rossiyskoy Federatsii do 2030 goda : rasporyazheniye Pravitel'stva RF ot 27.11.2021 № 3363-r [Electronic resource]. – Access mode : <https://mintrans.gov.ru/documents/8/11825>.

---

© Н.О. Колосовский, Д.Н. Леонтьев, 2025

УДК 338.2

А.А. САРАЕВ

ФГАОУ ВО «Московский государственный технический университет имени  
Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)», г. Москва

## МНОГОФАКТОРНЫЙ АНАЛИЗ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ УПРАВЛЕНИЯ КАНАЛАМИ ПРОДВИЖЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННОЙ ПРОДУКЦИИ

*Ключевые слова:* каналы продвижения; машинное обучение; многофакторный анализ; промышленная продукция.

*Аннотация.* В условиях высокой конкуренции эффективное продвижение промышленной продукции требует перехода от традиционных методов к управлению, основанному на данных. Ключевой проблемой является сложность оценки вклада отдельных факторов и каналов продвижения в конечный финансовый результат. Целью статьи являются разработка и апробация методики повышения эффективности продвижения промышленной продукции на основе многофакторного анализа с применением методов машинного обучения. В результате предложенный подход был апробирован для управления каналами продвижения метрологического оборудования. Выявленные тенденции установили ключевые драйверы эффективности при продвижении промышленной продукции.

---

### Актуальность

Продвижение промышленной продукции в условиях высокой конкуренции приобретает ключевую роль. От того, какие каналы продвижения выбраны и какие факторы были учтены при выборе канала, будет зависеть эффективность продаж. Производитель промышленной продукции (ПП) сталкивается с комплексом взаимосвязанных вызовов: усложнение маркетинговой среды и каналов продвижения, недостаточность традиционных подходов к оценке маркетинговых кампаний, специфика

ка промышленного рынка и большие объемы данных.

С одной стороны, у многих производителей есть выработанная система комплекса маркетинга, нацеленная на кастомизацию и персонализацию под отдельных клиентов. Безусловно, это является преимуществом для формирования долгосрочных взаимоотношений и повышения лояльности клиентов, но в то же время такой подход сужает объем потенциально покрываемого рынка. Многие производители ПП не до конца используют потенциал современных каналов продвижения, например, цифровых, что отличает их от других отраслей. Например, от легкой промышленности, где уже достаточно часто используются цифровые каналы продвижения: перфоманс реклама (контекстная и таргетированная реклама).

Выбор стратегии канала продвижения осложняется проблемой оценки возраста инвестиций в тот или иной канал. Проблема заключается в том, что производитель продукции сможет увидеть только конечный результат – например, объем продаж. При этом при формировании стратегии продвижения нет понимания того, какие факторы повлияли на конечный результат.

Таким образом, возникает необходимость решения задачи грамотного управления и выбора каналов продвижения. Благодаря этому можно увидеть больший результат при меньших затратах. Более того, это могло бы дополнить комплекс маркетинга промышленных предприятий использованием современных интеллектуальных технологий. В данной статье предлагается использовать многофакторный анализ и его реализацию с помощью модели нелиней-

ной регрессии и методов машинного обучения («Случайный лес»).

### Материалы и методы

Результат продвижения продукции показывает коэффициент возврата инвестиций в маркетинг (*ROMI*), который отражает финансовый результат от продвижения продукции [1]:

$$ROMI = \frac{R - ME}{ME}, \quad (1)$$

где *R* – доходы от маркетинга; *ME* – расходы на маркетинг.

Однако конечные продажи зависят от огромного количества факторов, взаимосвязанных между собой. Для таких случаев в науке используется многофакторный анализ – метод статистического анализа, который применяется для изучения структуры многомерных данных [2]. Его основная цель – выявить скрытые переменные (факторы), которые объясняют взаимосвязи между наблюдаемыми явлениями.

Данный метод широко применяется в самых разных областях, таких как психология, маркетинг, социология и экономика, где важно понимать взаимосвязь между множеством факторов.

Модель факторной системы – математическая формула, выражающая реальные связи между анализируемым явлениями. В наиболее общем виде она может быть представлена следующим выражением [3]:

$$Y = f(x_1, x_2, \dots, x_n), \quad (2)$$

где *Y* – результативный признак; *x<sub>n</sub>* – факторные признаки.

Главная цель создания такой модели – понять механизм влияния этих факторов на анализируемое явление, оценить степень этого влияния и в итоге получить возможность управлять этим явлением.

При построении многофакторных моделей могут быть использованы различные методы, среди которых: регрессионный анализ, факторный анализ, кластерный анализ, многомерное шкалирование, дисперсионный анализ и коинджойнт-анализ [4]. Причем применительно к

специфике продвижения продукции на рынке они будут использоваться для различных целей.

В данной статье будет сделан выбор в пользу регрессионных моделей как наиболее простых и релевантных для рынка промышленной продукции. В свою очередь, регрессионные модели могут быть как линейными, так и нелинейными. Первые подходят для более тривиальных процессов, среди которых продвижение с помощью цифровых каналов (где каждый последующий шаг конверсии будет во многом зависеть от предыдущего и иметь линейные зависимости) [5]. Нелинейные же модели ближе к сложным, трудно моделируемым процессам. Это актуально для продвижения сложной техники и технических систем, используемых в энергетике, оборонно-промышленном комплексе и тяжелом машиностроении, где один фактор, например, сервисное обслуживание или репутация производителя, может нелинейно влиять на конечный результат [6].

Данные, используемые в экономико-социальных процессах, зачастую могут иметь сильные шумы или экстремальные значения. Это обуславливается стихийностью процессов и нелинейными зависимостями. Поэтому простые линейные модели регрессии имеют низкий коэффициент детерминации при работе с такими данными. Более того, если в изначальных данных есть большие экстремальные значения, это может привести к неточности модели. Линейная регрессия чувствительна к выбросам, которые могут сильно повлиять на оценки коэффициентов [7].

Для оценки параметров нелинейной регрессии можно использовать методы машинного обучения, в частности «*Random Forest*», без необходимости приведения к линейному виду. Это особенно полезно, когда зависимость между переменными сложная и аналитически выразить ее затруднительно [8].

Вместо того, чтобы пытаться линеаризовать нелинейную функцию, мы напрямую обучаем модель «Случайного леса» для предсказания зависимой переменной (*y*) на основе независимых переменных (*x*). Для реализации методов линейной и нелинейной регрессии был использован программный код на языке *Python*. В рамках данного кода реализована модель нелинейной многомерной регрессии с помощью метода машинного обучения «Случайный

Таблица 1. Результаты анализа по данным рекламных кампаний

№	Название показателя	CRM маркетинг	Промышленные выставки	Контекстная реклама
		Нелинейная регрессия, метод «Случайного леса»		
1	Темп роста рынка ( <i>CAGR</i> )	0,16	0,22	0,12
2	Стадия жизненного цикла рынка (спад, рост)	0,11	0,15	0,23
3	Охваты, чел.	0,01	0,11	0,01
4	Число переходов (реагирований), кол-во	0,10	–	0,04
5	Длительность контакта, мин.	0,07	–	0,08
6	Процент отказов	0,06	–	0,02
7	Намерение покупки (на <i>pre-sale</i> этапе)	0,06	0,11	0,04
8	Наличие промоакции	0,004	0,01	0,04
9	Покупка (конверсия в продажу), кол-во	0,16	0,19	0,18
10	Индекс рекомендаций (лояльность, <i>NPS</i> ), %	0,20	0,22	0,24

лес» [9; 10].

Для этого были подключены и использованы следующие библиотеки:

– *Pandas*: библиотека *Python* для обработки и анализа структурированных данных, с ее помощью был реализован процесс загрузки данных из *CSV* файла;

– *Sklearn*, содержащая множество эффективных инструментов для машинного обучения и статистического моделирования, включая классификацию, регрессию, кластеризацию и снижение размерности.

В рамках кода были использованы классы библиотеки: *LinearRegression* (для реализации метода линейной регрессии) и *RandomForestRegressor* (для реализации модели «Случайный лес» для задачи регрессии).

### Результаты

Для многофакторного анализа продвижения промышленной продукции в качестве примера были рассмотрены каналы продвижения метрологического оборудования. Этот вид продукции обладает своей спецификой: высокие требования к соответствию нормам и стандартам. Эта специфика формирует уникальную модель продвижения, где ключевыми факторами

становятся не цена, а технико-метрологические характеристики, при этом комплекс маркетинга направлен на доминирование в его продвижении экспертного маркетинга, ориентированного на узких специалистов-метрологов промышленных предприятий.

Комплекс маркетинга рассматриваемого предприятия состоит из трех доминирующих каналов продвижения: *CRM* маркетинг, промышленные выставки и контекстная реклама в рекламной сети Яндекса. Для реализации и выбора модели регрессии был проведен первичный анализ данных рекламных кампаний прошлых периодов. Там, где наблюдались выбросы данных или высокий коэффициент детерминации, был сделан выбор в пользу нелинейных моделей регрессии. В случае попарной корреляции необходимо исключить попарно коррелируемые факторы.

В данном случае взаимосвязей не наблюдалось, поэтому никакие из факторов не были исключены. Таким образом, для всех трех каналов были выбраны модели нелинейной регрессии, что объясняется нетривиальностью процессов продвижения промышленной продукции.

Факторы для анализа были основаны на маркетинговой воронке, в классическом виде

**Таблица 2.** Направления корректировки продвижения в комплексе маркетинга для товаров промышленности

№	Канал продвижения	Анализ факторов	Текущая рекламная кампания (состояние <i>AS IS</i> )	Корректировки
1	Промышленные выставки	Важные факторы: темп роста рынка; конверсия. Неважные факторы: охваты; наличие промоакций	Участие в отраслевых выставках в Москве и регионах четыре раза в год. Максимальный сбор целевых контактов	Пересмотр выставок с точки зрения охватов. Можно выбирать менее охватные выставки, но с большим числом целевых организаций. Пересмотр выставок по отраслям: концентрация на отраслях с высоким темпом роста рынка
2	Контекстная реклама	Важные факторы: темп роста рынка; стадия жизненного цикла ( <b>ЖЦ</b> ) рынка; конверсия; индекс рекомендаций. Неважные факторы: охваты; процент отказов	Настройка рекламы по географии бизнес-центра ( <b>БЦ</b> ), а также попытка настройки на лиц, принимающих решения ( <b>ЛПР</b> ), организаций	Настройка рекламы на ЛПР подрядчиков текущих клиентов, а также аналогичных организаций. Настройка рекламы на организации быстрорастущих рынков
3	CRM маркетинг	Важные факторы: темп роста рынка; стадия ЖЦ рынка; конверсия; индекс рекомендаций. Неважные факторы: длительность контакта; процент отказов; намерение покупки, наличие промоакции	Проработка клиентов и собранных контактов. Рассылка персонализированных предложений с промоакциями	Создание новых рассылочных баз по потенциальным клиентам

которая содержит в себе четыре этапа: узнаваемость, изучение, рассмотрение и покупка. Каждый из этапов может передавать конверсию в следующий. На каждом этапе можно выделить свои влияющие факторы. Но для исследования необходимо рассмотреть их все, так как каждый из этапов влияет на затраты, что, в свою очередь, будет отражаться на итоговом показателе. В исследовании были выбраны те факторы, которые можно оценить количественно.

Данные по рекламным кампаниям трех каналов продвижения и результатов *ROMI* были использованы для получения весов важности факторов, влияющих на показатель возврата инвестиций. Результаты представлены в табл. 1.

Метрологическое оборудование является хорошим примером, особенности которого характерны для всего класса промышленной продукции с системными особенностями, прису-

щими высокотехнологичным *B2B*-рынкам.

Как видно из результатов табл. 1, для промышленной продукции важными факторами являются темпы роста рынка и стадия жизненного цикла рынка, в отличие от товаров массового потребления, где эти факторы являются незначительными. Это объясняется тем, что они тесно связаны со спецификой *B2B*-продаж, долгосрочным планированием и значительными инвестициями, характерными для этой сферы. Темпы роста рынка напрямую влияют на спрос на промышленную продукцию. Высокие темпы роста означают увеличение спроса, что создает возможности для компаний, предлагающих соответствующую продукцию или услуги.

Степень важности жизненного цикла рынка обусловлена тем, что на зрелом или стагнирующем рынке компании вынуждены искать новые ниши, предлагать более эффективные решения или снижать цены, чтобы оставаться конкурентоспособными.

Самыми важными факторами, влияющими на возврат инвестиций в маркетинг для промышленной продукции, являются индекс рекомендаций и лояльность. Это составляет основу репутационного маркетинга, который является одним из основных инструментов, влияющих на продажи в сфере *B2B*. В *B2B* цикл продаж часто бывает долгим и сложным, а стоимость привлечения нового клиента значительно выше, чем удержания существующего [11]. Индекс *NPS* помогает оценить вероятность повторных продаж, продления контрактов и увеличения жизненной ценности каждого клиента. Высокий *NPS* указывает на то, что клиенты удовлетворены сотрудничеством и готовы продолжать его в будущем. Положительные отзывы и рекомендации от существующих клиентов являются мощным инструментом маркетинга, который может значительно повысить доверие к компании и ее продуктам или услугам.

Из наименее важных факторов можно выделить наличие промоакции. Для дорогостоящего промышленного оборудования они часто оказываются не самым важным фактором, стимулирующим продажи. Очевидно, что приобретение метрологического оборудования – это не спонтанная реакция на скидку, а принятое руководством стратегическое решение в рамках стратегии по управлению качеством. В свою очередь, такие решения связаны с концептуально стратегическими решениями в области развития предприятия, требующими тщательного анализа долгосрочных выгод. Результаты и систематизация направлений корректировки с учетом результатов моделирования указаны в табл. 2.

В результате предложенных корректировок в рамках новой рекламной кампании *ROMI* повысился. Так, для промышленных выставок он вырос с 370 % до 410 % (рост в 1,1 раза), для контекстной рекламы – с 390 % до 403 % (рост на 1,03), для *CRM* маркетинга – с 276 % до 314 % (рост на 1,14).

## Заключение

Ориентация на устоявшиеся модели продвижения зачастую приводит к неоптимальному распределению бюджета. Более того, процесс управления каналами обычно лишен аналитической глубины: оценка эффективности сводится к общему финансовому результату (показателю *ROMI*) без попыток декомпозиции этого показателя и установления причинно-следственных связей между конкретными действиями и их отдачей. Сложное промышленное оборудование затрудняет поиск закономерностей и, как следствие, управление каналами продвижения в комплексе маркетинга.

Для решения данной проблемы в статье рассмотрено применение многофакторного анализа на основе методов машинного обучения. Этот подход позволяет выявить скрытые причинно-следственные связи и количественно оценить влияние различных факторов на эффективность продвижения.

Его внедрение в практику управления маркетингом промышленных предприятий открывает возможность для перехода от реактивного анализа прошлых результатов к оперативному управлению каналами. Это, в свою очередь, позволит гибко перераспределять ресурсы, активно осваивать новые более рентабельные каналы и в конечном счете повысить общую отдачу от маркетинговых инвестиций.

Фокус в статье был сужен на сегменте метрологического оборудования, демонстрирующего ключевые закономерности промышленных рынков, в частности, специфику процессов принятия решений о покупке при продвижении. Пример открывает перспективы применения данной модели для продукции с такой же ярко выраженной спецификой, в частности для таких отраслей, как приборостроение, машиностроение, оборонно-промышленный комплекс, энергетика и др.

## Список литературы

1. Некрасова, В.В. Повышение значения *ROMI* через систему смежных *KPI* маркетолога / В.В. Некрасова, М.О. Гладченко, Е.С. Назаренко // Проблемы и перспективы развития теории и практики современного менеджмента. – 2019. – С. 164–167.
2. Ангелина, И.А. Научно-методический подход к оценке маркетинга некоммерческих организаций на основе многофакторной модели / И.А. Ангелина, К.С. Казакова // Торговля и рынок. – 2021. – № 2. – С. 35–45.

3. Коротков, А.В. Некоторые актуальные аспекты статистического обеспечения маркетинговых исследований / А.В. Коротков // Статистика и экономика. – 2010. – № 5. – С. 86–88.
4. Гультияева, Т.А. Методы статистического обучения в задачах регрессии и классификации : монография / Т.А. Гультияева, А.А. Попов, А.С. Саутин. – Новосибирск : Новосибирский государственный технический университет, 2016. – 323 с.
5. Белокопытов, А.В. Методы корреляционно-регрессионного анализа в эконометрических исследованиях / А.В. Белокопытов, В.Д. Смирнов. – Смоленск, 2004. – 150 с.
6. Сараев, А.А. Формирование моделей организации сервисного обслуживания сложной техники на основе морфологического анализа / А.А. Сараев, И.Д. Сидельников, А.Е. Бром, Л.Г. Амирханян // Наука и бизнес: пути развития. – 2024. – № 2. – С. 127–134.
7. Ахикян, А.И. Алгоритм машинного обучения «адаптивный случайный лес» и его применение / А.И. Ахикян, С.С. Данилюк // Вестник науки. – 2024. – № 6. – С. 1393–1401.
8. Гандерова, К.Г. Роль и значение многофакторных моделей в маркетинговых исследованиях и влияние метода «профиля объекта» на изучение поведения потребителей / К.Г. Гандерова // Риск: ресурсы, информация, снабжение, конкуренция. – 2009. – № 1. – С. 196–200.
9. Алюнов, Д.Ю. Реализация аналитического решения задачи линейной регрессии на Python / Д.Ю. Алюнов // Современные инструментальные системы, информационные технологии и инновации. – 2022. – С. 59–62.
10. Груздев, А.В. Прогнозное моделирование в IBM SPSS Statistics, R и Python: метод деревьев решений и случайный лес. – М. : ДМК Пресс, 2018. – 642 с.
11. Гринева, М.Д. Эффективное построение воронок продаж на основе современных потребительских трендов / М.Д. Гринева // Практический маркетинг. – 2023. – № 6. – С. 3–8.

### References

1. Nekrasova, V.V. Povysheniye znacheniya ROMI cherez sistemu smezhnykh KPI marketologa / V.V. Nekrasova, M.O. Gladchenko, Ye.S. Nazarenko // Problemy i perspektivy razvitiya teorii i praktiki sovremennogo menedzhmenta. – 2019. – S. 164–167.
2. Angelina, I.A. Nauchno-metodicheskiy podkhod k otsenke marketinga nekommercheskikh organizatsiy na osnove mnogofaktornoy modeli / I.A. Angelina, K.S. Kazakova // Torgovlya i rynek. – 2021. – № 2. – S. 35–45.
3. Korotkov, A.V. Nekotoryye aktual'nyye aspekty statisticheskogo obespecheniya marketingovykh issledovaniy / A.V. Korotkov // Statistika i ekonomika. – 2010. – № 5. – S. 86–88.
4. Gul'tyayeva, T.A. Metody statisticheskogo obucheniya v zadachakh regressii i klassifikatsii : monografiya / T.A. Gul'tyayeva, A.A. Popov, A.S. Sautin. – Novosibirsk : Novosibirskiy gosudarstvennyy tekhnicheskii universitet, 2016. – 323 s.
5. Belokopytov, A.V. Metody korrelyatsionno-regressionnogo analiza v ekonometricheskikh issledovaniyakh / A.V. Belokopytov, V.D. Smirnov. – Smolensk, 2004. – 150 s.
6. Sarayev, A.A. Formirovaniye modeley organizatsii servisnogo obsluzhivaniya slozhnoy tekhniki na osnove morfologicheskogo analiza / A.A. Sarayev, I.D. Sidel'nikov, A.Ye. Brom, L.G. Amirkhanyan // Nauka i biznes: puti razvitiya. – 2024. – № 2. – S. 127–134.
7. Akhikyan, A.I. Algoritm mashinnogo obucheniya «adaptivnyy sluchaynyy les» i yego primeneniye / A.I. Akhikyan, S.S. Danilyuk // Vestnik nauki. – 2024. – № 6. – S. 1393–1401.
8. Ganderova, K.G. Rol' i znacheniye mnogofaktornykh modeley v marketingovykh issledovaniyakh i vliyaniye metoda «profilya ob'yekta» na izucheniye povedeniya potrebiteley / K.G. Ganderova // Risk: resursy, informatsiya, snabzheniye, konkurentsiya. – 2009. – № 1. – S. 196–200.
9. Alyunov, D.YU. Realizatsiya analiticheskogo resheniya zadachi lineynoy regressii na Python / D.YU. Alyunov // Sovremennyye instrumental'nyye sistemy, informatsionnyye tekhnologii i innovatsii. – 2022. – S. 59–62.

10. Gruzdev, A.V. Prognoznoye modelirovaniye v IBM SPSS Statistics, R i Python: metod derev'yev resheniy i sluchaynyy les. – М. : DMK Press, 2018. – 642 s.

11. Grineva, M.D. Effektivnoye postroyeniye voronok prodazh na osnove sovremennykh potrebitel'skikh trendov / M.D. Grineva // Prakticheskiy marketing. – 2023. – № 6. – S. 3–8.

---

© А.А. Сапаев, 2025

УДК 65

Н.А. САФОНОВА, Е.Н. ГОРЛАЧЕВА

ФГАОУ ВО «Московский государственный технический университет имени  
Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)», г. Москва

## ИНТЕГРАЦИЯ ЦИФРОВОГО АССИСТЕНТА В СИСТЕМУ УПРАВЛЕНИЯ ЗНАНИЯМИ

*Ключевые слова:* искусственный интеллект; машинное обучение; система управления знаниями; цифровая трансформация; цифровой ассистент.

*Аннотация.* Рассматривается процесс интеграции цифрового ассистента в систему управления знаниями как ключевой элемент цифровой трансформации бизнеса. Цель статьи – систематизация этапов внедрения цифрового ассистента в систему управления знаниями, разработка практических рекомендаций для предприятий. Исследование основано на анализе успешных кейсов российских компаний, где внедрение технологий искусственного интеллекта, машинного обучения и обработки естественного языка позволило оптимизировать бизнес-процессы, сократить временные затраты и повысить качество управленческих решений. В ходе исследования применялся комплекс взаимодополняющих методов, направленных на всесторонний анализ процесса интеграции цифрового ассистента в систему управления знаниями: сравнительный анализ, теоретико-аналитический подход, анализ конкретных ситуаций. Авторы систематизируют этапы внедрения цифрового ассистента в систему управления знаниями, включая подготовку, проектирование, реализацию, внедрение, а также поддержку и развитие, подчеркивая важность каждого из них для успешной интеграции. Особое внимание уделяется необходимости адаптации системы под специфику организации, обучению сотрудников и непрерывному мониторингу эффективности. Результаты исследования будут полезны руководителям компаний, ИТ-специалистам и менеджерам, отвечающим за цифровизацию бизнес-процессов, поскольку они получают четкое понимание того, как внедрить цифровой ассистент в систему управления знаниями для повышения операционной эффективности и инновационного потенциала организации.

### Введение

Современные предприятия сталкиваются с необходимостью эффективного управления знаниями, что обусловлено увеличением объемов информации и стремительным развитием технологий искусственного интеллекта (ИИ). Внедрение цифрового ассистента (ЦА) в систему управления знаниями (СУЗ) представляет собой инновационный подход, позволяющий автоматизировать процессы обработки и распространения информации, а также повысить эффективность взаимодействия между сотрудниками. В условиях цифровой трансформации предприятий важно обеспечивать доступность, актуальность и структурированность информации. Интеграция цифровых ассистентов в СУЗ способствует созданию единого информационного пространства, внутри которого возможно быстро находить нужные данные, получать персонализированные рекомендации и автоматизировать рутинные задачи [1; 2].

Одной из ключевых проблем остается недостаточная методологическая проработка инструментальной поддержки цифровой трансформации и стратегий управления знаниями в деятельности промышленного предприятия. ИИ рассматривается как важный инструмент повышения эффективности производственного управления, однако существуют вызовы, связанные с его интеграцией в существующие технологические цепочки, а также с необходимостью перестройки организационной структуры [3; 4]. Также обсуждаются вопросы согласования между платформами, данными и бизнес-моделями. Важным вопросом остается обеспечение кибербезопасности, правовой совместимости и справедливого доступа к цифровым ресурсам [5; 6]. Проблемными остаются фрагментарное внедрение СУЗ, неэффективное

использование технологий ИИ, а также конфликты между процессами создания и хранения знаний [7; 8].

Управление знаниями охватывает идентификацию, накопление, структурирование, хранение, распространение и применение знаний в организации. Основной задачей данной системы является создание условий для обмена знаниями и постоянного совершенствования процессов работы с информацией. Отмечается, что «цифровая трансформация с использованием передовых цифровых технологий меняет конкурентную среду, стирая границы и меняя бизнес-модели» [9–11].

Актуальность темы обусловлена растущей потребностью в оптимизации управления знаниями, особенно в условиях цифровой трансформации бизнеса.

Цель исследования – систематизация и анализ ключевых этапов интеграции цифрового ассистента в систему управления знаниями для повышения эффективности обработки информации, поддержки принятия решений и оптимизации бизнес-процессов в условиях цифровой трансформации, аугментации персонала.

### Методы исследования

Основой послужил сравнительный анализ научных публикаций, практических кейсов и теоретических моделей, применимых для анализа вопросов управления знаниями в современный период. Были проанализированы и систематизированы возможные этапы интеграции ЦА в систему управления знаниями, каждый из которых играет важную роль в создании эффективной и устойчивой интеллектуальной среды.

В рамках данного исследования был применен теоретико-аналитический подход, направленный на изучение существующих концепций управления знаниями и возможностей интеграции цифровых ассистентов в корпоративные информационные системы. Основной методологической основой послужил сравнительный анализ научных публикаций, методологических разработок и практических кейсов внедрения интеллектуальных технологий в бизнес-процессы.

Исследование включало анализ актуальных решений в области искусственного интеллекта, машинного обучения и обработки естественного языка, а также их применимость в СУЗ. Были изучены архитектурные особенности цифровых

ассистентов, механизмы их интеграции с корпоративными базами данных и системами управления знаниями. Проведен анализ преимуществ и потенциальных ограничений данных технологий, а также рассмотрены возможные риски внедрения.

### Ход исследования

Для решения поставленных задач был проанализирован опыт российских организаций по внедрению технологий ИИ в производственные процессы. Выбор организаций осуществлялся по наличию информации в открытом доступе.

Так, в ПАО «Газпром нефть» [12] и ГК «Росатом» [13] реализованы масштабные проекты цифровизации, охватывающие все ключевые направления деятельности. В «Газпром нефти» алгоритмы ИИ обрабатывают 98 % сейсмических данных, сокращая время анализа месторождений, а в «Росатоме» платформа «Атом-Майнд» прогнозирует состояние оборудования и оптимизирует производственные процессы. Эти решения демонстрируют значительное повышение операционной эффективности за счет автоматизации и предиктивной аналитики. ОАО «РЖД» разработало Корпоративную систему управления данными (КСУД), включающую стандартизированный глоссарий из 17 тыс. терминов и репозиторий отчетности [14]. Данная платформа обеспечила устранение разночтений в документации, сократила ошибки в отчетах на 40–50 % и ускорила подготовку аналитических материалов в 5–7 раз. *X5 Group* внедрила платформу *Jay Copilot*, объединяющую возможности *ChatGPT*, *YandexGPT* и *GigaChat*, что позволило сотрудникам получать аналитику через текстовые запросы без знания *SQL* [15]. Это решение сократило время выполнения задач в 5–7 раз и способствовало формированию культуры принятия решений на основе данных. ГМК «Норильский никель» [16] и ПАО «Северсталь» [17] применяют ИИ для узкоспециализированных задач, таких как 3D-печать деталей и контроль качества металлопроката с помощью компьютерного зрения. В «Норникеле» платформа *InsightStream* ускорила поиск информации в десять раз, а в «Северстали» точность диагностики дефектов повысилась на 30 %, что иллюстрирует потенциал ИИ в оптимизации производственных процессов.

Приведенные примеры демонстрируют, что процесс внедрения технологий в произ-

Таблица 1. Современные технологии в управлении знаниями

Технология	Воздействие в системах управления знаниями
Искусственный интеллект ( <i>AI</i> )	Автоматизация классификации данных, интеллектуальный поиск, прогнозная аналитика
Машинное обучение ( <i>ML</i> )	Выявление паттернов в знаниях, персонализация обучения на основе действий пользователей
<i>Big Data</i>	Обработка больших объемов структурированных и неструктурированных данных, обнаружение скрытых связей
Облачные технологии	Обеспечение мобильного доступа к знаниям, масштабируемость хранилищ и сервисов
Интернет вещей ( <i>IoT</i> )	Генерация знаний в реальном времени на основе данных с датчиков и устройств
Блокчейн	Защита авторства знаний, безопасное управление правами доступа, неизменяемость записей
Обработка естественного языка ( <i>NLP</i> )	Автоматическое извлечение знаний из текстов, семантический поиск, анализ тональности
Коллаборативные платформы	Совместная работа над документами, управление версиями, интеграция коммуникаций в единое пространство
Цифровые двойники	Моделирование процессов организации в реальном времени, симуляция сценариев
Корпоративные порталы знаний	Централизованный доступ к документам, политикам, лучшим практикам компании
Карты компетенций	Визуализация навыков сотрудников, выявление пробелов в знаниях, планирование обучения
Базы практических уроков	Накопление и повторное использование успешных кейсов, ошибок и решений
Интеллектуальный поиск	Контекстно-зависимые рекомендации, автоматическая кластеризация информации по запросам
Платформы категоризации знаний	Автоматическая тегировка, классификация и обновление корпоративных знаний
Чат-боты и виртуальные ассистенты	Оперативные ответы на вопросы сотрудников, интеграция с базами знаний
Корпоративные соцсети	Неформальный обмен опытом, создание сообществ практиков

водственные процессы предполагает решение задач, обусловленных стратегическими целями организации. В табл. 1 приведен перечень современных вариантов, применяемых в системах управления знаниями, выбор которых зависит от стратегических целей предприятия и возможностей.

Интеграция ИИ – это не только техническая задача, но и организационная трансформация, требующая учета множества факторов.

### Обсуждение

Очевидно, что процесс интеграции современных технических инструментов подразумевает создание и настройку необходимого

решения с учетом всех требований и особенностей бизнеса, проведение различных проверок, испытаний и сценариев, чтобы убедиться, что интеграция функционирует правильно и без ошибок. Также необходим запуск изменений, обучение сотрудников и адаптация рабочих процессов под новую систему, отслеживание показателей работы интеграции, обеспечение непрерывной поддержки. Требуется тщательно планировать и учитывать все этапы, вовлеченные стороны должны быть готовы к компромиссам и изменениям, а также иметь полномочия в решении возникающих проблем.

Графически представить алгоритм внедрения ИИ в СУЗ можно с помощью блок-схемы (рис. 1). Блок-схема, разработанная авторами,

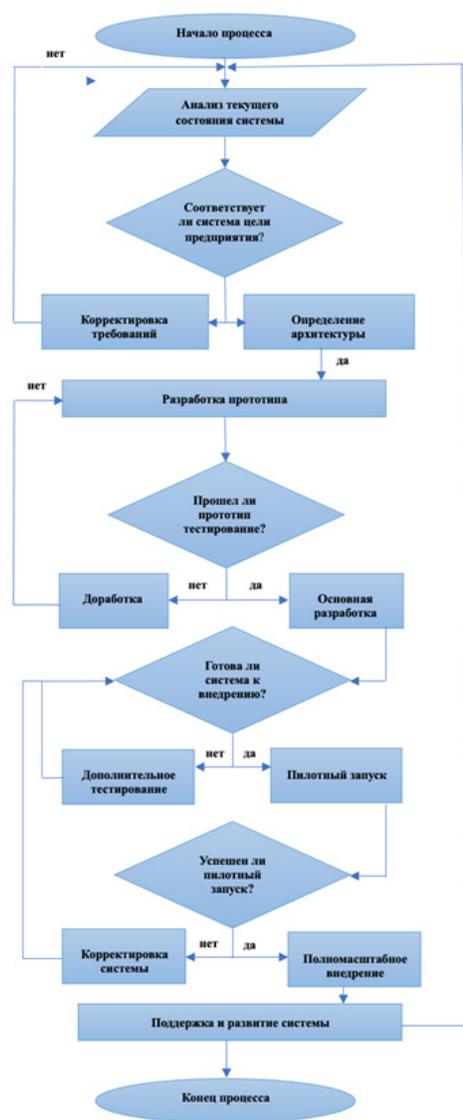


Рис. 1. Блок-схема процесса интеграции цифрового ассистента в систему управления знаниями (составлено автором)

наглядно иллюстрирует последовательность и взаимосвязь этапов интеграции цифрового ассистента в систему управления знаниями. Ее практическая значимость заключается в упрощении восприятия сложного процесса, что позволяет участникам проекта четко понимать свои задачи и сроки выполнения. Это особенно важно для координации работы команд и минимизации рисков на каждом этапе внедрения.

Процесс внедрения цифрового ассистента в систему управления знаниями условно можно разделить на пять основных этапов, каждый из которых включает подэтапы с конкретными сроками, мероприятиями и ожидаемыми ре-

зультатами.

Первый этап («Подготовка») – фундаментальный для успешной реализации проекта, поскольку закладывает основу для всех последующих действий. Он включает два ключевых подэтапа: анализ текущего состояния системы и определение требований к цифровому ассистенту.

Анализ текущего состояния – проведение комплексного исследования существующих процессов в организации. В течение 1–2 недель осуществляется сбор данных посредством интервьюирования сотрудников различных уровней, что позволяет выявить ключевые пробле-

мы, узкие места и потребности пользователей. Параллельно проводится анализ документооборота и рабочих процессов с целью определения степени их автоматизации и эффективности. Результатом данного подэтапа становится отчет, содержащий детальное описание проблемных зон, а также рекомендации по их устранению с учетом возможностей цифрового ассистента.

Определение требований выполняется в течение одной недели и основывается на данных, полученных на предыдущем подэтапе. В рамках этого процесса организуются рабочие сессии с участием представителей ключевых отделов, в ходе которых формулируются функциональные и нефункциональные требования к системе. Особое внимание уделяется согласованию показателей успеха или эффективности, которые будут использоваться для оценки эффективности внедрения. Итоговым документом данного подэтапа является техническое задание, содержащее четкие спецификации, ожидаемые результаты и ограничения проекта.

Таким образом, первый этап обеспечивает необходимую информационную базу для дальнейшего проектирования и разработки цифрового ассистента, минимизируя риски несоответствия системы реальным потребностям организации. Достижение необходимого результата определяется стратегической целью организации.

Второй этап («Проектирование») представляет собой критически важную фазу, в рамках которой осуществляется переход от концептуальных требований к технически реализуемым решениям. Данный этап обеспечивает создание архитектурного фундамента и функционального прототипа будущей системы, что позволяет минимизировать риски на последующих стадиях разработки. Этап включает два взаимосвязанных подэтапа: выбор архитектуры системы и прототипирование.

Выбор архитектуры занимает от двух до трех недель – это проведение сравнительного анализа доступных технологических платформ и решений. В процессе исследования оцениваются такие параметры, как масштабируемость, безопасность, совместимость с существующей ИТ-инфраструктурой, стоимость для использования. Можно проводить пробные запуски (тест-драйвы) на ограниченных наборах данных или в имитационной среде. Также необходимо определиться, будет ли осуществляться создание архитектуры силами самой

организации или с привлечением специалистов извне. Результатом данного подэтапа является утвержденная архитектурная схема, которая определяет основные компоненты системы, их взаимодействие и технологический стек, используемый для реализации, и исполнителя.

Прототипирование выполняется в течение 3–4 недель и направлено на создание минимально жизнеспособного продукта, демонстрирующего ключевые функции цифрового ассистента. На данной стадии разрабатывается упрощенная версия системы, которая тестируется на синтетических или анонимизированных реальных данных. Особое внимание уделяется проверке удобства использования системы, а также корректности работы алгоритмов. Полученный рабочий прототип позволяет уточнить требования, выявить потенциальные технические ограничения и получить обратную связь от заинтересованных сторон до начала полномасштабной разработки.

Таким образом, этап проектирования служит связующим звеном между теоретическими наработками и практической реализацией, обеспечивая обоснованность принимаемых технических решений и снижая вероятность существенных доработок на более поздних стадиях проекта.

Третий этап («Реализация») – ключевая фаза жизненного цикла проекта, в ходе которой осуществляются непосредственная разработка и валидация цифрового ассистента. Данный этап трансформирует проектные решения в работающую систему, готовую к промышленной эксплуатации. Процесс реализации структурирован на два последовательных подэтапа: основную разработку и комплексное тестирование системы.

Основная разработка занимает от 6 до 8 недель и включает создание полнофункциональной версии цифрового ассистента на основе утвержденной архитектуры и прототипа. В рамках данного подэтапа выполняются следующие работы: интеграция с существующими корпоративными системами и базами знаний, реализация пользовательских интерфейсов, настройка механизмов обработки естественного языка и машинного обучения. Особое внимание уделяется обучению и тонкой настройке алгоритмических моделей на релевантных данных организации. Параллельно разрабатывается система мониторинга для обеспечения стабильной работы решения. Результатом становится полностью

функциональная система, соответствующая техническому заданию и готовящаяся к процедурам верификации.

Тестирование системы проводится в течение 2–3 недель и представляет собой комплексную проверку всех аспектов работы цифрового ассистента. Процедура тестирования включает: тестирование с участием представителей целевых пользовательских групп, нагрузочное тестирование для оценки производительности в условиях, приближенных к реальной эксплуатации, а также проверку безопасности и отказоустойчивости системы. Все выявленные в процессе тестирования отклонения фиксируются в системе управления дефектами и последовательно устраняются. Итоговым документом подэтапа становится детализированный отчет о качестве системы, содержащий результаты всех проведенных испытаний, перечень устраненных недостатков и рекомендации по дальнейшей эксплуатации.

Этап реализации характеризуется высокой интенсивностью работ и требует четкой координации между командами разработчиков, тестировщиков и бизнес-аналитиков. Особенностью данного этапа является необходимость постоянного взаимодействия с заинтересованными сторонами для оперативного согласования возникающих технических решений. Успешное завершение этапа реализации обеспечивает переход к пилотной эксплуатации системы, минимизируя риски возникновения критических проблем на последующих стадиях проекта.

Четвертый этап («Внедрение») представляет собой важный переходный период от завершенной разработки к полноценной промышленной эксплуатации системы. Данная фаза характеризуется постепенным вводом цифрового ассистента в эксплуатацию с мониторингом и корректировкой его работы. Этап структурирован на два последовательных подэтапа, обеспечивающих плавный переход к полномасштабному использованию системы: пилотный запуск и полномасштабное внедрение.

Пилотный запуск продолжительностью 4–6 недель осуществляется на ограниченном контуре пользователей, представляющих ключевые функциональные направления организации. В рамках данного подэтапа проводится комплексное обучение первой группы пользователей, включающее как теоретические занятия по работе с системой, так и практические

тренинги на реальных кейсах. Организуется сбор развернутой обратной связи через специально разработанные механизмы анкетирования, фокус-группы и анализ пользовательской активности, выявляются неочевидные сценарии использования системы и адаптации интерфейсов под реальные рабочие процессы. Результатом становится аналитический отчет, содержащий оценку эффективности системы, перечень выявленных проблем и план их устранения перед масштабированием.

Полномасштабное внедрение занимает 8–10 недель и предполагает поэтапное подключение всех структурных подразделений организации. Процесс реализуется по каскадной модели, где каждое новое подключение сопровождается дополнительным обучением, адаптацией контентной базы и тонкой настройкой функционала под специфику работы отдела. В течение всего периода внедрения ведется постоянный мониторинг ключевых показателей эффективности системы, включая точность ответов, скорость обработки запросов и удовлетворенность пользователей. Техническая команда осуществляет оперативную поддержку, быстро реагируя на возникающие инциденты. Завершающим результатом этапа становится полностью интегрированная в бизнес-процессы система, перешедшая в режим промышленной эксплуатации.

Особенностью этапа внедрения является необходимость поддержания баланса между скоростью развертывания системы и качеством ее адаптации к реальным бизнес-процессам. Успешная реализация данного этапа обеспечивает достижение запланированных бизнес-результатов и создает основу для дальнейшего развития системы в рамках этапа поддержки и масштабирования.

Пятый этап («Поддержка и развитие») представляет собой стратегически важную фазу жизненного цикла системы, обеспечивающую ее долгосрочную эффективность и соответствие изменяющимся бизнес-потребностям организации. В отличие от предыдущих этапов, данный период не имеет четких временных границ и продолжается на протяжении всего срока эксплуатации цифрового ассистента. Этап включает два взаимосвязанных направления деятельности: непрерывную оптимизацию системы и ее стратегическое масштабирование.

Оптимизация системы – циклический процесс постоянного совершенствования работы

цифрового ассистента. Реализация данного направления включает регулярный анализ логов пользовательских взаимодействий, позволяющий выявлять проблемные сценарии и точки роста системы. Особое внимание уделяется процедурам дообучения алгоритмов машинного обучения на актуальных данных, что обеспечивает постоянное повышение точности и релевантности выдаваемых ответов. Техническая команда, обозначенная на предыдущих этапах, осуществляет мониторинг производительности системы, своевременно устраняя выявленные узкие места и оптимизируя ресурсоемкие операции. Результатом данного процесса становятся ежеквартальные отчеты, содержащие ключевые метрики эффективности системы, перечень выполненных улучшений и рекомендации по дальнейшему развитию.

Масштабирование системы осуществляется по мере возникновения новых бизнес-потребностей и включает расширение функциональных возможностей цифрового ассистента. В рамках данного направления реализуются проекты по добавлению новых модулей обработки специализированных запросов, интеграции с дополнительными корпоративными системами и адаптации интерфейсов под новые категории пользователей. Каждый инициатив масштабирования предваряется детальным анализом экономической целесообразности и технической реализуемости. Результатом данного процесса становится дорожная карта развития системы, содержащая приоритетные направления расширения функционала и поэтапный план их реализации.

Особенностью этапа поддержки и развития является его итерационный (циклический) характер, предполагающий постоянный цикл «анализ – планирование – реализация – оценка». Регулярный анализ эффективности цифрового ассистента и своевременная адаптация его функционала позволяют организации максимизировать возврат от инвестиций в цифровую трансформацию процессов управления знаниями.

Этапы, выделяемые для интеграции ЦА в СУЗ, – настраиваемые категории, сроки, мероприятия, результат которых может изменяться в

зависимости от стратегических целей организации, сферы деятельности, решения как краткосрочных, так и долгосрочных задач.

### Заключение

Как показывают данные от ведущих экспертов российских компаний, использование технологий ИИ, машинного обучения и обработки естественного языка позволяет существенно оптимизировать бизнес-процессы, сократить временные издержки и повысить качество управленческих решений.

В ходе работы были детально изучены и структурированы все ключевые этапы интеграции цифрового ассистента: от начальной подготовки и проектирования до реализации, внедрения и последующего развития системы. Особое значение имеет комплексный подход, включающий тщательное планирование, адаптацию решения под конкретные бизнес-процессы, обучение персонала и постоянный контроль эффективности работы системы.

Исследование подтверждает, что успешная интеграция цифрового ассистента требует не только технической реализации, но и организационных изменений. Необходимо учитывать множество факторов: от корпоративной культуры и вопросов безопасности данных до способности системы к постоянному совершенствованию. Грамотно реализованный проект позволяет создать единое информационное пространство, автоматизировать рутинные операции и обеспечить быстрый доступ к знаниям, что в современных условиях цифровой трансформации становится важным конкурентным преимуществом.

Предлагаемый алгоритм представляет собой практическое руководство для руководителей, ИТ-специалистов и менеджеров по цифровизации, помогающее достичь значимых результатов в области управления знаниями и повышения общей эффективности предприятия. Представленная блок-схема, являющаяся результатом авторской научной разработки, может служить основой для дальнейших исследований в данной области.

### Список литературы

1. Амелина, К.Е. Обучение работников организации как фактор, обеспечивающий устойчивость системы управления интеллектуальной собственностью / К.Е. Амелина, Н.А. Сафонова //

Глобальный научный потенциал. – 2024. – № 11-1(164). – С. 10–14.

2. Сафонова, Н.А. Преимущества наличия системы управления интеллектуальной собственностью в организациях / Н.А. Сафонова, К.Е. Амелина // Наука и бизнес: пути развития. – 2023. – № 12(150). – С. 121–125.

3. Бобков, А.Н. Искусственный интеллект в системе инструментального обеспечения производства / А.Н. Бобков, А.С. Славянов // Инновации в менеджменте. – 2024. – № 2(40). – С. 36–41.

4. Taherdoost, H. Artificial Intelligence and Knowledge Management: Impacts, Benefits, and Implementation / H. Taherdoost, M. Madanchian // Computers. – 2023. – Vol. 12, № 4. – P. 1–18.

5. Герцик, Ю.Г. Особенности построения промышленной экосистемы цифрового формата / Ю.Г. Герцик, И.П. Малашин, Е.Н. Горлачева // Экономика высокотехнологичных производств. – 2024. – Т. 5. – № 1. – С. 9–24.

6. Burri, M. Digitization, Regulatory Barriers and Sustainable Development / M. Burri, K. Kugler // Trade Law 4.0 Working Paper. – 2023. – No. 3.

7. Jensen, P.H. Knowledge Management: Does Capture Impede Creation? / P.H. Jensen, E.M. Webster // Industrial and Corporate Change. – 2021. – Vol. 18. – P. 701–727.

8. Молодчик, М. Отраслевые ИКТ-профили российских компаний: стратегии управления ресурсами / М. Молодчик, Ю. Найденова, Е. Шенкман, Е. Иванов // Форсайт. – 2024. – Т. 18. – № 2. – С. 45–56.

9. Андреев, В.Н. Разработка подхода к цифровой трансформации промышленных предприятий / В.Н. Андреев, Хэжу Ван. – Москва : МГТУ «Станкин», 2023. – 159 с.

10. Мильнер, Б.З. Концепция управления знаниями в современных организациях / Б.З. Мильнер // Российский журнал менеджмента. – 2003. – № 1.

11. Горлачева, Е.Н. Создание системы оценки знаний на промышленном предприятии / Е.Н. Горлачева, Е.В. Щербакова // Вестник Московского государственного областного университета. Серия: Экономика. – 2015. – № 3. – С. 64–74.

12. Дюков, А. Искусственный интеллект – это полноценное технологическое направление бизнеса «Газпром нефти» [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://e-plus.media/people/iskusstvennyj-intellekt-eto-polnoczennoe-tehnologicheskoe-napravlenie-biznesa-gazprom-nefti>.

13. Гаранин, Е. «Росатом»: «На базе ИИ закладываем основы будущего» [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://www.forbes.ru/brandvoice/526577-evgenij-garanin-rosatom-na-baze-ii-zakladyvaem-osnovy-budusego>.

14. КСУД: секреты управления данными [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://rzdigital.ru/projects/ksud>.

15. Как нейросети и высокие технологии применяются в ритейле уже сейчас [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://www.x5.ru/ru/publication/kak-nejroseti-i-vysokie-tehnologii-primenyayutsya-v-retejle-uzhe-sejchas>.

16. Как используют ИИ в российской промышленности: реальный опыт [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://companies.rbc.ru/news/7hoJVFn4AP/kak-ispolzuyut-ii-v-rossijskoj-promyshlennosti-realnyj-opyit>.

17. «Северсталь» внедрила новые системы инспекции поверхности металла [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://severstal.com/rus/media/archive/severstal-vnedrila-novye-sistemy-inspektcii-poverkhnosti-metalla>.

18. Прохорова, Г. Инструменты речевой аналитики на практике / Г. Прохорова, А. Кабаев // Открытые системы. СУБД. – 2023. – № 4. – С. 22–25.

### References

1. Amelina, K.Ye. Obucheniye rabotnikov organizatsii kak faktor, obespechivayushchiy ustoychivost' sistemy upravleniya intellektual'noy sobstvennost'yu / K.Ye. Amelina, N.A. Safonova // Global'nyu nauchnyu potentsial. – 2024. – № 11-1(164). – S. 10–14.

2. Safonova, N.A. Preimushchestva nalichiya sistemy upravleniya intellektual'noy sobstvennost'yu v organizatsiyakh / N.A. Safonova, K.Ye. Amelina // Nauka i biznes: puti razvitiya. –

2023. – № 12(150). – S. 121–125.

3. Bobkov, A.N. Iskusstvennyy intellekt v sisteme instrumental'nogo obespecheniya proizvodstva / A.N. Bobkov, A.S. Slavyanov // Innovatsii v menedzhmente. – 2024. – № 2(40). – S. 36–41.

5. Gertsik, YU.G. Osobennosti postroyeniya promyshlennoy ekosistemy tsifrovogo formata / YU.G. Gertsik, I.P. Malashin, Ye.N. Gorlacheva // Ekonomika vysokotekhnologichnykh proizvodstv. – 2024. – T. 5. – № 1. – S. 9–24.

8. Molodchik, M. Otrasleyvyye IKT-profili rossiyskikh kompaniy: strategii upravleniya resursami / M. Molodchik, YU. Naydenova, Ye. Shenkman, Ye. Ivanov // Forsayt. – 2024. – T. 18. – № 2. – S. 45–56.

9. Andreyev, V.N. Razrabotka podkhoda k tsifrovoy transformatsii promyshlennykh predpriyatiy / V.N. Andreyev, Khezhu Van. – Moskva : MGTU «Stankin», 2023. – 159 s.

10. Mil'ner, B.Z. Kontseptsiya upravleniya znaniyami v sovremennykh organizatsiyakh / B.Z. Mil'ner // Rossiyskiy zhurnal menedzhmenta. – 2003. – № 1.

11. Gorlacheva, Ye.N. Sozdaniye sistemy otsenki znaniy na promyshlennom predpriyatii / Ye.N. Gorlacheva, Ye.V. Shcherbakova // Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo oblastnogo universiteta. Seriya: Ekonomika. – 2015. – № 3. – S. 64–74.

12. Dyukov, A. Iskusstvennyy intellekt – eto polnotsennoye tekhnologicheskoye napravleniye biznesa «Gazprom nefiti» [Electronic resource]. – Access mode : <https://e-plus.media/people/iskusstvennyj-intellekt-eto-polnoczennoe-tehnologicheskoe-napravlenie-biznesa-gazprom-nefti>.

13. Garanin, Ye. «Rosatom»: «Na baze II zakladyvayem osnovy budushchego» [Elektronnyy resurs]. – Rezhim dostupa : <https://www.forbes.ru/brandvoice/526577-evgenij-garanin-rosatom-na-baze-ii-zakladyvaem-osnovy-budusego>.

14. KSUD: sekrety upravleniya dannymi [Electronic resource]. – Access mode : <https://rzddigital.ru/projects/ksud>.

15. Kak neyroseti i vysokie tekhnologii primenyayutsya v riteyle uzhe seychas [Electronic resource]. – Access mode : <https://www.x5.ru/ru/publication/kak-nejroseti-i-vysokie-tehnologii-primenyayutsya-v-retejle-uzhe-sejchas>.

16. Kak ispol'zuyut II v rossiyskoy promyshlennosti: real'nyy opyt [Electronic resource]. – Access mode : <https://companies.rbc.ru/news/7hoJVF4AP/kak-ispolzuyut-ii-v-rossijskoj-promyshlennosti-realnyj-opyt>.

17. «Severstal» vnedrila novyye sistemy inspektzii poverkhnosti metalla [Electronic resource]. – Access mode : <https://severstal.com/rus/media/archive/severstal-vnedrila-novyye-sistemy-inspektzii-poverkhnosti-metalla>.

18. Prokhorova, G. Instrumenty rechevoy analitiki na praktike / G. Prokhorova, A. Kabayev // Otkrytye sistemy. SUBD. – 2023. – № 4. – S. 22–25.

© Н.А. Сафонова, Е.Н. Горлачева, 2025

УДК 338.4

А.В. ДЕМИДОВ, П.А. ШИКОВ, Ю.А. ШИКОВ

ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна», г. Санкт-Петербург

## ПРОБЛЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЦИФРОВОЙ ТРАНСФОРМАЦИЕЙ ПРЕДПРИЯТИЙ ЛЕГКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

*Ключевые слова:* импортозамещение; легкая промышленность; промышленное предприятие; стратегическое развитие; цифровая трансформация; цифровое производство; цифровые технологии.

*Аннотация.* В статье рассмотрены проблемы управления цифровой трансформацией предприятий легкой промышленности. Цель представленного исследования заключается в анализе проблем, связанных с цифровой трансформацией промышленных предприятий отрасли. В результате системного анализа и опроса экспертов определены основные риски и проблемы управления цифрой трансформацией предприятий текстильной и легкой промышленности. Определены причины медленной цифровизации бизнес-процессов, а также специфические особенности текстильной и легкой промышленности, оказывающие существенное влияние на процессы цифровой трансформации. Сделан вывод о том, что управление цифровой трансформацией становится сложным процессом, требующим продуманных действий, высококвалифицированных специалистов, значительных инвестиций, а главное, желания и мотивации руководителей.

### Введение

По прогнозам Министерства экономического развития Российской Федерации прирост производства предприятий легкой промышленности на горизонте 2024–2026 гг. превысит значение 2022 г. Данная тенденция связана с увеличением внутреннего спроса на отечественную продукцию по причине приостановки деятельности зарубежных компаний в России,

также набирают обороты электронная коммерция и цифровые каналы сбыта продукции через маркетплейсы, социальные сети и т.д.

В настоящее время промышленным предприятиям следует соответствовать концептуальным подходам «Индустрии 4.0» и внедрять цифровые технологии на всех этапах производства продукции, начиная от определения целей, разработки стратегии и составления графика работ до контроля качества и упаковки готовой продукции. «Цифровизация становится основополагающей тенденцией развития мировой экономики, изменяя ее структурные характеристики и переводя ее в новое качественное состояние. Мировая экономика претерпевает цифровую трансформацию, которая связана с совершенствованием применения потенциала информационных технологий для продвижения информационно-коммуникативных инноваций, поддержки хозяйственного развития и стимулирования научно-технического прогресса» [1].

У цифровых систем есть особенность, которая заключается в возможности аккумуляции данных с различных устройств, их обработки и представления на выходе определенного решения или результата. Это требует от производственных автоматизированных систем большого объема памяти и высокой скорости обработки данных, что возможно сделать, применяя не только локальные вычисления, но и облачные технологии и сервисы. «Цифровая платформа объединяет все внутренние и внешние, онлайн- и офлайн-процессы компании в общее виртуальное пространство. Это позволяет не упускать из виду информацию о состоянии рабочих мест, агрегатов и работы сервисных служб» [2].

В этой связи наиболее актуальным становится применение сетевидного подхода к управлению промышленным предпри-



Рис. 1. Схема сетецентрического управления

ятием, когда данные из различных источников и информационных систем концентрируются, анализируются и используются для принятия управленческих решений [3]. Появляется возможность принимать оптимальные и точные решения по организации и управлению бизнес-процессами на основе объективных данных. В общем виде схема сетецентрического управления представлена на рис. 1.

Эффективность управления промышленным предприятием определяется не только степенью применения новых технологий, но и способностью адаптироваться к применению сквозных цифровых технологий [4], что окажет влияние на все этапы жизненного цикла (от начальных этапов проектирования и подготовки производства до процессов выпуска и реализации готовой продукции).

### Материалы и методы

К сожалению, цифровая трансформация на предприятиях отрасли идет крайне медленно. Сказываются последствия почти тридцатилетнего кризиса отрасли, потери интереса к ней у молодежи, низких зарплат и отсутствия популярных российских брендов. «При всех позитивных факторах не стоит забывать и о том, что большинство предприятий находятся в убыточном состоянии, оборудование очень изношено, не хватает высококвалифицированного персо-

нала, способного адаптироваться к быстрым изменениям среды» [5]. Причины не только в отсутствии необходимого финансирования, но и в специфике отдельных направлений, представленных в таблице на рис. 2.

Поэтому управление цифровой трансформацией в отрасли требует учета всех факторов и опыта других отраслей, которые уже не первый год успешно внедряют современные цифровые технологии в производство.

В ходе исследования проанализированы основные риски и проблемы управления цифровой трансформацией на промышленных предприятиях отрасли. Среди них:

- опасения и боязнь руководителей и собственников предприятий не получить ожидаемые выгоды и преимущества цифровизации производства;
- отсутствие необходимых средств для проведения цифровой трансформации;
- нехватка высококвалифицированного персонала для реализации цифровых бизнес-процессов;
- преобладание большого количества ручных технологических операций с неавтоматизированным оборудованием;
- длительный период окупаемости цифровой трансформации;
- высокая стоимость заемных средств для инвестирования в цифровизацию производства.

Часть предприятий отрасли еще находится

Текстильная промышленность	Легкая промышленность
<p><b>Сильная зависимость от сырья.</b> Использует как натуральные (хлопок, шерсть, лен, шелк), так и искусственные/синтетические волокна.</p> <p><b>Многостадийность производства.</b> Включает последовательные этапы, такие как прядение, ткачество, отделка тканей и крашение.</p> <p><b>Широкий спектр применения продукции.</b> Производит не только ткани для одежды, но и технический текстиль (для транспорта, промышленности, медицины), а также домашний текстиль.</p> <p><b>Технологичность.</b> Современное текстильное производство находится на стыке технологий и инноваций, требуя постоянного обновления оборудования для улучшения свойств материалов (прочность, износостойкость, теплозащита, гигроскопичность).</p> <p><b>Высокий уровень автоматизации производства.</b></p>	<p><b>Ориентация на потребителя.</b> Главная задача — удовлетворение широких и постоянно меняющихся потребностей населения в товарах народного потребления (одежда, обувь, домашний текстиль и т.д.).</p> <p><b>Сырьевой и трудовой факторы размещения.</b> Предприятия размещаются либо вблизи источников сырья (например, хлопка, шерсти), либо в районах с достаточными трудовыми ресурсами, поскольку отрасль является трудоемкой.</p> <p><b>Относительно небольшие предприятия.</b> Многие производства не требуют огромных площадей, больших объемов энергии или воды по сравнению с отраслями тяжелой промышленности.</p> <p><b>Быстрая оборачиваемость капитала и продукции.</b> Смена модных тенденций и сезонность требуют быстрого обновления ассортимента и гибкости производства.</p> <p><b>Широкий ассортимент.</b> Выпускается огромное разнообразие товаров, отличающихся по назначению, материалам и дизайну.</p> <p><b>Большой спектр ручных производственных операций.</b></p>

Рис. 2. Специфические особенности текстильной и легкой промышленности для целей цифровой трансформации

в стадии автоматизации производства и внедряет технологическое программное обеспечение для планирования производства, проектирования и разработки новых видов продукции, управления качеством, раскроя и учета материалов, расчета себестоимости, заработной платы и др. При всем понимании преимуществ автоматизации, цифровизации и цифровой трансформации производства эти процессы в отрасли идут крайне медленно.

Так, всего около 30 % предприятий отрасли внедрили корпоративные информационные системы, автоматизирующие все основные бизнес-процессы предприятий, которые позволяют существенно повысить эффективность и сократить затраты.

Сотрудники, которые задействованы в производственном процессе, особенно это касается специфических навыков, не универсальных, то есть таких, которые нельзя потом нигде применить, склонны к осуществлению консервативного процесса. Однако развитие и реализация цифровизации требуют от сотрудников предприятий умения принимать новые решения на основе цифровых технологий. «Кроме того, цифровая трансформация меняет традиционные бизнес-модели организаций, позволяя им занимать выгодные ниши на мировых рынках,

повышая престижность бизнеса и государства в целом. В современных условиях уровень цифровизации иллюстрирует степень конкурентоспособности компаний и является определяющим при разработке стратегии развития» [6].

Цифровая трансформация в значительной степени изменяет подходы к управлению бизнес-процессами и предприятием в целом. Основными становятся работа с информацией и принятие решений на основе объективных данных. Это позволяет минимизировать ошибки, связанные с человеческим фактором, повысить качество, точность прогнозирования и планирования производства, сократить производственные затраты, обеспечивать высокоэффективные коммуникации с поставщиками и клиентами, реализовывать оптимальные логистические цепочки, внедрять не только управленческие, но и продуктовые инновации. «Цифровые технологии позволяют фирмам и индивидуальным предпринимателям осуществлять в удаленном режиме такие операции, как анализ бизнеса; планирование, управление и контроль деятельности; ведение бухгалтерского учета и аудита; организация доставки товаров и др. При этом повышается производительность труда работников, снижаются затраты, растет качество выполненных работ и оказанных ус-

луг» [7].

Анализ деятельности успешных предприятий отрасли демонстрирует интересную тенденцию, связанную с внедрением инновационной продукции. Как правило эти же предприятия являются лидерами в вопросах цифровизации и цифровой трансформации. Но большинство предприятий имеет скромные результаты и с трудом конкурирует с продукцией мировых лидеров. «Существующая структура использования технологий в отраслях экономики сопровождается все же достаточно низким уровнем инноваций и, как итог, соответствующей производительностью труда» [8].

И еще одним серьезным вызовом стала новая модная тенденция «*fast fashion*», которая вынуждает производителей быстро реагировать на изменения моды и также быстро осуществлять перестройку производства. В настоящее время это могут оперативно реализовывать только предприятия с полным «цифровизированным» циклом производства. «В производстве одежды актуальной становится концепция «быстрой моды», то есть обновления ассортимента несколько раз в сезон. В связи с этим «фаст фэшн» заставляет производителей искать новые методы нанесения принта, и лучшим вариантом становится цифровая печать» [9]. Это является конкурентным преимуществом, с одной стороны, и вызовом, с другой стороны, но это позволяет решать вопросы импортоза-

мещения.

### Заключение

Производство любого продукта начинается с проектирования и разработки технологического процесса (технологической карты), на этом же этапе ставятся вопросы об его улучшении, способах упрощения и снижения себестоимости. В текстильном производстве спрос на товары зависит от модных тенденций. Для анализа модных тенденций необходимо выпускать новый продукт как можно быстрее, отсюда возрастает необходимость быстрой разработки дизайна и самого изделия.

У отрасли в связи с уходом мировых брендов появилась замечательная возможность занять освободившиеся ниши, сделать мощный технологический рывок в стратегическом развитии, в том числе за счет цифровизации и цифровой трансформации. Необходимо вернуть предприятиям востребованность, конкурентные преимущества и масштабировать российские бренды [10].

Управление цифровой трансформацией становится многослойным процессом, требующим продуманных действий, высококвалифицированных специалистов, значительных инвестиций в стратегическое развитие, а главное, желания и мотивации руководителей предприятий реализовывать смелые и важные проекты.

### Список литературы

1. Таранов, П.В. Мировая экономика: к вопросу цифровой трансформации / П.В. Таранов, А.М. Басенко // Гуманитарные, социально-экономические и общественные науки. – 2021. – № 5. – С. 222–225.
2. Щербачева, Л.В. Цифровая трансформация производства в легкой промышленности / Л.В. Щербачева // Вестник Московского университета МВД России. – 2022. – № 1. – С. 328–332.
3. Шиков, Ю.А. Применение сетецентрического подхода при управлении производством на предприятиях текстильной и легкой промышленности / Ю.А. Шиков // Наука и бизнес: пути развития. – 2025. – № 1(163). – С. 205–210.
4. Shikov, P.A. Organizational problems of creating a production company and the ways of their solution / P.A. Shikov, M.P. Vlasov, L.N. Nikitina, Yu.A. Shikov // Components of Scientific and Technological Progress. – 2022. – No. 6(72). – P. 6–14.
5. Ларионов, В.Г. Векторы цифровой трансформации текстильной промышленности / В.Г. Ларионов, Е.Н. Шереметьева, А.В. Балановская // Технология текстильной промышленности. – 2022. – № 2(398). – С. 12–20.
6. Мерзлов, И.Ю. Комплексная методика оценки уровня цифровизации организаций / И.Ю. Мерзлов, Е.В. Шилова, Е.А. Санникова, М.А. Сединин // ЭПП. – 2020. – № 9. – С. 2379–2396.
7. Ефремова, Т.А. Особенности, тенденции и перспективы цифровой трансформации экономики: мировой и национальный опыт / Т.А. Ефремова, С.С. Артемьева, С.М. Макейкина // Теория

и практика общественного развития. – 2021. – № 1(155). – С. 8.

8. Цхададзе, Н.В. Цифровая инфраструктура ведущих отраслей российской промышленности / Н.В. Цхададзе // Вестник Московского университета МВД России. – 2021. – № 1. – С. 285–290.

9. Саиди, Д.Р. Преимущества цифровизации легкой промышленности / Д.Р. Саиди, Ф.М. Махмудова // Universum: технические науки. – 2020. – № 1(70). – С. 58–60.

10. Смирнова, В.Р. Легкая промышленность России в разрезе государственной политики импортозамещения и инновационного развития / В.Р. Смирнова, С.В. Чернявский, Ю.С. Васильева // Вестник Томского государственного университета. Экономика. – 2023. – № 63. – С. 74–91.

### References

1. Taranov, P.V. Mirovaya ekonomika: k voprosu tsifrovoy transformatsii / P.V. Taranov, A.M. Basenko // Gumanitarnyye, sotsial'no-ekonomicheskiye i obshchestvennyye nauki. – 2021. – № 5. – S. 222–225.

2. Shcherbacheva, L.V. Tsifrovaya transformatsiya proizvodstva v legkoy promyshlennosti / L.V. Shcherbacheva // Vestnik Moskovskogo universiteta MVD Rossii. – 2022. – № 1. – S. 328–332.

3. Shikov, YU.A. Primeneniye setetsentricheskogo podkhoda pri upravlenii proizvodstvom na predpriyatiyakh tekstil'noy i legkoy promyshlennosti / YU.A. Shikov // Nauka i biznes: puti razvitiya. – 2025. – № 1(163). – S. 205–210.

4. Shikov, P.A. Organizational problems of creating a production company and the ways of their solution / P.A. Shikov, M.P. Vlasov, L.N. Nikitina, Yu.A. Shikov // Components of Scientific and Technological Progress. – 2022. – No. 6(72). – P. 6–14.

5. Larionov, V.G. Vektory tsifrovoy transformatsii tekstil'noy promyshlennosti / V.G. Larionov, Ye.N. Sheremet'yeva, A.V. Balanovskaya // Tekhnologiya tekstil'noy promyshlennosti. – 2022. – № 2(398). – S. 12–20.

6. Merzlov, I.YU. Kompleksnaya metodika otsenki urovnya tsifrovizatsii organizatsiy / I.YU. Merzlov, Ye.V. Shilova, Ye.A. Sannikova, M.A. Sedinin // EPP. – 2020. – № 9. – S. 2379–2396.

7. Yefremova, T.A. Osobennosti, tendentsii i perspektivy tsifrovoy transformatsii ekonomiki: mirovoy i natsional'nyy opyt / T.A. Yefremova, S.S. Artem'yeva, S.M. Makeykina // Teoriya i praktika obshchestvennogo razvitiya. – 2021. – № 1(155). – S. 8.

8. Tskhadadze, N.V. Tsifrovaya infrastruktura vedushchikh otrasley rossiyskoy promyshlennosti / N.V. Tskhadadze // Vestnik Moskovskogo universiteta MVD Rossii. – 2021. – № 1. – S. 285–290.

9. Saidi, D.R. Preimushchestva tsifrovizatsii legkoy promyshlennosti / D.R. Saidi, F.M. Makhmudova // Universum: tekhnicheskkiye nauki. – 2020. – № 1(70). – S. 58–60.

10. Smirnova, V.R. Legkaya promyshlennost' Rossii v razreze gosudarstvennoy politiki importozameshcheniya i innovatsionnogo razvitiya / V.R. Smirnova, S.V. Chernyavskiy, YU.S. Vasil'yeva // Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Ekonomika. – 2023. – № 63. – S. 74–91.

---

© А.В. Демидов, П.А. Шиков, Ю.А. Шиков, 2025

---

## Abstracts and Keywords

*I.V. Zaitseva, O.N. Nikulina, O.S. Karnadud*

### **A Game-Theoretic Model for Studying Optimal Economic Growth**

*Keywords:* mathematical model; game theory; economics; research; optimization.

*Abstract.* The paper considers a game-theoretic model for studying optimal economic growth. The goal of the research is to solve the problem of studying optimal economic growth using economic and mathematical modeling methods. The objectives are to develop a mathematical model for studying optimal economic growth, identify the main players in the model, and define a numerical game-theoretic model for studying optimal economic growth. The research hypothesis is the possibility of studying optimal economic growth by identifying the main participants as players. The approach presented in the paper allows for solving the problem for a single-product economy, but it can also be extended to multiple products. Game theory is used to find the optimal solution to the initial mathematical problem. A numerical example of the developed algorithm is presented and analyzed.

---

*S.E. Kuzenko, P.A. Lotarev*

### **Methods of Building Digital Twins at Industrial Enterprises**

*Keywords:* digital twins; oil and gas industry; equipment monitoring; machine learning; artificial intelligence; predictive maintenance.

*Abstract.* The article discusses the methods of building and implementing digital twins for monitoring, diagnosing and optimizing production processes in the oil and gas industry. The purpose of the study is to assess the extent to which the use of digital twins can improve the reliability of equipment, reduce operational risks and improve the efficiency of technological facilities management. The hypothesis of the study is that the integration of digital twins into the infrastructure of oil and gas enterprises provides a significant improvement in operational performance due to the transition to data-oriented and predictive management methods.

The aim of the study was to establish how modern methods of modeling technological systems, analyzing data collected from industrial equipment, as well as machine learning and artificial intelligence algorithms can be used to create digital replicas of objects and optimize maintenance processes. The methodological basis of the study is based on the use of sensory data, mathematical models, statistical analysis and intelligent algorithms for wear forecasting, which make it possible to form dynamic models of equipment functioning in real-world operation.

The results of the study show that the use of digital twins significantly increases the accuracy of diagnostics of the technical condition of equipment, reduces the time for diagnostic procedures and reduces maintenance costs by switching from routine repairs to maintenance based on the actual condition. It has been established that the introduction of digital twins contributes to an increase in repair intervals, a decrease in the number of unplanned production stops and a decrease in the level of industrial accidents. Additionally, it has been revealed that digital modeling makes it possible to reduce the environmental burden by reducing emissions of harmful substances and optimizing the operating conditions of technological systems. The combined effect confirms that digital twins are becoming a key tool for improving the efficiency of oil and gas enterprises in the context of digital transformation.

---

*A.V. Amenitsky, E.G. Vorobyov*

### **Methodological Problems of Implementing Agent-Based Artificial Intelligence (AI) Systems in Mission-Critical Business Processes**

*Keywords:* agent-based artificial intelligence; hybrid AI architecture; large language models;

---

business processes; decision management; RAG; AI transparency; industrial implementation of AI; financial technologies.

*Abstract.* The article is devoted to the study of methodological problems of implementing agent-based artificial intelligence (AI) systems in critical business processes, such as lending in the financial sector. The relevance of the topic is due to the transition from the experimental use of large language models (LLM) to the creation of complex, reliable and regulated systems capable of solving real-world problems. The aim of the work is to develop an architectural framework for a hybrid agent system that combines the strengths of LLM with proven automation technologies to overcome the inherent limitations of LLM. The research methodology includes system analysis, comparative analysis of technologies (LLM, workflow systems, business rules systems, RAG) and synthesis of a hybrid model based on the proposed framework. Results: Based on the analysis of the automation case of the bank's loan application process, a multi-agent architecture is proposed in which tasks are distributed among specialized agents: a chat agent (LLM) for interacting with the client, an orchestrator (LLM) for routing requests, a policy agent (LLM + RAG) for providing information, a workflow agent for managing the state of the process, a decision agent (based on business rules) for deterministic computing, a document processing agent (LLM) for data extraction, and a companion agent (LLM) for employee support. Conclusions and recommendations: It has been proven that the hybrid approach, unlike monolithic LLM solutions, provides reliability, transparency, manageability, and compliance with regulatory requirements necessary for industrial applications. The practical significance of the work lies in providing organizations with a clear blueprint for building complex agent systems. It is recommended to apply the proposed framework when designing AI solutions in financial, legal and other regulated industries.

---

*I.L. Abramov, A.A. Tikhonov, V.S. Golitsyn, D.A. Sidorenko*

### **BIM as a Tool for Enhancing Transparency and Accuracy of Construction Processes**

*Keywords:* building information modeling; BIM; transparency of construction processes; digitalization; design automation; accuracy; sustainable development.

*Abstract.* The research aims at improving the transparency and accuracy of construction processes through the implementation of Building Information Modeling (BIM) technologies. The objectives are to study the potential of applying BIM technologies for optimizing design processes, enhancing collaboration among project participants, and improving the overall quality of construction production. The tasks are to analyze traditional methods of managing construction processes and their shortcomings; to examine the mechanisms that ensure transparency and accuracy when using BIM; and to consider examples of BIM integration into design processes. The research employs methods of analysis, comparison, generalization, and a systematic approach to the study of building information modeling. It is concluded that the implementation of BIM technologies enables the integration of all participants in the construction process into a unified digital environment, thereby increasing transparency, accuracy, and the efficiency of design and construction activities.

---

*A.Yu. Goryachkina, O.M. Koryagina, N.G. Surkova*

### **Electronic Product Model**

*Keywords:* KOMPAS-3D; electronic geometric model of the part; electronic geometric model of an assembly unit; digitization; basic design document.

*Abstract.* The purpose of this article is to develop techniques for constructing electronic geometric models of assembly units and to acquire knowledge of electronic design documents using the KOMPAS-3D v23 CAD system. The hypothesis put forward in this article allows for an understanding of the principles of creating electronic design documentation and an understanding of paperless product design technology. Objectives: To examine the theoretical and practical application of methods for constructing computer geometric models of products using the KOMPAS-3D v23 CAD system, in accordance with

---

ESKD standards and other state standards.

Methods are as follows. The introduction of advanced information tools for processing design documentation has resulted in the emergence of new documents, such as electronic models of parts and electronic models of assemblies. GOST 2.052–2006 establishes general requirements for the creation of electronic models of parts and assemblies in mechanical engineering and instrument making.

Results are as follows: based on the conducted research, the main concepts in the field of 3D engineering design and the rules for the preparation of electronic design documentation were identified.

---

*S.A. Chupin, A.I. Isaev, D.S. Levashov*

### **Generative Design and Topology Optimization in the Fuel and Energy Complex: Next-Generation Digital Technologies for Sustainable Equipment Design**

*Keywords:* generative design; topology optimization; fuel and energy complex; design; engineering; optimization; digital transformation; design.

*Abstract.* This paper examines modern digital methods for designing fuel and energy equipment – generative design and topology optimization. The relevance of this research lies in the need to improve energy efficiency and reduce the environmental impact of equipment operating at enterprises in the fuel and energy and mineral resources complex while maintaining high reliability in the context of import substitution policies. The aim of the study is to substantiate the application of topology optimization and generative design in the design and manufacture of components and equipment for the fuel and energy complex. To achieve this goal, it is necessary to select the optimization method and generative design principle applicable to the specific operating conditions of the fuel and energy complex: extreme loads, aggressive environments, production features, and safety regulations. The authors also assess the economic and environmental efficiency factors of implementing these approaches and the limitations of their use. The study hypothesis suggests that the integration of topological optimization and generative design into the design process of fuel and energy complex equipment will significantly reduce the material consumption and weight of structures while maintaining or increasing their strength, reliability, and durability. This, taken together, will lead to significant economic and environmental benefits by reducing material and energy costs, as well as reducing the carbon footprint, which is a key aspect of sustainable development.

---

*V.V. Shvetsova, O.N. Leonova*

### **Potential of Traditional Graphic Disciplines (Demographic Geometry and Engineering Graphics) in the Context of Digitalization of Design Solutions**

*Keywords:* traditional graphic disciplines; methodological foundations; digitalization; design solutions; potential of graphic techniques.

*Abstract.* Modern information technologies are focused on the broad possibilities of digitalization for the most important aspects of the design procedures for material objects and items in various fields of practical activity. The formation of the necessary quality indicators for material products begins with the development of appropriate design solutions and the implementation of necessary design procedures. The quality and effectiveness of the available design solution development tools have a direct and immediate impact on the results of design activities, which are reflected in products of various scales, properties, and states.

The purpose of this article is to examine the methodological foundations and techniques of traditional graphic disciplines for application in the modern context of digitalization of project procedures.

Research objectives include analyzing the conditions, methods, and capabilities of traditional graphic disciplines as an independent and/or integrated tool for developing design solutions, as well as assessing the potential of traditional graphic disciplines for developing information technologies and digitalization tools for project procedures necessary for determining the quality of tangible products.

---

Research methods include a systematic analysis of the features of the development and methods of presenting the results of project activity. The solution of the research objectives involves an empirical approach, the formulation and execution of experiments, the generalization and study of the results obtained during the implementation of project procedures for creating/developing the properties and states of a material object.

Research results are as follows: formation of a scientific hypothesis and analysis of modern approaches to the digitalization of design solutions, analysis of the methodology for developing design solutions that use traditional graphic disciplines (using the example of the development of tangible objects), and assessment of the potential of traditional graphic disciplines for the digitalization of design procedures.

---

*D.V. Reshetov, V.A. Dyachenko*

### **Verification of Mathematical Model of Mechatronic Shock Machine**

*Keywords:* verification; mathematical model; mechatronic shock testing machine; relative error; shock testing; experimental data.

*Abstract.* The aim of the research is to validate the mathematical model of a mechatronic shock test machine by comparing the simulation results with experimental data to assess the degree of correspondence between the model and the real process. The research hypothesis is that the developed mathematical model adequately describes the dynamics of the shock between the carriage and the shock programmer, and that the deviations from the experimental data do not exceed acceptable limits. This allows the model to be used for the design and adjustment of the operating modes of the test machine. The research methods included a series of experiments reproducing reversing shock overload, as well as computer simulations. The results demonstrated satisfactory agreement between theoretical and experimental data: the average relative error across all modes does not exceed 13 %. A systematic underestimation of the calculated acceleration values was observed, attributed to the simplified representation of the dynamic properties of shock programmers and friction effects. The validation confirmed the reliability of the mathematical model and its applicability for determining the parameters of the shock machine components and adjusting the shock modes.

---

*N.S. Filatov, A.V. Bakhshiev*

### **Compiling Optimal Token Sequences and Their Positional Features for 3D Object Detection**

*Keywords:* 3D object detection; multimodal data fusion; transformers; positional embeddings.

*Abstract.* This paper considers multimodal 3D object detection methods for autonomous driving. The aim of the work is to develop a method optimized for real-time operation and provide an increase in inference speed compared to existing approaches. The research hypothesis is that a dedicated organization of LiDAR and camera tokens in bird's-eye-view polar coordinates, combined with a careful choice of positional embeddings, can yield a more favorable trade-off between accuracy and runtime. The following tasks have been addressed: an efficient LiDAR-camera fusion module is proposed, in which tokens are organized in bird's-eye-view polar coordinates using radial and zigzag partitioning, thereby reducing the amount of masked padding and eliminating computationally expensive operations; a hyperparameter study is conducted for sequence length and different positional embedding schemes, including a single learned positional embedding, individual embeddings for each transformer block, and a concatenation-based positional embedding. The methodology of the study is based on experimental evaluation on the NuScenes dataset. The results show that a single learned positional embedding and a sequence length of 90 tokens provide the best balance between accuracy and efficiency, achieving 62.8 mAP and 68.4 NDS with an inference speed of 8.50 Hz on an RTX 3060 and 20.72 Hz on an NVIDIA A100.

### **Modern Approaches to Quality Control in the Automotive Industry: Methods, Standards, and Development Trends**

*Keywords:* quality control; automotive industry; ISO 9001; TQM; RCA; DFQ; reliability; safety; digitalization.

*Abstract.* Quality control in automotive production is one of the key factors determining the success and competitiveness of companies in the modern market. The automotive industry is one of the most dynamically developing and technologically complex sectors, requiring strict adherence to quality standards at all stages – from development and design to production and after-sales service [5]. In the context of growing consumer demands for safety, reliability, and environmental sustainability of vehicles, quality becomes not just a requirement, but a strategically important element influencing the manufacturer's reputation and financial performance.

Modern quality control methods include various approaches, such as statistical process control, implementation of quality management systems (e.g., ISO 9001 standards), and the use of advanced technologies, particularly automation and digitalization of production [3]. These methods not only allow the detection of defects at early stages but also minimize risks associated with production errors, ultimately contributing to improving the level of quality and safety of the vehicles produced.

This article discusses the main aspects of quality control in the automotive industry, its impact on the safety and reliability of products, as well as the current trends and challenges faced by manufacturers in the context of globalization and increasing competition.

---

E.R. Zhdanov, R.A. Yafizova, O.S. Kharina, A.V. Kryukov

### **Prospects For Improving the Quality Management System of High-Tech Products**

*Keywords:* quality management; high-tech products; innovative materials; production automation; quality control; professional qualifications; competitiveness; operational safety.

*Abstract.* The article discusses the prospects for improving the quality management system for science-intensive products, emphasizing the importance of developing innovative materials, automating production processes, implementing strict quality control measures, and enhancing the skills of personnel. The purpose of the article is to explore and propose ways to improve the quality management system for science-intensive products, identify the most significant aspects, and develop a set of measures to enhance the efficiency of production processes, reduce defects, and increase the competitiveness of Russian enterprises in the international market.

Special attention is paid to ensuring the safety of products in use, emphasizing the need for thorough quality control at every stage of the production cycle. A comprehensive approach involves integrating innovative solutions aimed at improving the performance of products and reducing the risk of defects. To achieve these goals, it is recommended to implement modern quality control methods, provide regular training for employees, and maintain partnerships with raw material suppliers. Effective quality management of science-intensive products contributes to strengthening the position of Russian enterprises in the international market, ensuring high-quality and reliable products.

---

M.N. Magomedov

### **Artificial Intelligence as a Means of Improving the Efficiency of a Company's Business Process Management**

*Keywords:* business process; efficiency; company; technologies; analysis; data; management; artificial intelligence.

*Abstract.* The article discusses the potential of modern technologies to improve the efficiency of

---

companies. The objective is to analyze the features of using artificial intelligence to improve the efficiency of managing a company's business processes. The tasks are to describe the essence of digital technologies in business; to identify areas in which artificial intelligence can improve the management of business processes; to study advanced industry practices and the effects achieved by applying technological innovations in business process management. The hypothesis suggests that the introduction of artificial intelligence tools increases returns and simplifies and optimizes the management of a company's business processes. Methods include modelling, comparison, analysis, generalisation, and structuring. The results are as follows: the article outlines strategic directions for integrating artificial intelligence into business process management. It highlights the competencies and skills required of personnel to master new technologies. An algorithm for digitising a company's business process ecosystem has been formalized.

---

*E.A. Prytkova, V.M. Davidov*

### **Development of Digital Quality Management Tools in the Context of Reengineering of Technological Processes of Mechanical Engineering Production**

*Keywords:* automation of production; product quality; mechanical engineering enterprise; process reengineering; quality management system; digitalization of production; digital technologies.

*Abstract.* The article considers the problems of developing digital quality management tools in the context of reengineering technological processes of mechanical engineering enterprises. The purpose of the study is to study the features of developing digital quality management tools in the context of reengineering technological processes of mechanical engineering production. The existing software solutions for digitalization of quality management systems are analyzed; the main areas of their improvement are identified. A conceptual model for integrating digital tools into quality management processes is proposed, taking into account the specifics of domestic mechanical engineering. The study showed that digitalization of quality management systems in the context of reengineering technological processes in mechanical engineering is moving unevenly: the production circuit (MES / ERP, monitoring, dispatching) is developing faster than the quality management processes themselves. The key gaps are concentrated in the information layer: there are no end-to-end mechanisms for managing nonconformities and audits, a single digital dictionary of quality objects, as well as the completeness and safety of historical data for analytics and forecasting.

---

*M.A. Svetalkina, D.D. Kramor*

### **The Analysis of Suppliers' Activities of JSC "PPO "EVT named after V.A. Revunov"**

*Keywords:* defect; consumer dissatisfaction; marketing research; suppliers.

*Abstract.* The article is devoted to the analysis of the activities of suppliers of JSC "PPO "EVT named after V.A. Revunov". The purpose of the study is to assess the existing relationships with suppliers. The main objective is to improve the quality of products produced at JSC "PPO "EVT named after V.A. Revunov". As a result of the study, recommendations have been developed for interacting with suppliers using a point-rating assessment of indicators and constructing a comparative chart.

---

*A.V. Smirnov, A.E. Brom*

### **A Fuzzy Logic-Based Study of Latent Defects**

*Keywords:* fuzzy logic; latent defects; black box; disturbance factors; binary relations; composition; mechanical engineering; quality management.

*Abstract.* The aim of this study is to develop a mathematical framework for predicting the

---

risk of implicit (hidden) defects in the process chains of mechanical engineering production based on comprehensive modeling of cause-and-effect relationships. The following objectives were set: to formalize a model of the production process of internal suppliers as a "black box" subject to the influence of qualitative and subjective disturbing factors; to develop a mathematical framework based on fuzzy set theory for formalizing individual disturbing factors and their composition; to demonstrate the practical applicability of the method using the example of a turning operation. The research hypothesis is that the complex influence of fuzzy disturbing factors on the risk of defect occurrence can be modeled and quantified using a composition of fuzzy binary correspondences linking the input and output parameters of the system. The study resulted in a method for assessing the end-to-end impact of input parameters on output parameters through disturbing factors, resulting in a matrix of quantitative defect risk assessments. A practical example of a turning operation demonstrates a method for identifying bottlenecks, enabling the rational allocation of input and operational inspection resources.

*A.V. Chabanenko, D.F. Savin, M.D. Rassykhaeva*

### **CAPA Maturity Model and Its Impact on Production Performance within the Enterprise QMS in the Context of Industry 4.0**

*Keywords:* quality management; control; quality engineering; machine learning; additive technologies; modeling.

*Abstract.* In the context of Industry 4.0, enterprises are moving from fragmented quality control to end-to-end digital contours of nonconformity and risk management. The central mechanism of such a circuit is CAPA (Corrective and Preventive Action), a controlled cycle of root cause analysis, implementation of actions, and verification of the sustainability of results. At the same time, in the versions of ISO 9001:2015/GOST R ISO 9001-2015 standards, the emphasis has shifted from "preventive actions" as a separate procedure to risk-based thinking and knowledge management; In practice, the term CAPA is consistently used as an integration of corrective actions (CA) and risk-prevention activities (PA) embedded in the product and process lifecycle.

Despite the widespread use of CAPA, the maturity of this function in enterprises varies from "reactive repair" to a proactive, analytically sound and statistically controlled system related to the target KPIs of the business. The purpose of this article is to propose an applied CAPA maturity model linked to production performance metrics (OEE, defect rate, repeated inconsistencies, cycle closure rate, economic effect), and to show how the growth of CAPA maturity affects a steady increase in QMS indicators in the digital environment of Industry 4.0.

*Е.В. Шаломова, И.С. Антипкин*

### **Всеобщее управление качеством как стратегический инструмент для повышения конкурентоспособности российского страхового сектора**

*Ключевые слова:* всеобщее управление качеством; гиперконкуренция; страховой сектор; цифровая трансформация.

*Аннотация.* Цель статьи – изучить роль всеобщего управления качеством (*Total Quality Management – TQM*) как стратегического инструмента для повышения конкурентоспособности российского страхового сектора. Задачи исследования: в условиях цифровой трансформации и растущей клиентоцентричности принципы всеобщего управления качеством рассматриваются как ключевой фактор оптимизации бизнес-процессов, снижения операционных издержек и укрепления лояльности клиентов. Гипотеза исследования: мы предполагаем, что внедрение в российский страховой рынок принципов всеобщего управления качеством как комплексного подхода, изучение лучшего международного опыта в этой области, будут способствовать созданию своей исключительной методики, способной достойно конкурировать на мировой арене. Методы исследования: на основе адаптации международного опыта предлагается методология исследования, включающая опросы по модели Лайкерта и анализ лучших практик ведущих

---

российских страховых компаний. Достигнутые результаты исследования: в процессе исследования подтверждается, что внедрение всеобщего управления качеством как стратегического инструмента для повышения конкурентоспособности российского страхового сектора способствует созданию устойчивых конкурентных преимуществ и обеспечивает долгосрочный рост в условиях гиперконкуренции.

---

*P.A. Shmatova, V.A. Akristimiy*

### **Methods and Features of Conducting Forensic Investigations of Construction Sites Exposed to Seismic, Explosive and Shock Air Waves**

*Keywords:* forensic research; seismic explosion wave; shock air wave; dynamic loads; regulatory legal acts; modeling and reconstruction; non-destructive testing.

*Abstract.* The article is devoted to the study of the features of forensic investigations of construction sites exposed to seismic and explosive waves (SWS) and shock air waves (UHF). The paper reveals the characteristic tasks of the examination: establishing the causes of destruction, assessing damage, determining the possibility of further exploitation and establishing legally significant circumstances of the case. The complexity of the processes of wave interaction with structures, the multifactorial nature of damage, and the need for strict evidentiary strength of conclusions are emphasized. The results contribute to the unification of methods of forensic examination in the field of construction machinery and increase the objectivity of judicial decisions.

---

*T.M. Levina, L.R. Vahitova, V.V. Galkina*

### **Fiber-Optic Devices as Elements of Modern Geophysical Complexes and Systems**

*Keywords:* sensor; fiber-optic systems; interference; Bragg grating; chitosan film; polarization; measuring device.

*Abstract.* Effective monitoring of the state of geological environments and wells requires the use of reliable measurement technologies capable of operating at high temperatures, pressures, and chemical activity. Fiber-optic systems that are resistant to electromagnetic interference, corrosion, and overheating are becoming a key tool for long-term geophysical observations. Due to its properties, optical fiber allows signal transmission over long distances with minimal losses and provides high measurement sensitivity. The paper considers modern fiber-optic sensors used to record temperature, vibration and acoustic effects, and the chemical composition of the medium. Their design features and physical principles of operation are analyzed, including interference, phase and spectral methods of signal registration. Special attention is paid to the properties of quartz fiber, which ensure the reliability and safety of operation in wells and geothermal zones. The purpose of the study is to review the designs and principles of operation of fiber-optic sensors used in geophysical systems.

The research methods are a comparative analysis of literary sources, patent solutions and physical models of fiber-optic measuring technologies. The presented review provides the necessary basis for an introduction that examines in detail the advantages of fiber-optic technologies and their place in modern geophysical complexes.

---

*N.O. Kolosovsky, D.N. Leontiev*

### **Digital Transformation of Public-Private Partnership Mechanisms in the Transport Infrastructure of St. Petersburg**

*Keywords:* digitalization; transport infrastructure; public-private partnership; digital portal; St. Petersburg.

*Abstract.* This paper examines the prospects and specific cases of the application of information

---

technologies in the implementation of public-private partnership (**PPP**) projects in the transport sector of St. Petersburg. The purpose of the study is study of the potential for using digital technologies in the implementation of public-private partnerships in the transport sector of St. Petersburg and the development of proposals for their practical application. The tasks of review: to characterize key digital tools, examine the experience of their application using specific projects as examples, identify barriers to their implementation, and formulate appropriate recommendations. The hypothesis of the study is that the use of digital solutions within public-private partnerships has a positive impact on the openness, productivity, and investment climate of transport initiatives in St. Petersburg. Research methods include traditional technologies for collecting and analyzing information and processing statistical data. Qualitative methods used in modern research are used: comparison, analysis of official statistics. The ratings and analytics data were analyzed quantitatively. The conclusion is that the integration of digital solutions into public-private partnership projects facilitates the creation of an advanced urban transport system, which positively impacts the standard of living of city residents and the attractiveness of the region for investors.

---

*A.A. Saraev*

### **Multifactorial Analysis for Managing Marketing Channels of Industrial Products**

*Keywords:* industrial products; promotion channels; multivariate analysis; machine learning.

*Abstract.* In a highly competitive environment, the effective promotion of industrial products requires a shift from traditional methods to data-driven management. A key challenge is the difficulty in assessing the contribution of individual factors and marketing channels to the final financial result. This paper develops and tests a methodology for enhancing the efficiency of industrial product promotion based on multifactorial analysis and machine learning techniques. The proposed approach was tested for managing marketing channels of metrological equipment. The identified trends establish the key drivers of efficiency in promoting industrial products.

---

*N.A. Safonova, E.N. Gorlacheva*

### **Integration of the Digital Assistant into the Knowledge Management System**

*Keywords:* digital assistant; knowledge management system; artificial intelligence; machine learning; digital transformation.

*Abstract.* The study examines the process of integrating a digital assistant into a knowledge management system as a key element of business digital transformation. The aim of the work is to systematize the stages of implementing a digital assistant in a knowledge management system and to develop practical recommendations for enterprises. The research is based on an analysis of successful cases from Russian companies where the implementation of artificial intelligence, machine learning, and natural language processing technologies has optimized business processes, reduced time expenditures, and improved the quality of managerial decisions. A combination of complementary research methods was applied to conduct a comprehensive analysis of the digital assistant integration process: comparative analysis, theoretical and analytical approach, case study analysis. The author systematizes the stages of digital assistant implementation into a knowledge management system, including preparation, design, development, deployment, as well as support and scaling, emphasizing the importance of each stage for successful integration. Special attention is paid to system adaptation to organizational specifics, employee training, and continuous performance monitoring. The research findings will be valuable for company executives, IT specialists, and managers responsible for business process digitalization, as they provide a clear understanding of how to implement a digital assistant in a knowledge management system to enhance operational efficiency and organizational innovation potential.

### **Managing Digital Transformation of Light Industry Enterprises**

*Keywords:* light industry; import substitution; strategic development; digital technologies; digital production; digital transformation; industrial enterprise.

*Abstract.* The article discusses the challenges of managing the digital transformation of light industry enterprises. The purpose of this study is to analyze the problems associated with the digital transformation of industrial enterprises in the textile and light industry sector. Through a systematic analysis and expert survey, the article identifies the main risks and challenges in managing the digital transformation of textile and light industry enterprises. It also identifies the reasons for the slow digitalization of business processes and the specific features of the textile and light industry sector that have a significant impact on digital transformation processes. It is concluded that managing digital transformation is becoming a complex process that requires well-thought-out actions, highly qualified specialists, significant investments, and most importantly, the desire and motivation of managers.

---

## СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ List of Authors

**И.В. ЗАЙЦЕВА**

кандидат физико-математических наук, заведующий кафедрой высшей математики и физики Российского государственного гидрометеорологического университета, г. Санкт-Петербург

**E-mail:** irina.zaitseva.stv@yandex.ru

**I.V. ZAITSEVA**

Candidate of Science (Physics and Mathematics), Head of the Department of Higher Mathematics and Physics, Russian State Hydrometeorological University, St. Petersburg

**E-mail:** irina.zaitseva.stv@yandex.ru

**О.Н. НИКУЛИНА**

кандидат экономических наук, доцент кафедры экономики, управления и информационных технологий Невинномысского государственного гуманитарно-технического института, г. Невинномысск

**E-mail:** olgapivneva-026@yandex.ru

**O.N. 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

**О.С. КАРНАДУД**

кандидат технических наук, доцент кафедры управления и экономики социально-культурной сферы Кемеровского государственного института культуры, г. Кемерово

**E-mail:** karnadudos@mail.ru

**O.S. KARNADUD**

Candidate of Science (Engineering), Associate Professor, Department of Management and Economics of the Socio-Cultural Sphere, Kemerovo State Institute of Culture, Kemerovo

**E-mail:** karnadudos@mail.ru

**С.Е. КУЗЕНКО**

кандидат исторических наук, доцент кафедры информационных технологий Института нефтепереработки и нефтехимии Уфимского государственного нефтяного технического университета (филиала), г. Салават

**E-mail:** tsyganash69@mail.ru

**S.E. KUZENKO**

Candidate of Science (History), Associate Professor, Department of Information Technology, Institute of Oil Refining and Petrochemistry, Ufa State Petroleum Technological University (branch), Salavat

**E-mail:** tsyganash69@mail.ru

**П.А. ЛОТАРЕВ**

студент Института нефтепереработки и нефтехимии Уфимского государственного нефтяного технического университета (филиала), г. Салават

**E-mail:** p\_lotarev@mail.ru

**P.A. LOTAREV**

Student, Institute of Oil Refining and Petrochemistry, Ufa State Petroleum Technological University (branch), Salavat

**E-mail:** p\_lotarev@mail.ru

**А.В. АМЕНИЦКИЙ**

аспирант Санкт-Петербургского государственного электротехнического университета «ЛЭТИ» имени В.И. Ульянова (Ленина), г. Санкт-Петербург

**E-mail:** arbat365@mail.ru

**A.V. AMENITSKY**

Postgraduate Student, St. Petersburg Electrotechnical University "LETI" named after V.I. Ulyanov (Lenin), St. Petersburg

**E-mail:** arbat365@mail.ru

<p><b>Е.Г. ВОРОБЬЕВ</b>  доктор технических наук, профессор Санкт-Петербургского государственного электротехнического университета «ЛЭТИ» имени В.И. Ульянова (Ленина), г. Санкт-Петербург  <b>E-mail:</b> vrbyug@mail.ru</p>	<p><b>E.G. VOROBYEV</b>  Doctor of Engineering, Professor, St. Petersburg Electrotechnical University "LETI" named after V.I. Ulyanova (Lenina), St. Petersburg  <b>E-mail:</b> vrbyug@mail.ru</p>
<p><b>И.В. АБРАМОВ</b>  доктор технических наук, доцент кафедры технологии и организации строительного производства Национального исследовательского Московского государственного строительного университета, г. Москва  <b>E-mail:</b> AbramovIL@mgsu.ru</p>	<p><b>I.V. ABRAMOV</b>  Doctor of Engineering, Associate Professor, Department of Technology and Organization of Construction Production, National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow  <b>E-mail:</b> AbramovIL@mgsu.ru</p>
<p><b>А.А. ТИХОНОВ</b>  студент Национального исследовательского Московского государственного строительного университета, г. Москва  <b>E-mail:</b> 9107844000@mail.ru</p>	<p><b>A.A. TIKHONOV</b>  Student, National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow  <b>E-mail:</b> 9107844000@mail.ru</p>
<p><b>В.С. ГОЛИЦЫН</b>  студент Национального исследовательского Московского государственного строительного университета, г. Москва  <b>E-mail:</b> golytsyn137@mail.ru</p>	<p><b>V.S. GOLITSYN</b>  Student, National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow  <b>E-mail:</b> golytsyn137@mail.ru</p>
<p><b>Д.А. СИДОРЕНКО</b>  студент Национального исследовательского Московского государственного строительного университета, г. Москва  <b>E-mail:</b> Sidorenkodim100800@gmail.com</p>	<p><b>D.A. SIDORENKO</b>  Student, National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow  <b>E-mail:</b> Sidorenkodim100800@gmail.com</p>
<p><b>А.Ю. ГОРЯЧКИНА</b>  старший преподаватель кафедры инженерной графики Московского государственного технического университета имени Н.Э. Баумана (национального исследовательского университета), г. Москва  <b>E-mail:</b> agoryachkina@mail.ru</p>	<p><b>A.YU. GORYACHKINA</b>  Senior Lecturer, Department of Engineering Graphics, Bauman Moscow State Technical University (National Research University), Moscow  <b>E-mail:</b> agoryachkina@mail.ru</p>
<p><b>О.М. КОРЯГИНА</b>  старший преподаватель кафедры инженерной графики Московского государственного технического университета имени Н.Э. Баумана (национального исследовательского университета), г. Москва  <b>E-mail:</b> selina59@mail.ru</p>	<p><b>O.M. KORYAGINA</b>  Senior Lecturer, Department of Engineering Graphics, Bauman Moscow State Technical University (National Research University), Moscow  <b>E-mail:</b> selina59@mail.ru</p>

<p><b>Н.Г. СУРКОВА</b> кандидат педагогических наук, доцент кафедры инженерной графики Московского государственного технического университета имени Н.Э. Баумана (национального исследовательского университета), г. Москва <b>E-mail:</b> ninasurok@yandex.ru</p>	<p><b>N.G. SURKOVA</b> Candidate of Science (Pedagogy), Associate Professor, Department of Engineering Graphics, Bauman Moscow State Technical University (National Research University), Moscow <b>E-mail:</b> ninasurok@yandex.ru</p>
<p><b>С.А. ЧУПИН</b> кандидат технических наук, доцент кафедры прикладных компетенций в области цифровых технологий Санкт-Петербургского горного университета императрицы Екатерины II, г. Санкт-Петербург <b>E-mail:</b> Chupin_SA@pers.spmi.ru</p>	<p><b>S.A. CHUPIN</b> Candidate of Science (Engineering), Associate Professor, Department of Applied Competencies in Digital Technologies, Saint Petersburg Mining University named after Empress Catherine II, Saint Petersburg <b>E-mail:</b> Chupin_SA@pers.spmi.ru</p>
<p><b>А.И. ИСАЕВ</b> кандидат технических наук, доцент кафедры технического черчения и начертательной геометрии Санкт-Петербургского горного университета императрицы Екатерины II, г. Санкт-Петербург <b>E-mail:</b> gafarova.vika@bk.ru</p>	<p><b>A.I. ISAEV</b> Candidate of Science (Engineering), Associate Professor, Department of Technical Drawing and Descriptive Geometry, Saint Petersburg Mining University named after Empress Catherine II, Saint Petersburg <b>E-mail:</b> gafarova.vika@bk.ru</p>
<p><b>Д.С. ЛЕВАШОВ</b> кандидат технических наук, доцент кафедры технического черчения и начертательной геометрии Санкт-Петербургского горного университета императрицы Екатерины II, г. Санкт-Петербург <b>E-mail:</b> Levashov_DS@pers.spmi.ru</p>	<p><b>D.S. LEVASHOV</b> Candidate of Science (Engineering), Associate Professor, Department of Technical Drawing and Descriptive Geometry, Saint Petersburg Mining University named after Empress Catherine II, Saint Petersburg <b>E-mail:</b> Levashov_DS@pers.spmi.ru</p>
<p><b>М.В. НАТЧУК</b> генеральный директор ООО «СКАДИ Технологии», г. Тюмень <b>E-mail:</b> maksim@natchuk.ru</p>	<p><b>M.V. NATCHUK</b> General Director, SKADI Technologies LLC, Tyumen <b>E-mail:</b> maksim@natchuk.ru</p>
<p><b>В.В. ШВЕЦОВА</b> кандидат технических наук, доцент кафедры начертательной геометрии и инженерной графики Санкт-Петербургского государственного архитектурно-строительного университета, г. Санкт-Петербург <b>E-mail:</b> vikt.schvetzova2012@yandex.ru</p>	<p><b>V.V. SHVETSOVA</b> Candidate of Science (Engineering), Associate Professor, Department of Descriptive Geometry and Engineering Graphics, Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering, Saint Petersburg <b>E-mail:</b> vikt.schvetzova2012@yandex.ru</p>
<p><b>О.Н. ЛЕОНОВА</b> кандидат технических наук, доцент кафедры начертательной геометрии и инженерной графики Санкт-Петербургского государственного архитектурно-строительного университета, г. Санкт-Петербург <b>E-mail:</b> onl60@mail.ru</p>	<p><b>O.N. LEONOVA</b> Candidate of Science (Engineering), Associate Professor, Department of Descriptive Geometry and Engineering Graphics, Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering, Saint Petersburg <b>E-mail:</b> onl60@mail.ru</p>

---

**Д.В. РЕШЕТОВ**

ассистент Высшей школы автоматизации и робототехники Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого, г. Санкт-Петербург

**E-mail:** pvclol@yandex.ru

**D.V. RESHETOV**

Assistant, Higher School of Automation and Robotics, Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, Saint Petersburg

**E-mail:** pvclol@yandex.ru

**В.А. ДЬЯЧЕНКО**

доктор технических наук, профессор Высшей школы автоматизации и робототехники, Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого, г. Санкт-Петербург

**E-mail:** dyachenko\_va@spbstu.ru

**V.A. DYACHENKO**

Doctor of Engineering, Professor, Higher School of Automation and Robotics, Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, Saint Petersburg

**E-mail:** dyachenko\_va@spbstu.ru

**Н.С. ФИЛАТОВ**

аспирант Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого, инженер-программист искусственного интеллекта 1-кат. ООО «Медицинские скрининг системы», г. Санкт-Петербург

**E-mail:** niklphantom@yandex.ru

**N.S. FILATOV**

Postgraduate Student, Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, Category 1 Artificial Intelligence Software Engineer, Medical Screening Systems LLC, St. Petersburg

**E-mail:** niklphantom@yandex.ru

**А.В. БАХШИЕВ**

кандидат технических наук, доцент Высшей школы автоматизации и робототехники Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого, г. Санкт-Петербург

**E-mail:** bakhshiev\_av@spbstu.ru

**A.V. BAKHSHIEV**

Candidate of Science (Engineering), Associate Professor, Higher School of Automation and Robotics, Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, St. Petersburg

**E-mail:** bakhshiev\_av@spbstu.ru

**А.Е. БРОМ**

доктор технических наук, профессор кафедры промышленной логистики Московского государственного технического университета имени Н.Э. Баумана (национального исследовательского университета), г. Москва

**E-mail:** allabrom@bmstu.ru

**A.E. BROM**

Doctor of Engineering, Professor, Department of Industrial Logistics, Bauman Moscow State Technical University (National Research University), Moscow

**E-mail:** allabrom@bmstu.ru

**Э.Р. ЖДАНОВ**

кандидат физико-математических наук, декан факультета Интернет-профессий Московского финансово-промышленного университета «Синергия», г. Москва

**E-mail:** zhdanov@ufanet.ru

**E.R. ZHDANOV**

Candidate of Science (Physics and Mathematics), Dean of the Faculty of Internet Professions, Moscow Financial and Industrial University "Synergy", Moscow

**E-mail:** zhdanov@ufanet.ru

**Р.А. ЯФИЗОВА**

кандидат педагогических наук, старший научный сотрудник МИРЭА – Российского технологического университета, г. Москва

**E-mail:** regina.yafizova@mail.ru

**R.A. YAFIZOVA**

Candidate of Science (Pedagogy), Senior Researcher, MIREA – Russian Technological University, Moscow

**E-mail:** regina.yafizova@mail.ru

<p><b>О.С. ХАРИНА</b> кандидат экономических наук, декан факультета Технологического предпринимательства Московского финансово-промышленного университета «Синергия», г. Москва <b>E-mail:</b> olgakharina12@yandex.ru</p>	<p><b>O.S. KHARINA</b> Candidate of Science (Economics), Dean of the Faculty of Technological Entrepreneurship, Moscow Financial and Industrial University "Synergy", Moscow <b>E-mail:</b> olgakharina12@yandex.ru</p>
<p><b>А.В. КРЮКОВ</b> инженер лаборатории «СВЧ техника и радиопоглощающие покрытия» МИРЭА – Российского технологического университета, г. Москва <b>E-mail:</b> regina.yafizova@mail.ru</p>	<p><b>A.V. KRYUKOV</b> Engineer, Microwave Technology and Radar-Absorbing Coatings Laboratory, MIREA – Russian Technological University, Moscow <b>E-mail:</b> regina.yafizova@mail.ru</p>
<p><b>М.Н. МАГОМЕДОВ</b> кандидат экономических наук, профессор кафедры проектной деятельности в медиа-индустрии Санкт-Петербургского государственного института кино и телевидения, доцент Санкт-Петербургского государственного электротехнического университета «ЛЭТИ» имени В.И. Ульянова (Ленина), г. Санкт-Петербург <b>E-mail:</b> m.n.magomedov@mail.ru</p>	<p><b>M.N. MAGOMEDOV</b> Candidate of Science (Economics), Professor, Department of Project Activities in the Media Industry, St. Petersburg State Institute of Film and Television, Associate Professor, ETU "LETI" named after V.I. Ulyanov (Lenin), St. Petersburg <b>E-mail:</b> m.n.magomedov@mail.ru</p>
<p><b>Е.А. ПРЫТКОВА</b> старший преподаватель Высшей школы промышленной инженерии Тихоокеанского государственного университета, г. Хабаровск <b>E-mail:</b> evgeniafru@yandex.ru</p>	<p><b>E.A. PRYTKOVA</b> Senior Lecturer, Graduate School of Industrial Engineering, Pacific National University, Khabarovsk <b>E-mail:</b> evgeniafru@yandex.ru</p>
<p><b>В.М. ДАВЫДОВ</b> доктор технических наук, профессор Высшей школы промышленной инженерии Тихоокеанского государственного университета, г. Хабаровск <b>E-mail:</b> davellut@mail.ru</p>	<p><b>V.M. DAVYDOV</b> Doctor of Engineering, Professor, Graduate School of Industrial Engineering, Pacific National University, Khabarovsk <b>E-mail:</b> davellut@mail.ru</p>
<p><b>М.А. СВЕТЛАКИНА</b> кандидат технических наук, доцент кафедры управления качеством Пензенского государственного университета архитектуры и строительства, г. Пенза <b>E-mail:</b> adikaevka_01@mail.ru</p>	<p><b>M.A. SVETLAKINA</b> Candidate of Science (Engineering), Associate Professor, Department of Quality Management, Penza State University of Architecture and Construction, Penza <b>E-mail:</b> adikaevka_01@mail.ru</p>
<p><b>Д.Д. КРАМОР</b> магистрант Пензенского государственного университета архитектуры и строительства, г. Пенза <b>E-mail:</b> adikaevka_01@mail.ru</p>	<p><b>D.D. KRAMOR</b> Master's Student, Penza State University of Architecture and Construction, Penza <b>E-mail:</b> adikaevka_01@mail.ru</p>

<p><b>А.В. СМІРНОВ</b>  ассистент кафедры промышленной логистики Московского государственного технического университета имени Н.Э. Баумана (национального исследовательского университета), г. Москва  <b>E-mail:</b> allabrom@bmstu.ru</p>	<p><b>A.V. SMIRNOV</b>  Assistant Lecturer, Department of Industrial Logistics, Bauman Moscow State Technical University (National Research University), Moscow  <b>E-mail:</b> allabrom@bmstu.ru</p>
<p><b>А.В. ЧАБАНЕНКО</b>  кандидат технических наук, доцент Института фундаментальной подготовки и технологических инноваций Санкт-Петербургского государственного университета аэрокосмического приборостроения, г. Санкт-Петербург  <b>E-mail:</b> a@chabanenko.ru</p>	<p><b>A.V. CHABANENKO</b>  Candidate of Science (Engineering), Associate Professor, Institute of Fundamental Training and Technological Innovation, St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation, St. Petersburg  <b>E-mail:</b> a@chabanenko.ru</p>
<p><b>Д.Ф. САВИН</b>  аспирант Санкт-Петербургского государственного университета аэрокосмического приборостроения, г. Санкт-Петербург  <b>E-mail:</b> a@chabanenko.ru</p>	<p><b>D.F. SAVIN</b>  Postgraduate Student, St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation, St. Petersburg  <b>E-mail:</b> a@chabanenko.ru</p>
<p><b>М.Д. РАССЫХАЕВА</b>  аспирант, ассистент кафедры физики Санкт-Петербургского государственного университета аэрокосмического приборостроения, г. Санкт-Петербург  <b>E-mail:</b> a@chabanenko.ru</p>	<p><b>M.D. RASSYKHAEVA</b>  Postgraduate Student, Assistant Professor, Department of Physics, St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation, St. Petersburg  <b>E-mail:</b> a@chabanenko.ru</p>
<p><b>Е.В. ШАЛОМОВА</b>  кандидат педагогических наук, доцент кафедры иностранных языков профессиональной коммуникации Владимирского государственного университета имени А.Г. и Н.Г. Столетовых, г. Владимир  <b>E-mail:</b> shalomova2013@mail.ru</p>	<p><b>E.V. SHALOMOVA</b>  Candidate of Science (Pedagogy), Associate Professor, Department of Foreign Languages and Professional Communication, Vladimir State University named after A.G. and N.G. Stoletov, Vladimir  <b>E-mail:</b> shalomova2013@mail.ru</p>
<p><b>И.С. АНТИПКИН</b>  магистрант Владимирского государственного университета имени А.Г. и Н.Г. Столетовых, г. Владимир  <b>E-mail:</b> loke2811@mail.ru</p>	<p><b>I.S. ANTIPKIN</b>  Master's Student, Vladimir State University named after A.G. and N.G. Stoletov, Vladimir  <b>E-mail:</b> loke2811@mail.ru</p>
<p><b>П.А. ШМАТОВА</b>  студент Национального исследовательского Московского государственного строительного университета, г. Москва  <b>E-mail:</b> shmatovap1331@gmail.com</p>	<p><b>P.A. SHMATOVA</b>  Student, National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow  <b>E-mail:</b> shmatovap1331@gmail.com</p>

<p><b>В.А. АКРИСТИНИЙ</b> кандидат технических наук, доцент кафедры организации строительства и управления недвижимостью Национального исследовательского Московского государственного строительного университета, г. Москва <b>E-mail:</b> 7824666@mail.ru</p>	<p><b>V.A. AKRISTINIY</b> Candidate of Science (Engineering), Associate Professor, Department of Construction Organization and Real Estate Management, National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow <b>E-mail:</b> 7824666@mail.ru</p>
<p><b>Т.М. ЛЕВИНА</b> кандидат технических наук, доцент кафедры информационных технологий Института нефтепереработки и нефтехимии Уфимского государственного нефтяного технического университета (филиала), г. Салават <b>E-mail:</b> tattin76@mail.ru</p>	<p><b>T.M. LEVINA</b> Candidate of Science (Engineering), Associate Professor, Department of Information Technology, Institute of Oil Refining and Petrochemistry, Ufa State Petroleum Technological University (branch), Salavat <b>E-mail:</b> tattin76@mail.ru</p>
<p><b>Л.Р. ВАХИТОВА</b> магистрант Института нефтепереработки и нефтехимии Уфимского государственного нефтяного технического университета (филиала), г. Салават <b>E-mail:</b> leyssn.vakhitova@gmail.com</p>	<p><b>L.R. VAKHITOVA</b> Master's Student, Institute of Oil Refining and Petrochemistry, Ufa State Petroleum Technological University (branch), Salavat <b>E-mail:</b> leyssn.vakhitova@gmail.com</p>
<p><b>В.В. ГАЛКИНА</b> магистрант Института нефтепереработки и нефтехимии Уфимского государственного нефтяного технического университета (филиала), г. Салават <b>E-mail:</b> vika_j.ok@icloud.com</p>	<p><b>V.V. GALKINA</b> Master's Student, Institute of Oil Refining and Petrochemistry, Ufa State Petroleum Technological University (branch), Salavat <b>E-mail:</b> vika_j.ok@icloud.com</p>
<p><b>Н.О. КОЛОСОВСКИЙ</b> студент Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого, г. Санкт-Петербург <b>E-mail:</b> nikita2003g@icloud.com</p>	<p><b>N.O. KOLOSOVSKY</b> Student, Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, St. Petersburg <b>E-mail:</b> nikita2003g@icloud.com</p>
<p><b>Д.Н. ЛЕОНТЬЕВ</b> студент Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого, г. Санкт-Петербург <b>E-mail:</b> alain2000@mail.ru</p>	<p><b>D.N. LEONTYEV</b> Student, Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, St. Petersburg <b>E-mail:</b> alain2000@mail.ru</p>
<p><b>А.А. САРАЕВ</b> аспирант Московского государственного технического университета имени Н.Э. Баумана (национального исследовательского университета), г. Москва <b>E-mail:</b> saraevaa@bmstu.ru</p>	<p><b>A.A. SARAEV</b> Postgraduate Student, Bauman Moscow State Technical University (National Research University), Moscow <b>E-mail:</b> saraevaa@bmstu.ru</p>

---

**Н.А. САФОНОВА**

старший преподаватель Московского государственного технического университета имени Н.Э. Баумана (национального исследовательского университета), г. Москва

**E-mail:** nsafonova@bmstu.ru

**N.A. SAFONOVA**

Senior Lecturer, Bauman Moscow State Technical University (National Research University), Moscow

**E-mail:** nsafonova@bmstu.ru

**Е.Н. ГОРЛАЧЕВА**

доктор экономических наук, доцент Московского государственного технического университета имени Н.Э. Баумана (национального исследовательского университета), г. Москва

**E-mail:** nsafonova@bmstu.ru

**E.N. GORLACHEVA**

Doctor of Economics, Associate Professor, Bauman Moscow State Technical University (National Research University), Moscow

**E-mail:** nsafonova@bmstu.ru

**А.В. ДЕМИДОВ**

доктор технических наук, профессор, ректор Санкт-Петербургского государственного университета промышленных технологий и дизайна, г. Санкт-Петербург

**E-mail:** rector@sutd.ru

**A.V. DEMIDOV**

Doctor of Engineering, Professor, Rector of the Saint Petersburg State University of Industrial Technologies and Design, Saint Petersburg

**E-mail:** rector@sutd.ru

**П.А. ШИКОВ**

доктор технических наук, доцент, профессор кафедры экономики и финансов Санкт-Петербургского государственного университета промышленных технологий и дизайна, г. Санкт-Петербург

**E-mail:** rector@sutd.ru

**P.A. SHIKOV**

Doctor of Engineering Sciences, Associate Professor, Professor in the Department of Economics and Finance, Saint Petersburg State University of Industrial Technologies and Design, Saint Petersburg

**E-mail:** rector@sutd.ru

**Ю.А. ШИКОВ**

аспирант Санкт-Петербургского государственного университета промышленных технологий и дизайна, г. Санкт-Петербург

**E-mail:** rector@sutd.ru

**YU.A. SHIKOV**

Postgraduate Student, Saint Petersburg State University of Industrial Technologies and Design, Saint Petersburg

**E-mail:** rector@sutd.ru

---

**НАУКА И БИЗНЕС: ПУТИ РАЗВИТИЯ**  
**SCIENCE AND BUSINESS: DEVELOPMENT WAYS**  
**№ 11(173) 2025**  
**НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ**

---

Подписано в печать 23.11.2025 г.  
Формат журнала 60×84/8  
Усл. печ. л. 22,31. Уч.-изд. л. 12,04.  
Тираж 1000 экз.