

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РФ

**Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования**

**«ЗАПОЛЯРНЫЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ ИМ. Н.М. ФЕДОРОВСКОГО»**

НАУЧНЫЙ ВЕСТНИК АРКТИКИ

№21

Норильск 2026

НАУЧНЫЙ ВЕСТНИК АРКТИКИ

НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

№21

Издатель:

ФГБОУ ВО «Заполярный государственный
университет им. Н.М. Федоровского»

Учредитель:

ФГБОУ ВО «Заполярный государственный
университет им. Н.М. Федоровского»

Журнал издается с 2007 года

**Включен в Российский индекс
научного цитирования (РИНЦ)**

Входит в базу ВИНИТИ

Адрес редакции:

663310, г. Норильск, ул. 50 лет Октября, 7
ФГБОУ ВО «Заполярный государственный
университет им. Н.М. Федоровского»
Тел.. 8(3919) 45-70-41, доб. 144

E-mail: rio@norvuz.ru



При оформлении обложки использовано
фото *А. Харитонов*

За достоверность сведений, изложенных
в статьях, ответственность несут авторы.

Мнение редакции может не совпадать
с мнением авторов.

Перепечатка, все виды копирования
и воспроизведение материалов,
публикуемых в журнале, возможны
только с письменного разрешения
редакции.

При перепечатке ссылка на журнал
«Научный вестник Арктики»
обязательна.

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР

Тарасевич Аркадий Викторович – кандидат химических наук, проректор по научной работе

и международной деятельности Заполярного государственного университета им. Н.М. Федоровского

ЗАМЕСТИТЕЛЬ ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА

Демченко Олег Николаевич – кандидат философских наук, доцент, доцент кафедры философии, истории и иностранных языков Заполярного государственного университета им. Н.М. Федоровского

ЧЛЕНЫ РЕДКОЛЛЕГИИ

Беляев Игорь Сергеевич – кандидат экономических наук, заведующий кафедрой информационных систем и технологий Заполярного государственного университета им. Н.М. Федоровского

Дарбинян Тигран Петросович – кандидат технических наук, директор Департамента горного производства ЗФ ПАО «ГМК «Норильский никель»

Добжанская Оксана Эдуардовна – доктор искусствоведения, профессор кафедры искусствоведения Арктического государственного института культуры и искусства (г. Якутск)

Елесин Михаил Анатольевич – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой строительства и теплогазоводоснабжения Заполярного государственного университета им. Н.М. Федоровского

Крупнов Леонид Владимирович – кандидат технических наук, доцент, главный металлург – начальник управления технологического планирования и контроля Научно-технического департамента ЗФ ПАО «ГМК «Норильский никель»

Платов Сергей Иосифович – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой машин и технологий обработки давлением и машиностроения Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова (г. Магнитогорск)

Разгон Антон Викторович – кандидат экономических наук, доцент кафедры экономики и финансов Финансового университета при Правительстве Российской Федерации, Алтайский филиал (г. Барнаул)

Федоров Андрей Аполлинарьевич – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой технологических машин и оборудования Заполярного государственного университета им. Н.М. Федоровского

Федотова Ольга Дмитриевна – доктор педагогических наук, профессор, заведующий кафедрой «Начальное образование» Донского государственного технического университета (г. Ростов-на-Дону)

Черемисин Алексей Александрович – кандидат географических наук, доцент, декан горно-технологического факультета Заполярного государственного университета им. Н.М. Федоровского

СОДЕРЖАНИЕ / CONTENTS

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

TECHNICAL SCIENCES

Губина Н.А., Акберова А.З., Иванова Е.П.

Анализ проектирования, модернизации
и эксплуатации систем водоотведения
в условиях Крайнего Севера
Gubina N.A., Akberova A.Z., Ivanova E.P.
Analysis of design, modernization and operation
of water disposition systems in the Far North..... 5

Носова О.В., Кошкина Д.В.

Влияние состава шихты на продукт
пробирной плавки
Nosova O.V., Koshkina D.V.
Behavior of fire assay flux materials
in the determination of precious metals..... 13

Лисиченко П.Е.

Современные методы анализа отложений
в трубопроводах систем горячего
водоснабжения магистральных тепловых
сетей с учетом термодинамических
процессов многофазного потока
Lisichenko P.Y.
Modern methods for analyzing deposits in
pipelines of hot water supply systems of main
heat networks considering thermodynamic pro-
cesses of multiphase flow..... 24

Елисеев Н.О., Кочетков М.В.

Особенности эксплуатации и модернизации
автоматизированной системы наружного
освещения на примере Норильского
промышленного района
Yelisseyev N.O., Kochetkov M.V.
Features of operation and modernization of
an automated outdoor lighting system
on the example of the Norilsk Industrial area..... 29

Смирнов К.М.

Комплексный анализ факторов аварийности
при нештатных режимах работы турбоустановок
электрических станций: обзор современных
методов и систем мониторинга
Smirnov K.M.
Comprehensive analysis of accident risk factors
in case of abnormal operating modes of turbine
installations electric stations: overview of modern
methods and monitoring systems..... 45

**Федоров А.А., Кармановская Н.В.,
Хаджакаев Д.И.**

Ключевые аспекты разработки
оптимизации технологий производства
металлургических машин и оборудования
Fedorov A.A., Karmanovskaya N.V., Khadzhakaev D.I.
Key aspects of the development and optimization
of production technologies for metallurgical
machinery and equipment..... 55

**Глубокова Л.Г., Лаговская Е.В.,
Фидаров Б.Ф.**

Проблемы и перспективы применения
сгустителей в горно-обогатительной отрасли
*Glubokova L.G., Lagovskaya E.V.,
Fidarov B.F.*
Problems and prospects of using thickeners
in the mining and processing industry.....63

СОЦИОГУМАНИТАРНЫЕ НАУКИ

HUMANITIES SCIENCES

Алмазова А.А.

Формирование бренда работодателя как
инструмента конкурентной борьбы за таланты
Almazova A.A.
Creating an employer's brand as a tool for
competing for talent.....68

Анисимов Г.В., Доменко Ю.Ю.

Отраслевой анализ федерального и
муниципального обеспечения г. Норильск
как компоненты успешного присутствия
в Арктической зоне
Anisimov G.V., Domenko Y.Y.
Sectoral analysis of federal and municipal staffing
issues in Norilsk as a component of successful
presence in the arctic zone..... 75

Лушников Г.А., Илларионова О.Г.

Адаптация первокурсников технического вуза
Lushnikova G.A., Ilarionova O.G.
Adaptation of first-year students of technical
university..... 83

Костин Е.А., Доменко Ю.Ю.

Роль бизнес-аналитики в повышении
эффективности бизнес-планирования
малого бизнеса
Kostin E.A., Domenko Y.Y.
The role of business analytics in improving
the efficiency of small business business planning.....88

Земзюлина Н.Г., Доменко Ю.Ю., Глубокова Л.Г.

Эндаумент-фонд как инструмент
эффективного взаимодействия высших
учебных заведений и субъектов малого бизнеса
Zemzyulina N.G., Domenko Y.Y., Glubokova L.G.
Endowment funds as a tool for effective interaction
between higher education institutions
and small businesses.....93

Научный вестник Арктики. 2026. №21. С. 5–12.
Scientific Bulletin of the Arctic. 2026;(21):5–12.

Технические науки

Научная статья
УДК 628.2/3(571.51)
doi: 10.52978/25421220_2026_21_5–12

**АНАЛИЗ ПРОЕКТИРОВАНИЯ, МОДЕРНИЗАЦИИ И ЭКСПЛУАТАЦИИ
СИСТЕМ ВОДООТВЕДЕНИЯ В УСЛОВИЯХ КРАЙНЕГО СЕВЕРА**

Губина Наталья Анатольевна

Заполярный государственный университет им. Н.М. Федоровского, Норильск, Россия
E-mail: GubinaNA@norvuz.ru

Акберова Алия Закировна

Заполярный государственный университет им. Н.М. Федоровского, Норильск, Россия
E-mail: aaliyaakb@yandex.ru

Иванова Елизавета Петровна

Заполярный государственный университет им. Н.М. Федоровского, Норильск, Россия
E-mail: elizavetaivanova499@gmail.com

Аннотация. Проектные решения зданий с учетом коммунальных сетей для Севера должны учитывать климатические условия данного региона, сложности при модернизации и эксплуатации систем водоотведения. Рассмотрена система комплексного подхода водоотведения городов Дудинки и Норильска. Изложен анализ проектирования, модернизации и эксплуатации систем водоотведения в условиях Крайнего Севера на вечномёрзлых грунтах. Даны рекомендации по проектированию систем водоотведения в городах на Крайнем Севере.

Ключевые слова: водоотведение, Крайний Север, модернизация, очистка сточных вод, проектирование, надежность, эксплуатация.

Для цитирования: Губина Н.А., Акберова А.З., Иванова Е.П. Анализ проектирования, модернизации и эксплуатации систем водоотведения в условиях Крайнего Севера // Научный вестник Арктики. 2026. №21. С. 5–12. https://doi.org/10.52978/25421220_2026_21_5–12.

Technical sciences

Original article

**ANALYSIS OF DESIGN, MODERNIZATION AND OPERATION
OF WATER DISPOSITION SYSTEMS IN THE FAR NORTH**

Natalya A. Gubina

Fedorovsky Polar State University, Norilsk, Russia
E-mail: GubinaNA@norvuz.ru

Aliya Z. Akberova

Fedorovsky Polar State University, Norilsk, Russia
E-mail: aaliyaakb@yandex.ru

Elizaveta P. Ivanova

Fedorovsky Polar State University, Norilsk, Russia
E-mail: elizavetaivanova499@gmail.com

Abstract. Design solutions for buildings with utility networks for the North should take into account the climatic conditions of the region, the difficulties in upgrading and operating water drainage systems. The integrated approach system for water drainage in the cities of Dudinka and Norilsk is considered. An analysis of the design, modernization and operation of water drainage systems in the conditions of the Far North on permafrost soils is presented. Recommendations

are given for the design of water drainage systems in cities in the Far North. Keywords: water drainage, Far North, modernization, wastewater treatment, design, reliability, operation.

Keywords: water disposal, Far North, modernization, wastewater treatment, design, reliability, operation.

For citation: Gubina N.A., Akberova A.Z., Ivanova E.P. Analysis of design, modernization and operation of water disposal systems in the Far North. *Scientific Bulletin of the Arctic*. 2026;(21):5–12. (In Russ.). https://doi.org/10.52978/25421220_2026_21_5-12.

Введение. Водоотведение является одной из систем обеспечения нормального функционирования жизнедеятельности людей, предприятий и городов. Сбой в данной системе может привести к ухудшению работы коммунального хозяйства и выбросам вредных токсично опасных веществ, что наносит значительный ущерб окружающей среде и жителям. В условиях Крайнего Севера, где и так экстремально сложные климатические условия, важно на всех этапах (проектирования, эксплуатации и модернизации) учитывать вероятность возникновения сбоев и минимизировать их последствия.

Объектом исследования являются системы водоотведения бытовых, производственных и атмосферных сточных вод.

Цель работы: анализ проектирования, модернизации и эксплуатации систем водоотведения в условиях Крайнего Севера.

Для достижения поставленной цели были сформулированы следующие задачи:

1) обобщение информации о водах, требующих водоотведения в условиях городской застройки;

2) анализ исходных данных по водоотведению и технологии забора воды в г. Дудинка и Норильск;

3) проведение анализа и изучение видов проектирования и модернизации, конструктивных схем систем водоотведения в РФ и за рубежом;

4) изучение специфики проектирования систем водоотведения в условиях Крайнего Севера.

Многочисленные научные исследования подтверждают сложность и необходимость учитывания климатических условий Крайнего Севера уже на стадии проектирования систем водоотведения. Исследователи рассматривают разные аспекты данной тематики. Например, изучению методов проектирования на вечномёрзлых грунтах посвящены работы [1; 2], сложности, возникающие при организации очистки сточных вод представлены в [3–5], отсутствие внед-

рения систем автоматизированного мониторинга рассмотрены в [6; 7]. Все эти источники доказывают необходимость обновления систем водоотведения в малых городах с использованием новых технологий и долговечных материалов.

Также на государственном уровне уделяется должное внимание системам водоотведения. Федеральный закон «О водоснабжении и водоотведении» от 07.12.2011 №416–ФЗ в последней редакции является ключевым документом, на основе которого разрабатывают планы по организации и модернизации систем водоотведения.

Данная статья посвящена комплексному анализу проектирования, модернизации и эксплуатации систем водоотведения в условиях Крайнего Севера на примере северных территорий Красноярского края России в городах Дудинка и Норильск.

Материалы и методы исследования

Анализ и синтез. При проведении исследования применялись методы системного анализа и синтеза, в результате которых были определены ключевые особенности проектирования систем водоотведения в условиях Крайнего Севера и способы их модернизации с учетом возможности его проведения.

Расчетный метод. Для анализа эксплуатации существующих систем водоотведения был проведен расчет в соответствии с ГОСТ 27.002–89 на свойство надежности, который включает в себя безотказность, долговечность, ремонтпригодность и сохраняемость или определенные сочетания этих свойств для системы водоотведения, т.е. способность отводить воду в расчетном количестве и качестве, которое отвечает санитарно-гигиеническим нормам.

Свойство надежности рассчитывается на основании ряда показателей, учитывающих структурные элементы системы водоотведения и внешние системы электроснабжения источников перекачки воды и очистных сооружений:

1. Показатель надежности электроснабжения систем водоотведения (КНС, КОС) ($K_{\text{э}}$) характеризуется наличием или отсутствием резервного электропитания: при наличии резервного электроснабжения (или в случае отсутствия станций) $K_{\text{э}} = 1,0$; при отсутствии резервного электроснабжения при мощности станций ($\text{куб}^3/\text{ч}$): до 500 – $K_{\text{э}} = 0,8$; от 500–2000 – $K_{\text{э}} = 0,7$; свыше 2000 – $K_{\text{э}} = 0,6$.

2. Показатель соответствия пропускной способности канализационных сетей фактическим нагрузкам ($K_{\text{б}}$). Величина этого показателя определяется размером дефицита, (%): до 10 – $K_{\text{б}} = 1,0$; от 10–20 – $K_{\text{б}} = 0,8$; от 20–30 – $K_{\text{б}} = 0,6$; свыше 30 – $K_{\text{б}} = 0,3$.

3. Показатель уровня резервирования ($K_{\text{р}}$) элементов канализационной сети, характеризующийся отношением фактическим резервируемым количеством сетей к фактическому количеству участков сетей, подлежащих резервированию: от 90–100 – $K_{\text{р}} = 1,0$; от 70–90 – $K_{\text{р}} = 0,7$; от 50–70 – $K_{\text{р}} = 0,5$; от 30–50 – $K_{\text{р}} = 0,3$; менее 30 – $K_{\text{р}} = 0,2$.

4. Показатель технического состояния канализационных сетей ($K_{\text{с}}$), характеризующийся долей ветхих, подлежащих замене трубопроводов, (%): до 10 – $K_{\text{с}} = 1,0$; от 10–20 – $K_{\text{с}} = 0,8$; от 20–30 – $K_{\text{с}} = 0,6$; свыше 30 – $K_{\text{с}} = 0,5$.

5. Показатель интенсивности отказов канализационных сетей ($I_{\text{отк}}$), характеризующийся количеством вынужденных отключений участков сети с ограничением пропускной способности, вызванным отказом и его устранением за последние три года:

$$I_{\text{отк}} = \frac{n_{\text{отк}}}{3 \times S}, \quad (1)$$

где $n_{\text{отк}}$ – количество отказов за последние три года, г.; S – протяженность канализационной сети данной системы водоотведения, км.

В зависимости от интенсивности отказов ($I_{\text{отк}}$) определяется показатель надежности ($K_{\text{отк}}$): до 0,5 – $K_{\text{отк}} = 1,0$; от 0,5–0,8 – $K_{\text{отк}} = 0,8$; от 0,8–1,2 – $K_{\text{отк}} = 0,6$; свыше 1,2 – $K_{\text{отк}} = 0,5$.

6. Показатель качества водоотведения ($K_{\text{ж}}$), характеризующийся количеством жалоб потребителей воды на нарушение качества водоотведения,

$$Ж = \frac{D_{\text{жал}}}{D_{\text{сумм}}} \times 100\%, \quad (2)$$

где $D_{\text{сумм}}$ – количество зданий, подключенных к системе канализации; $D_{\text{жал}}$ – количе-

ство зданий, по которым поступили жалобы на работу системы канализации.

В зависимости от рассчитанного коэффициента ($Ж$) определяется показатель надежности ($K_{\text{ж}}$): до 0,2 – $K_{\text{ж}} = 1,0$; от 0,2–0,5 – $K_{\text{ж}} = 0,8$; от 0,5–0,8 – $K_{\text{ж}} = 0,6$; свыше 0,8 – $K_{\text{ж}} = 0,4$.

7. Показатель надежности конкретной системы водоотведения ($K_{\text{над}}$) определяется как средний по частным показателям $K_{\text{э}}$, $K_{\text{ж}}$, $K_{\text{отк}}$, $K_{\text{б}}$, $K_{\text{р}}$ и $K_{\text{с}}$:

$$K_{\text{над}} = \frac{K_{\text{э}} + K_{\text{ж}} + K_{\text{р}} + K_{\text{с}} + K_{\text{отк}} + K_{\text{б}}}{n}, \quad (3)$$

где n – число показателей, учтенных в числителе.

8. Общий показатель надежности систем водоотведения поселения городского округа (при наличии нескольких систем канализации) определяется:

$$K_{\text{над}}^{\text{сист}} = \frac{G_1 K_{\text{над}}^{\text{сист}1} + \dots + G_n K_{\text{над}}^{\text{сист}n}}{G_1 + \dots + G_n}, \quad (4)$$

где $K_{\text{над}}^{\text{сист}1}$, $K_{\text{над}}^{\text{сист}n}$ – значения показателей надежности отдельных систем водоотведения; G_1 , G_n – расчетные нагрузки отдельных систем водоотведения, $\text{м}^3/\text{г}$.

Интерпретацию от полученных показателей надежности системы водоотведения с точки зрения надежности могут быть оценены как: высоконадежные – более 0,9; надежные – 0,75–0,89; малонадежные – 0,5–0,74; ненадежные – менее 0.

Результаты и обсуждения

Проектирование систем водоотведения.

Водоотведение малых по численности населенных пунктов следует проектировать по неполной раздельной системе с централизованной схемой канализации для одного или нескольких населенных пунктов, отдельных групп зданий и производственных зон с возможностью раздельного устройства для жилой и производственной зон при технико-экономическом обосновании [8].

Климатический фактор играет ключевую роль при проектировании в условиях Крайнего Севера. Вечная мерзлота, распространенная в данном регионе, влияет и на проектирование, модернизацию и эксплуатацию системы водоотведения. Свое влияние также оказывает высокая стоимость и дефицит энергоресурсов, нехватка квалифицированных кадров, сложности при транспортировке, специфика промышленного производства, планировка насе-

ленных пунктов, мощности промышленных объектов, характеристики местных источников водоснабжения и т.д.

В условиях вечной мерзлоты проектирование их в качестве оснований строится на одном из принципов, учитывающих свойства мерзлых грунтов при оттаивании и температурном режиме трубопровода.

Принцип I – вечномерзлые грунты основания эксплуатируются в мерзлом состоянии, сохраняемом в процессе строительства в течение всего запланированного срока эксплуатации. Проектирование сетей по этому принципу осуществляется, если грунты подвержены значительному проседанию при оттаивании, и процесс таяния грунтов вокруг трубопровода способен отрицательно влиять на устойчивости расположенных вблизи зданий и сооружений, строящихся с сохранением мерзлого состояния основания.

Принцип II – вечномерзлые грунты основания используются в оттаивающем и оттаявшем состоянии. Проектирование сетей по данному принципу рекомендуется, если грунты демонстрируют незначительные осадки на всю расчетную глубину оттаивания, а здания и сооружения вдоль трассы трубопроводов располагаются на достаточном расстоянии от них или строятся с учетом возможного оттаивания вечномерзлых грунтов в их основаниях.

Выбор способа прокладки сетей должен учитывать факторы, которые не будут негативно влиять на эксплуатацию, надежность и устойчивость работы системы, предполагать дополнительные способы защиты трубопроводов в аварийных ситуациях независимо от температурного режима.

На стадии проектирования уже необходимо выбирать решения с обоснованными ТЭП с минимальными затратами во время строительных работ. Инженерные коммуникации должны быть максимально совмещены и иметь наименьшую допустимую протяженность. Несколько зданий должны быть подключены к одному вводу водопровода и числу выпусков в канализацию за счет чего сокращается количество подключений к водопроводной сети [9; 10].

Вблизи дорог вводится прокладка водопроводов и коллекторов за пределами населенного пункта, в разделительных по-

лосах между проезжими частями вдоль улиц в пределах городской застройки.

Согласно СНиП 2.04.02–84 по проектированию наружных сетей и сооружений водоснабжения и канализации в районах с вечной мерзлотой, в качестве материала водопроводных труб и напорных канализационных сетей применение железобетонных и асбестоцементных запрещено, стальные и пластиковые являются оптимальным решением, чугунные лучше использовать при подземной прокладке, а для самотечных канализационных труб допускается применение полиэтиленовых и чугунных с резиновой уплотнительной манжетой.

Демонстративно наземная прокладка трубопроводов представлена на рис. 1.



Рис. 1. Прокладка трубопроводов на Крайнем Севере [3]

Минимизировать тепловое воздействие на грунты при проектировании систем водоотведения возможно только при наземной прокладке вводов, которая отличается меньшими затратами при последующих обновлениях и считается экономически целесообразным способом. Ведь при такой прокладке достаточно проводить мероприятия по недопущению повреждения конструкций трубопровода вследствие просадки или пучения грунтов [11].

Для предотвращения замерзания водопроводных труб и обеспечения непрерывного движения воды в водоводах требуется проводить мероприятия, обозначенные на рис. 2.

В жилых домах при проектировании канализационных сетей должно учитываться влияние тепла от сетей на вечномерзлые грунты в основании зданий. Одним из таких проектных решений является применяемые на практике конструкции прокладок, осуществляемые с 1959 г. при массовой застройке г. Норильска. Отличительными особенностями являются высота

проветриваемого подполья (не менее 1,2 м), а сети располагаются в каналах перекрытия над проветриваемым подпольем, что позволяет соблюдать тепловой баланс и снизить влияние на основание здания, а также не замерзнуть самой сети.

Эксплуатация систем водоотведения. Исходные данные по системам водоотведения в городах Дудинка и Норильск представлены на рис. 3 и 4.

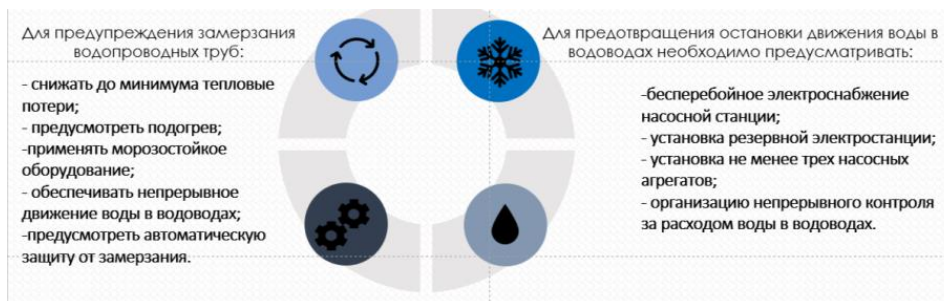


Рис. 2. Мероприятия для предотвращения замерзания труб и соблюдения режима непрерывности водного движения [4]



Рис. 3. Система водоотведения г. Дудинка [3; 4; 11]

Норильск — город в Красноярском крае, расположенный за 69 параллелью.



Рис. 4. Система водоотведения г. Норильск [3; 4; 11]

Эксплуатация систем водоотведения влияет на бесперебойность и работу без сбоев или аварийных ситуаций. Оценить это позволяет коэффициент надежности. Результаты расчетов по коэффициенту надежности систем водоотведения г. Дудинка и Норильск представлены в табл. 1 [1–4].

Таблица 1

**Результаты расчетов по коэффициенту
надежности систем водоотведения**

Наименование	K_a	K_b	K_p	K_c	$K_{отк}$	$K_{жал}$	$K_{над}$
Система водоотведения г. Дудинка	0,9	1	1	0,5	0,8	0,9	0,85
Система водоотведения г. Норильск	0,8	0,8	0,7	0,6	0,8	0,8	0,75

Общий показатель надежности систем водоотведения Дудинки 0,85, что характеризует ее как надежную, и для сохранения данного состояния или его улучшения требуется проведение работ по модернизации.

Общий показатель надежности систем водоотведения Норильска 0,75, что соответствует граничному значению между надежными и малонадежными системами водоотведения, характеризует ее как надежную, но требующую определенной незамедлительной модернизации.

При анализе приведенных результатов расчетов и опыте исследования [12–14] подтверждается, что трубопроводные сети подвержены наиболее негативному воздействию, в результате чего быстрее изнашиваются и теряют свою надежность.

Очистные сооружения также требуют стабилизации в работе, которая дестабилизируется в результате поступления токсичных веществ и сбоев в энергоснабжении. Повышение качества очистки воды является одним из ведущих направлений в развитии систем водоотведения [15; 16].

Решение данных технологических проблем старых трубопроводов и очистных сооружений возможно при их модернизации.

В условиях экстремально низких температур важно обращать внимание на недопущение замерзания канализационной системы. С этой целью увеличивать расходы воды допустимо до 20% за счет сброса воды. Техно-экономические расчеты должны обосновать эффективность данных подходов.

Модернизация систем водоотведения. Модернизация представляет собой либо по-

вышение надежности при эксплуатации трубопроводов, либо исправление ошибок, не учтенных при проектировании системы. Перед модернизацией системы водоотведения специалисты проводят оценку трубопроводов, насосных станций и очистных сооружений для выявления факторов, негативно сказывающихся на работе системы, и предлагают мероприятия для устранения причин и улучшения работы всей системы водоотведения.

К модернизации систем водоотведения относят следующие мероприятия:

- замена старых трубопроводов с учетом современных технологий и материалов, обладающих долговечностью и способствующих снижению сбоев;
- внедрение энергосберегающего оборудования на насосных станциях, что экономически обоснованно снижает расходы на эксплуатацию;
- улучшение очистных сооружений с целью повышения качества очистки сточных вод, уменьшения процента износа и недопущения негативного их влияния на окружающую среду;
- внедрение автоматизированных систем мониторинга и управления, что позволит следить за системой водоотведения в режиме реального времени и оперативно принимать меры при возникновении аварийных ситуаций.

Заключение. Таким образом, в результате исследования было определено следующее:

1. Бытовые, производственные, атмосферные сточные воды требуют эффективной и экономически обоснованной организации водоотведения в условиях Крайнего Севера

2. Системы водоотведения в городах Дудинка и Норильск являются надежными по эксплуатации, но требуют определенной модернизации.

В системе г. Дудинки высокий уровень износа канализационной сети, низкий уровень очистки сточных вод, что не позволяет сбрасывать ее в водоем рыбохозяйственного назначения, износ оборудования насосных станций до 60%, отсутствие автоматизации и диспетчеризации процессов водоотведения.

В системе г. Норильска требуется незамедлительного проведения модернизации, принятия неотложных технических реше-

ний для повышения надежности трубопроводов, снижения аварийных ситуаций и сбоев.

В обоих городах принята центральная неполная раздельная система водоотведения, прокладка сетей наземная.

3. Основные рекомендации развития городских систем водоотведения населенных пунктов в условиях Крайнего Севера:

- проведение ускоренной модернизации, улучшение качественных характеристик

сточных вод, повышение надежности при эксплуатации;

- внедрение современных доступных технологий очистки сточных вод в связи с ужесточением требований к их качеству;

- аспект на современных технологиях, устойчивых материалах и экологичности поможет создать надежные и эффективные системы, отвечающие потребностям населения и окружающей среды.

Список источников

1. Проблемы экологии и рационального использования ресурсов в суровых условиях Заполярья: монография / М.А. Елесин, Н.А. Губина, О.П. Рысева, Н.В. Кармановская, О.В. Носова. Норильск, 2019. 193 с.

2. Техническая эксплуатация зданий и сооружений на севере Красноярского края: монография. Ч. I / В.Ю. Сетков, Т.Р. Гамидов, Н.А. Губина, А.Г.-о. Керимов, И.П. Кардашев, А.А. Копылов, В.В. Копылов, В.П. Пикулев, Н.А. Прищепова, О.П. Рысева, Ж.А. Старостина. Норильск, 2005. 229 с.

3. Геселько А.М., Ушакова И.Г. Проектирование систем водоснабжения и водоотведения в суровых климатических условиях Сибири // Вестник Омского государственного аграрного университета. 2015. №4 (20). С. 71–77.

4. Шонина Н.А. Водоснабжение и водоотведение в условиях Крайнего Севера // Журнал САНТЕХНИКА. Водоснабжение и инженерные системы. 2012. №5. С. 32–44.

5. The Environmental Benchmark & Strategist, The State of the Water Industry, 2007.

6. White R.R. Building the ecological city. Cambridge: Woodhead Publishing Limited, 2002. 239 p.

7. Murray R. Zero waste // Greenpeace Environmental Trust. 2002. 211 p.

8. Salman M.Y., Hasar H. Review on environmental aspects in smart city concept: Water, waste, air pollution and transportation smart applications using IoT techniques // Sustainable Cities and Society. 2023. Vol. 94. Iss. 4. P. 104567.

9. Губанов Л.Н., Бояркин Д.В. Особенности обезвреживания осадков сточных вод малых населенных пунктов // Вестник Волгоградского государственного строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. Ч. 2.

Строительные науки. 2013. Вып. 31(50). С. 508–511.

10. Characteristics of odors emitted from municipal wastewater treatment plant and methods or their identification and deodorization techniques / P. Lewkowska, B. Cieslik, T. Dymerski [et al.]. // Environmental research. 2016. V. 151. P. 573–586.

11. Development of an odor wheel classification scheme for wastewater / G.A. Burlingame, I.H. Suffet, D. Khiari, A.L. Bruchet. // Water science and technology. 2004. V. 49. P. 201–209.

12. Пупырев Е.И. Выбор технологии очистки воды в современных экономических условиях // Водоснабжение и санитарная техника. 2012. №12. С. 29–35.

13. Bressan M. Improved combined chemical and biological treatments of olive oil mill waste waters // Journal of Agricultural & Food Chemistry. 2004. Vol. 52. Iss. 5. Pp. 1228–1233.

14. Природотехнические системы многоцелевого водоснабжения городского хозяйства / Е.Д. Хецуриани, В.Л. Бондаренко, Е.В. Комлев, Т.Е. Хецуриани // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2020. Вып. 2(79). С. 87–95.

15. Current status and outlook of odor removal technologies in wastewater treatment plant / B. Ren, Y. Zhao, N. Lyczko, A. Nzihou // Waste and biomass valorization. 2019. V. 10. P. 1443–1458.

16. Tsang, Y.F. Effects of high ammonia loads on nitrogen mass balance and treatment performance of a biotrickling filter / Y.F. Tsang, L. Wang, H. Chong. // Process safety environmental protection. 2015. V. 98. P. 253–260.

References

1. Problemy ekologii i racionalnogo ispolzovaniya resursov v surovyyh usloviyakh Zapolyarya: monografiya / M.A. Elesin, N.A. Gubina, O.P. Ryseva, N.V. Karmanovskaya, O.V. Nosova. Norilsk, 2019. 193 p.

2. Tehnicheskaya ekspluatatsiya zdaniy i sooruzhenij na severe Krasnoyarskogo kraya: monografiya. Part I / V.Yu. Setkov, T.R. Gamidov, N.A. Gubina, A.G.-o. Kerimov, I.P. Kardashev, A.A. Kopylov,

V.V. Kopylov, V.P. Pikulev, N.A. Prishchepova, O.P. Ryseva, Zh.A. Starostina. Norilsk, 2005. 229 p.

3. Geselko A.M., Ushakova I.G. Proektirovanie sistem vodosnabzheniya i vodootvedeniya v surovyykh klimaticheskikh usloviyakh Sibiri // *Vestnik Omskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2015;4(20):71–77. (In Russ.).

4. Shonina N.A. Vodosnabzhenie i vodootvedenie v usloviyakh Krajnego Severa // *Zhurnal SANTEHNIKA. Vodosnabzhenie i inzhenernye sistemy*. 2012;5:32–44. (In Russ.).

5. The Environmental Benchmark & Strategist, The State of the Water Industry, 2007.

6. White R.R. Building the ecological city. Cambridge: Woodhead Publishing Limited, 2002. 239 p.

7. Murray R. Zero waste // Greenpeace Environmental Trust. 2002. 211 p.

8. Salman M.Y., Hasar H. Review on environmental aspects in smart city concept: Water, waste, air pollution and transportation smart applications using IoT techniques // *Sustainable Cities and Society*. 2023. Vol. 94. Iss. 4. P. 104567.

9. Gubanov L.N., Boyarkin D.V. Osobennosti obezvrezhivaniya osadkov stochnykh vod malyykh naselennykh punktov // *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo stroitel'nogo universiteta*. Seriya: Stroitelstvo i arhitektura. Ch. 2. Stroitelnye nauki. 2013;31(50):508–511.

10. Characteristics of odors emitted from municipal wastewater treatment plant and methods or their identification and deodorization techniques / P. Lewkowska, B. Cieslik, T. Dymerski

[et al.]. // *Environmental research*. 2016. V. 151. P. 573–586.

11. Development of an odor wheel classification scheme for wastewater / G.A. Burlingame, I.H. Suffet, D. Khiari, A.L. Bruchet. // *Water science and technology*. 2004. V. 49. P. 201–209.

12. Pupyrev E.I. Vybory tehnologii ochistki vody v sovremennykh ekonomicheskikh usloviyakh // *Vodosnabzhenie i sanitarnaya tekhnika*. 2012;12: 29–35. (In Russ.).

13. Bressan M. Improved combined chemical and biological treatments of olive oil mill waste waters // *Journal of Agricultural & Food Chemistry*. 2004. Vol. 52. Iss. 5. Pp. 1228–1233.

14. Prirodnotehnicheskie sistemy mnogoocelevogo vodosnabzheniya gorodskogo hozyajstva / E.D. Hecuriani, V.L. Bondarenko, E.V. Komlev, T.E. Hecuriani // *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta*. Seriya: Stroitelstvo i arhitektura. 2020; 2(79):87–95. (In Russ.).

15. Current status and outlook of odor removal technologies in wastewater treatment plant / B. Ren, Y. Zhao, N. Lyczko, A. Nzihou // *Waste and biomass valorization*. 2019. V. 10. P. 1443–1458.

16. Tsang, Y.F. Effects of high ammonia loads on nitrogen mass balance and treatment performance of a biotrickling filter / Y.F. Tsang, L. Wang, H. Chong. // *Process safety environmental protection*. 2015. V. 98. P. 253–260.

Научный вестник Арктики. 2026. №21. С. 13–23.
Scientific Bulletin of the Arctic. 2026;(21):13–23.

Технические науки

Научная статья

УДК 543.6:669.2/8

doi: 10.52978/25421220_2026_21_13–23

ВЛИЯНИЕ СОСТАВЫ ШИХТЫ НА ПРОДУКТЫ ПРОБИРНОЙ ПЛАВКИ

Носова Ольга Васильевна

Заполярный государственный университет им. Н.М. Федоровского, Норильск, Россия

E-mail: NosovaOV@norvuz.ru

Кошкина Дарья Владимировна

Заполярный государственный университет им. Н.М. Федоровского, Норильск, Россия

E-mail: KoshkinaDV@edu.norvuz.ru

Аннотация. При определении благородных металлов в пробах сульфидных полиметаллических руд инструментальными методами решающим фактором является высокое содержание железа в штейне пробирной плавки. Для вывода железа в шлак в состав шихты пробирной плавки вводится карбонат натрия, однако эта добавка не позволяет максимально удалить железо в шлак. Замена карбоната натрия на оксид кальция в эквивалентном количестве позволяет получить хороший баланс между очисткой штейна от железа, сконцентрировать в штейне медь и никель.

Ключевые слова: пробирная плавка, шлак, основность шлака, штейн, бура, оксид кремния (стекло), карбонат натрия (сода), оксид кальция (известь).

Для цитирования: Носова О.В., Кошкина Д.В. Влияние состава шихты на продукты пробирной плавки // Научный вестник Арктики. 2026. №21. С. 13–23. https://doi.org/10.52978/25421220_2026_21_13–23.

Technical sciences

Original article

BEHAVIOR OF FIRE ASSAY FLUX MATERIALS IN THE DETERMINATION OF PRECIOUS METALS

Olga V. Nosova

Fedorovsky Polar State University, Norilsk, Russia

E-mail: NosovaOV@norvuz.ru

Daria V. Koshkina

Fedorovsky Polar State University, Norilsk, Russia

E-mail: KoshkinaDV@edu.norvuz.ru

Abstract. Then determining precious metals in sulfide polymetallic ore samples using instrumental methods, the high iron content in the assay heat matte is a confounding factor. To remove iron from the assay heat mixture, sodium carbonate is added to the assay heat charge; however, this additive does not allow for the maximum removal of iron into the slag. Replacing sodium carbonate with an equivalent amount of calcium oxide allows for a good balance between iron removal from the matte and the concentration of copper and nickel in the matte.

Keywords: fire assay, slag, slag basicity, matte, borax, silicon oxide (glass), sodium carbonate (soda), calcium oxide (lime).

For citation: Nosova O.V., Koshkina D.V. Behavior of fire assay flux materials in the determination of precious metals. *Scientific Bulletin of the Arctic*. 2026;(21):13–23. (In Russ.). https://doi.org/10.52978/25421220_2026_21_13–23.

Определение благородных металлов в сульфидных медно-никелевых рудах требует тщательной пробоподготовки, поскольку химические методы не всегда обеспечивают эффективную дежелезацию, а инструментальное измерение (ICP-MS, ICP-OES, атомно-абсорбционная спектроскопия) сталкивается с проблемами матричных эффектов, особенно при высоких содержаниях железа.

В настоящее время в качестве основного флюсового материала используется бура, коллектора – сульфида никеля, карбоната натрия – для формирования шлака [2; 6; 14; 15], при этом отмечается высокое содержание железа в штейне, что затрудняет определение благородных металлов в пробе.

Для решения указанных проблем предлагается ввести оксид кальция (CaO) в качестве флюса вместо карбоната натрия на стадии подготовки шихты. По сравнению с традиционными флюсующими реагентами данное решение позволит снизить содержание троилита в штейне и повысить степень концентрирования цветных металлов в корольке. Это позволит увеличить точность химического и инструментального анализов при определении благородных металлов в пробах сульфидных медно-никелевых руд.

Методика эксперимента. Пробирная плавка проводится в соответствии с ГОСТ Р 55558–2013. Подготовка шихты проводится в соответствии с ГОСТ Р 57898–2017. Штейн и шлак измельчают (ГОСТ Р 55558–2013) на вибрационной мельнице HSM 100–Р. Химическая подготовка шлака и штейна к анализу на неблагородные металлы и железо проводится согласно СТО–14 и СТО–89.

Определение содержания неблагородных металлов в штейне и шлаке методом ICP-OES – метод оптической эмиссионной спектроскопии с индуктивно-связанной плазмой (Agilent 5110 ICP-OES).

Определение содержания серы в продуктах плавки – методом высокотемпературного сжигания в кислороде (LEKO).

В ходе экспериментальных исследований были испытаны три варианта флюсовых систем:

1) бура ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$) + коллектор (Ni_3S_2) + проба – без добавок (опыты 1–3);

2) бура ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$) + коллектор (Ni_3S_2) + стекло (SiO_2) + сода (Na_2CO_3) + проба – базовая шихта (опыты 4–6);

3) бура ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$) + стекло (SiO_2) + коллектор (Ni_3S_2) + известь (CaO) + проба (опыты 7–9); масса CaO эквивалентна массе Na_2CO_3 .

Составы пробы с шихтующими материалами приведены в табл. 1

Таблица 1

Схема опытов

№ опыта	Навеска пробы	$\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$	Ni_3S_2	Na_2CO_3	CaO	SiO_2
1	10,0	120	15			
2	10,0	150	15			
3	10,0	180	15			
4	10,0	120	15	9		10
5	10,0	150	15	19		21
6	10,0	180	15	29		32
7	10,0	120	15		3,6	3,4
8	10,0	150	15		10,7	10,2
9	10,0	180	15		17,9	17

Критерии выбора:

1. Степень удаления железа – чем меньше Fe в штейне, тем меньше помех при анализе.

2. Увеличение суммы цветных металлов в штейне.

Материалы и оборудование. Руда сульфидная медно-никелевая рудника «Таймырский» Октябрьского месторождения Талнахского рудного узла с химическим составом, %: 2,68 Ni; 2,74 Cu; 35,7 Fe; 26,3 S и пр.

Флюсы: стекло измельченное (SiO_2) – соответствует ГОСТ 34279–2017; сода кальцинированная техническая (Na_2CO_3) – соответствует ГОСТ 5100–85; известь негашеная (CaO) – соответствует ГОСТ 8677–76; бура безводная ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$) – соответствует ГОСТ 8429–77; коллектор (Ni_3S_2) – соответствует ТУ 24.45.12.310–48200234–2016.

Расчетные данные пробирной плавки. Предварительно были проведены расчеты рационального состава шихтовых материалов и материальный баланс базового варианта (см. табл. 1, опыт 5) [1; 11; 12].

Химический состав богатой медно-никелевой руды, %: 3,44 Ni; 5,1 Cu; 0,136 Co; 37,87 Fe; 33,9 S; 13,5 SiO_2 и 6,054 прочие.

Минералогический состав флюсующих компонентов: бура $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$, кремнезем SiO_2 , кальцинированная сода Na_2CO_3 , коллектор Ni_3S_2 .

Минералогический состав руды: медь содержится в виде халькопирита CuFeS_2 и кубанита CuFe_2S_3 , никель – в виде пентландита $(\text{NiFe})_9\text{S}_8$, кобальт – джайпурита CoS , железо – пирротина Fe_7S_8 и пирита FeS_2 , кремнезем SiO_2 и прочие. Из практики известно, что $\frac{1}{4}$ часть меди руды содержится в кубаните, а содержание железа в пирротине равно его содержанию в пирите [13].

Для пробирной плавки берется навеска массой 10 г. Рациональный состав медно-никелевой руды представлен в табл. 2.

Таблица 2

**Масса и состав медно-никелевой руды
в расчете на 10 г**

Компоненты	Ni	Cu	Co	Fe	S	SiO_2	Прочие	Всего
$(\text{NiFe})_9\text{S}_8$	0,344			0,327	0,166			0,837
CuFeS_2		0,383		0,335	0,383			1,101
CuFe_2S_3		0,128		0,224	0,192			0,544
CoS			0,014		0,007			0,021
Fe_7S_8				1,451	0,948			2,40
FeS_2				1,451	1,658			3,11
SiO_2						1,35		1,35
Прочие							0,61	0,61
Итого	0,344	0,51	0,014	3,79	3,354	1,35	0,61	10

Исходя из рационального состава навески руды, был рассчитан рациональный состав флюса для базового варианта.

Бура выполняет несколько функций: флюсование, снижение температуры плавления шлака, защита серы от окисления за счет образования защитного слоя расплава, связывание оксидов металлов в боратные

шлаки. Основная задача – обеспечить покрытие шихты для минимизации доступа кислорода. Обычно в пробирной плавке массовая доля покрывки составляет 10–30% от массы шихты. Учитывая, что в шихте уже содержится достаточное количество буры – 130 г, но она в основном используется для флюсования, то оптимальная масса покрытия буры составит 20 г. Таким образом, общая масса буры в плавке составит 130 г в шихте и 20 г сверху – итого 150 г, что обеспечит хорошее шлакообразование и защиту серы от окисления. Na_2CO_3 в пробирной плавке не остается в шлаке в исходном виде, а разлагается на Na_2O и CO_2 . Его основная роль – создание легкоплавкого, жидкотекучего шлака и улучшение сепарации металлов в штейн. Рациональный состав флюса базового варианта пробы для пробирной плавки, г: $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ – 150, Na_2CO_3 – 19, Ni_3S_2 – 15, SiO_2 – 21.

Рациональный состав шихты, направляемой на плавку, представлен в табл. 3. По данным рационального состава шихты пробирной плавки были рассчитаны выход и состав штейна и шлака для базового варианта. Данные расчетов приведены в табл. 4, 5 [1].

Аналогично были рассчитаны рациональные составы, выход шлака и штейна, суммы цветных металлов, а также содержание железа в штейне для всех вариантов опыта (табл. 6) [3; 4].

Таблица 3

Рациональный состав шихты на 215 г

Компоненты	Ni	Cu	Co	Fe	S	SiO_2	$\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$	Na_2O	CO_2	Прочие	Итого
$(\text{NiFe})_9\text{S}_8$	0,344			0,327	0,166						0,837
CuFeS_2		0,383		0,335	0,383						1,101
CuFe_2S_3		0,128		0,224	0,192						0,544
CoS			0,014		0,007						0,021
Fe_7S_8				1,451	0,948						2,4
FeS_2				1,451	1,658						3,11
Ni_3S_2	10,97				4,03						15,0
SiO_2						22,35					22,35
$\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$							150				150
Na_2CO_3								11,1	7,9		19
Прочие	–	–	–	–		–				0,61	0,61
Итого	11,31	0,51	0,014	3,79	7,384	22,35	150	11,1	7,9	0,61	215

Таблица 4

Рациональный состав штейна, г

Компоненты	Ni	Cu	Co	Fe	S	O	Прочие	Всего
Ni ₃ S ₂	10,86				3,93			14,79
Cu ₂ S		0,48			0,12			0,6
CoS			0,01		0,005			0,015
FeS				0,982	0,564			1,546
Fe ₃ O ₄				0,394		0,15		0,544
Прочие							0,36	0,36
Итого, кг	10,86	0,48	0,01	1,376	4,619	0,15	0,36	17,86
Итого, %	60,81	2,69	0,06	7,70	25,86	0,84	2,02	100,00

Таблица 5

Масса и состав шлака с учетом флюса

Компоненты	Ni	Cu	Co	Fe	SiO ₂	O	Na ₂ B ₄ O ₇	Na ₂ O	Прочие	Всего
Ni	0,34									0,34
Cu		0,025								0,025
Co			0,004							0,004
(FeO) ₂ ·SiO ₂				2,374	1,27	0,68				4,324
SiO ₂					20,86					20,86
Na ₂ B ₄ O ₇							148,5			148,5
Na ₂ O								10,99		10,99
Прочие									0,09	0,09
Итого, кг	0,34	0,025	0,004	2,374	22,13	0,68	148,5	10,99	0,09	185,13
Итого, %	0,18	0,01	0,00	1,28	11,95	0,37	80,21	5,94	0,05	100,00

Таблица 6

Выход штейна и шлака в зависимости от состава пихты

№ опыта	Выход штейна, %	Выход шлака, %	Ni + Cu, %	Fe, %
1(бура)	14,30	85,70	56,09	17,36
2(бура)	12,03	87,97	55,08	17,05
3(бура)	10,62	89,38	52,98	16,4
4(сода)	9,31	90,69	79,16	1,24
5(сода)	8,37	91,63	66,86	1,03
6(сода)	7,24	92,76	62,75	0,98
7(известь)	9,15	90,85	85,65	0,82
8(известь)	8,98	91,02	65,77	0,63
9 (известь)	7,63	92,37	63	0,6

Как видно из табл. 6 в опытах 1–3, где в качестве флюса использовалась только бура, выход штейна выше, чем в базовом варианте с карбонатом натрия, при этом сумма цветных металлов в штейне ниже. Это обусловлено высоким содержанием железа в штейне. С увеличением концентрации буры в пихте наблюдается снижение выхода штейна, это также находится в прямой зависимости от содержания железа в штейне.

В опытах 7–9 (замена соды на известь) выход штейна согласуется с выходом штейна в базовых вариантах. Содержание суммы цветных металлов в штейне при замене

карбоната натрия на оксид кальция выше, а содержание железа в штейне ниже. Самое низкое содержание железа в штейне пробирной плавки отмечается в опыте 8 – на 39% меньше, чем в базовом.

Влияния флюсов на содержание неблагородных металлов и железа. По расчетным данным построены графики зависимости содержания железа и цветных металлов от массы буры и добавок (рис. 1, 2).

Как видно из графика (рис. 1), введение в состав флюсов карбоната натрия и оксида кальция приводит к значительному снижению содержания железа в штейне: в

опытах 1–3 – без добавок Fe составляет 16,4–17,36%. Добавка карбоната натрия (опыт 4–6) и оксида кальция (опыт 5–9) в состав шихты способствует снижению железа в штейне до 0,98 – 1,24 и 0,6 – 0,82 соответственно.

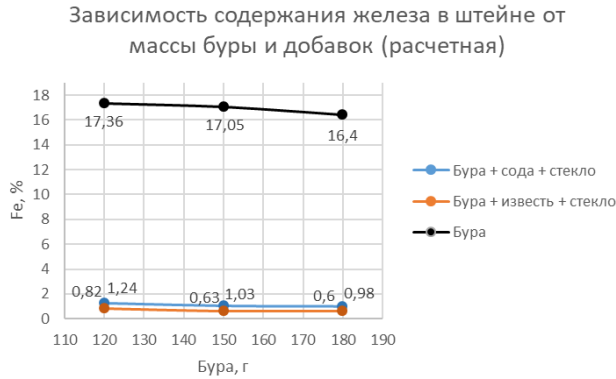


Рис. 1. Зависимость содержания железа в штейне от состава флюсовых материалов в шихте

Как показывают расчеты, наибольшая эффективность наблюдается при использовании CaO. В опыте 7 (120 г буры + CaO + стекло) Fe снижается до 0,82%. В опыте 9 (180 г буры + CaO + стекло) Fe достигает минимального значения 0,6%. Это подтверждает, что CaO является более эффективным флюсом для связывания железа по сравнению с Na_2CO_3 , так как образует более стабильные шлаки с FeO за счет снижения их кислотности [7–9].

Бура обеспечивает основное шлакообразование, но без дополнительных флюсов не может эффективно удалять железо. Na_2CO_3 снижает вязкость шлака, улучшая отделение Fe, но его эффективность ниже, чем у CaO. Последний резко повышает основность шлака, способствуя почти полному переходу FeO в шлаковую фазу. Стекло (SiO_2) играет роль кислотного флюса, балансируя основность $\text{CaO}/\text{Na}_2\text{CO}_3$ и предотвращая чрезмерное повышение температуры плавления шлака [4; 13].

Таким образом, расчетные данные показывают, что добавление флюсов, а особенно CaO, резко снижает содержание железа в штейне до 0,6–1,24%, что должно обеспечивать высокое качество штейна. Расчеты показывают, что при идеальных условиях можно достичь наиболее полного удаления железа.

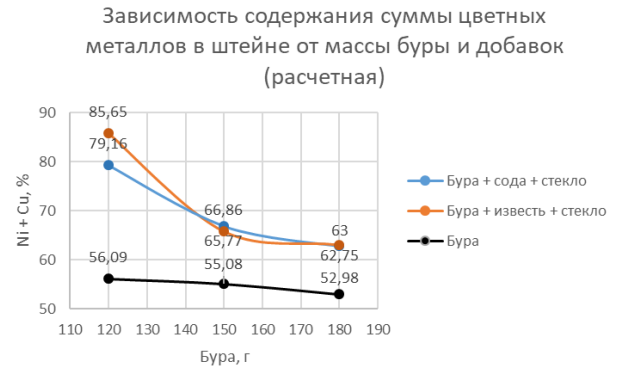


Рис. 2. Зависимость содержания суммы цветных металлов в штейне от состава флюсовых материалов в шихте

По расчетным данным также были построены графики зависимости суммы цветных металлов в штейне от состава флюсовых материалов в шихте.

Из графика (см. рис. 2) видно, что в первых трех опытах, где использовалась только бура без дополнительных добавок, содержание Ni+Cu остается на относительно стабильном уровне 55,09–56,09%. Такой результат является типичным для штейнов, полученных с минимальным количеством флюсующих добавок, когда значительная часть железа остается в штейне, разбавляя концентрацию цветных металлов. Небольшое снижение содержания Ni+Cu отмечается в третьем опыте (52,98% при 180 г буры), что может быть связано с некоторым увеличением перехода цветных металлов в шлаковую фазу при повышении количества буры.

Кардинально иная картина наблюдается в опытах с добавками. Согласно расчетам введение в шихту Na_2CO_3 и стекла (опыты 4–6) приводит к резкому росту содержания Ni+Cu до 62,75–79,16%. Наибольшая концентрация (79,16%) достигается в опыте 4 при минимальном количестве буры (120 г) с добавками 9 г Na_2CO_3 и 10 г стекла. По мере увеличения количества буры до 180 г (опыт 6) содержание Ni+Cu снижается до 62,75%, что может объясняться изменением физико-химических свойств шлака и перераспределением металлов между фазами.

Еще более значительный эффект наблюдается при использовании CaO в сочетании со стеклом (опыты 7–9). В опыте 7 (120 г буры + 3,4 г CaO + 3,6 г стекла) достигается максимальное содержание Ni+Cu – 85,65%. Это свидетельствует об исключи-

тельно высокой эффективности СаО как флюса, способствующего концентрированию цветных металлов в штейне. Однако при увеличении количества буры и добавок (опыты 8–9) содержание Ni+Cu снижается до 63–65,77%, демонстрируя наличие оптимального соотношения компонентов.

Теоретические расчеты показывают, что замена карбоната натрия в составе шихты пробирной плавки на оксид кальция положительно влияет на выход и состав штей-

на: увеличение содержания суммы цветных металлов, снижение содержания железа.

Экспериментальные данные пробирной плавки. В соответствии со схемой была проведена серия опытов пробирной плавки. Как видно из табл. 8, данные по соотношению шлак/штейн совпадают с теоретическими для всех опытов. Выход штейна во всех пробах также хорошо коррелируют между собой.

Таблица 8

Данные гравиметрического анализа до и после плавки

№ опыта	Штейн, %	Шлак, %	Шлак/штейн	Штейн, %	Шлак, %	Шлак/штейн
	расчетные			опытные		
1 (бура)	15,50	84,63	5	15,89	84,11	5
2 (бура)	13,01	89,35	6	13,33	86,67	6
3 (бура)	10,61	92,37	8	10,78	89,22	8
4 (сода)	12,27	88,04	7	12,98	87,02	7
5 (сода)	8,31	91,45	10	9,21	90,79	10
6 (сода)	7,31	92,32	12	7,83	92,17	12
7 (известь)	13,49	85,79	6	14,39	85,61	6
8 (известь)	9,53	88,87	9	10,11	89,89	9
9 (известь)	7,32	89,04	12	7,65	92,35	12

Выход штейна. В опытах 1–6 выход штейна выше (17,86–22,77 г), чем в опытах 7–9 (17,56–20,5 г), это связано с изменением состава шихты.

Замена карбоната натрия на оксид кальция способствует уменьшению массы штейна за счет лучшего выведения оксида железа в шлак.

Вид штейнов после плавки. Характер поверхности штейна служит важным диагностическим признаком, позволяющим оценить правильность проведения плавки, выявить возможные ошибки в подготовке шихты и принять решение о необходимости повторного анализа. С практической точки зрения для получения точных и воспроизводимых результатов предпочтение следует отдавать образцам с гладкой блестящей поверхностью, имеющим четкую границу со шлаком и лишённым видимых включений и разводов.

Анализ внешнего вида образцов штейна в опытах 5, 7, 8, 9 показывает, что они имеют гладкую, ровную поверхность, обладают металлическим блеском, однородной струк-

турой без видимых включений (рис. 3), что свидетельствует о правильном проведении процесса плавки – достижение оптимальной температуры, полноты разделения металлической и шлаковой фаз, а также корректном подборе состава флюсующих добавок. Это является показателем хорошего качества сплавления и равномерного распределения компонентов. Визуально отмечается, что размеры штейна в опытах 4–9 меньше, чем в опытах 1–3. Результаты гравиметрического анализа подтверждает уменьшение массы штейнов при добавке к основному флюсу (бура) карбоната натрия и оксида кальция.

Образцы штейна в опытах 1–4, 6 (рис. 3) имеют шероховатую, неровную поверхность, что указывает на возможные проблемы в процессе проведения пробирной плавки. Подобные дефекты могут возникать вследствие неполного разделения фаз, присутствия тугоплавких включений или слишком быстрого охлаждения образца.

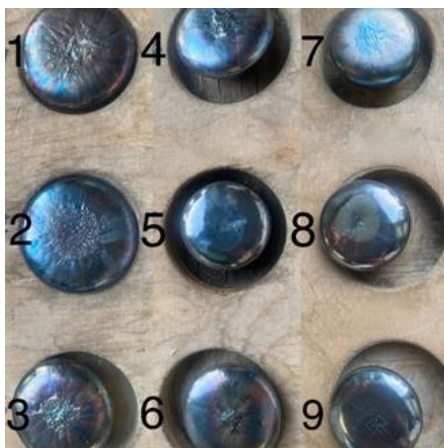


Рис. 3. Внешний вид штейнов пробирной плавки (табл. 8, опыты 1–9)

Такие особенности поверхности затрудняют точное отделение штейна от шлака и могут свидетельствовать о неполном извлечении целевых металлов, что в конечном итоге влияет на достоверность аналитических результатов.

Особое диагностическое значение имеют различные виды разводов на поверхности штейна. Радужные (оксидные) разводы появляются в результате поверхностного окисления избыточного железа, которое при охлаждении активно окисляется, образуя характерные радужные или синевато-серые разводы. Серые матовые полосы обычно являются признаками сульфидных образований и возможного расслоения компонентов при охлаждении. Наличие металлических прожилок свидетельствует о явлении ликвации – неоднородном распределении металлов в объеме штейна, что особенно критично при отборе проб для анализа.

Выход шлака. Результаты гравиметрического анализа показывают, что в опытах с добавкой соды (4–6) и CaO (7–9) выход шлака выше, чем в опытах с бурой (1–3), что говорит о более полном переводе железа в шлак.

Внешний вид шлаков после плавки. Из рис. 4 видно, что шлак с содой (4–6) потрескался сильнее, чем шлак с оксидом кальция (7–9), из-за различий в их физико-химических свойствах. Содовый шлак имеет более хрупкую и легкоплавкую структуру, что приводит к быстрому застыванию и возникновению внутренних напряжений при охлаждении, вызывающих растрескивание. Кроме того, термическое разложение карбоната натрия сопровождается выделе-

нием CO₂. Образование газа приводит к образованию пористой и рыхлой структуры шлака. Замена карбоната натрия на оксид кальция приводит к образованию более вязкого шлака, который кристаллизуется медленнее, поэтому трещин на поверхности шлака образуется меньше. Буря (1–3) при нагревании плавится, образуя расплав, состоящий преимущественно из бората натрия (NaBO₂) и борного ангидрида (B₂O₃). Последний является сильным стеклообразователем, который при охлаждении формирует аморфную структуру, подобную боросиликатному стеклу. Такая структура не подвержена кристаллизации, что исключает возникновение внутренних напряжений и трещин при остывании [14].

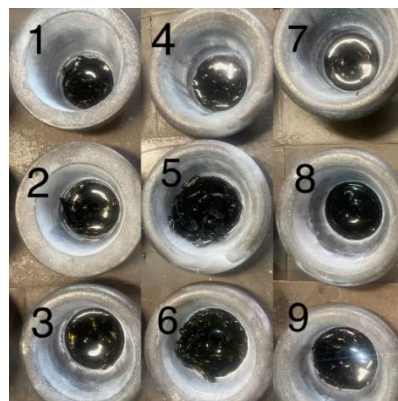


Рис. 4. Внешний вид шлаков пробирной плавки (табл. 8, опыты 1–9)

Цвет шлаков. Он зависит от состава шихты и часто служит показателем присутствия в шихте тех или иных металлов. Кислые шлаки с малым содержанием силиката оксида железа (II) зеленоватые и прозрачные. Кальций, магний, алюминий и цинк дают белые или серо-белые шлаки, более или менее непрозрачные [14; 15].

Как видно из рис. 5, измельченные шлаки пробирной плавки, в которых использовалась только буря, имеют слабо-желтоватую окраску, их внешний вид не зависит от концентрации буры в шихте. Окраска шлаков с добавкой соды зависит от массы соды в шихте: при высоких содержаниях буры и соды (опыт 6) шлак имеет желтоватую окраску, шлак пробы со средним содержанием соды (опыт 5) – серую. Цвет измельченного шлака в опытах 6–9 с добавлением к буре оксида кальция варьирует от белого к светло-серому.

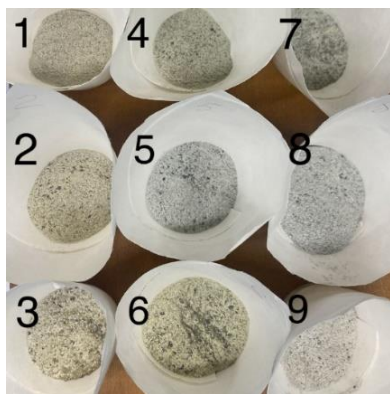


Рис. 5. Внешний вид измельченных шлаков пробирной плавки (табл. 8, опыты 1–9)

Коррозия тиглей. Проведенные эксперименты выявили значительные различия в степени коррозионного воздействия на шамотные тигли в зависимости от состава используемой шихты, что видно на рис. 6. Наибольшая степень разрушения тиглей наблюдалась при применении шихт, содержащих соду (Na_2CO_3), что особенно проявлялось в опытах 4–6. Это объясняется высокой кислотностью шлака (степень кислотности более 2). Коррозия тиглей, особенно при использовании содовых шихт, вносит систематическую погрешность в результаты анализа, так как расплав реагирует со стенками тигля (Al_2O_3 , SiO_2) и продукты коррозии (алюмосиликаты натрия) попадают в расплав, что может влиять в свою очередь на кислотно-основные свойства шлака.

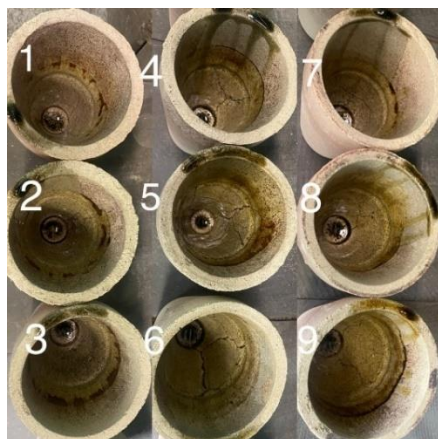


Рис. 6. Коррозия тиглей после плавки

Наибольшие потери массы тиглей отмечаются в опыте 5 (–21,1 г) и 6 (–16,3 г), где добавлялась сода. Основная причина потерь – коррозия шамотного тигля из-за об-

разования Na_2O и переход части тигля в шлак.

Содержание серы в продуктах плавки по данным инструментального анализа (LEKO). Из табл. 9 видно, что при увеличении добавок флюсов содержание серы в штейне уменьшается. Флюсы Na_2CO_3 и CaO связывают серу в виде сульфида кальция (CaS) и сульфида натрия (Na_2S) и переходят в шлак. Также при увеличении флюсов повышается содержание оксидов в системе, что может приводить к смещению химического равновесия в сторону образования более металлизированного штейна (с меньшим содержанием серы).

Таблица 9

Содержание серы в продуктах плавки по данным инструментального анализа

№ пробы	Содержание серы, %	
	Шлак	Штейн
1 (бура)	0	32,5
2 (бура)	0	32,1
3 (бура)	0	32,1
4 (сода)	0	31,0
5 (сода)	0	29,8
6 (сода)	0	30,8
7 (известь)	0	31,7
8 (известь)	0	30,6
9 (известь)	0	30,1

Сера не была выявлена в составе шлака, так как находилась в форме термически устойчивых соединений Na_2S и CaS . Эти вещества плавятся без разложения при высоких температурах, поэтому не выделяют серу в доступной для определения форме [11].

Содержание неблагородных цветных металлов и железа в продуктах плавки по данным инструментального анализа (ICP-OES). Из табл. 10 видно, что наибольшее извлечение содержания железа в шлаке отмечается в опытах с оксидом кальция в составе шихты. Замена карбоната натрия на оксид кальция в опытах 4, 6 и 5, 7 не влияет на содержание железа в шлаке, в опыте с высоким содержанием буры (6 и 9) замена карбоната натрия на оксид кальция приводит к увеличению содержания железа в шлаке на 34%. Однако замена карбоната натрия на оксид кальция приводит к большим потерям никеля со шлаками.

Таблица 10

**Содержание неблагородных цветных металлов и железа в шлаке
по данным инструментального анализа**

№ пробы	Содержание в шлаке, %			
	Ni	Cu	Co	Fe
1 (бура)	0,036	0,004	0,001	1,30
2 (бура)	0,164	0,012	0,001	1,05
3 (бура)	0,056	0,008	0,001	1,19
4 (сода)	0,021	0,005	0,001	2,09
5 (сода)	0,044	0,007	0,001	2,20
6 (сода)	0,011	0,006	0,001	1,52
7 (известь)	0,043	0,006	0,001	2,06
8 (известь)	0,065	0,006	0,001	2,13
9 (известь)	0,081	0,014	0,002	2,05

Анализ экспериментальных данных показал, что состав шихты оказывает значительное воздействие как на степень извлечения железа в шлак, так и на концентрацию цветных металлов в штейне. Графики зависимости содержания железа и цветных металлов от массы буры и добавок представлены на рис. 7, 8.

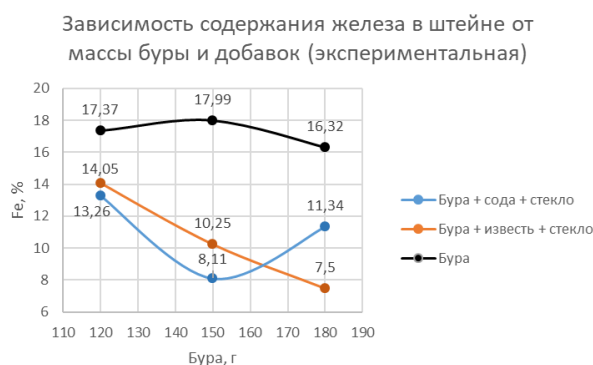


Рис. 7. Зависимость содержания железа в штейне

Наиболее эффективными добавками для очистки штейна от железа и концентрирования цветных металлов показали себя карбонат натрия и оксид кальция в сочетании со стеклом. В частности, оптимальные результаты были достигнуты при использовании оксида кальция со стеклом (опыт 9), где содержание железа в штейне снизилось до минимального значения 7,5%.

Из рис. 8 видно, что карбонат натрия и оксид кальция в составе шихты приводит к увеличению извлечения цветных металлов в штейн. Во всех опытах отмечается увеличение содержания суммы цветных металлов с увеличением массы буры, карбоната натрия и оксида кальция, максимальное содержание суммы цветных металлов отмечается в опыте 9.

Зависимость содержания суммы цветных металлов в штейне от массы буры и добавок
(экспериментальная)

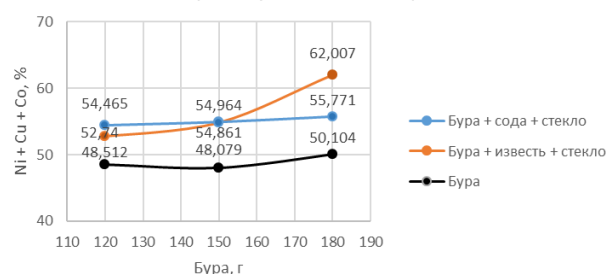


Рис. 8. Зависимость содержания суммы цветных металлов в штейне

Замена карбоната натрия эквивалентным количеством оксида кальция в базовом варианте не влияет на массу суммы цветных металлов в штейне, а концентрация никеля достигла максимального показателя 58,9%, сумма цветных металлов итого 62%.

Выводы:

1. Альтернативным вариантом, обеспечивающим хороший баланс между очисткой штейна от железа, является использование соды со стеклом (опыты 5–6). В этом случае содержание железа в штейне составляло 8,1–11,3%, а никель концентрировался до 52–53%, сумма цветных металлов составила 54,96–55,77%.

2. Исследования подтвердили, что использование только буры (опыты 1–3) является наименее эффективным вариантом. В этом случае значительное количество железа (16,3–18,0%) оставалось в штейне, а концентрация никеля не превышала 45–48%, при этом отмечались наибольшие потери никеля с шлаком (до 0,164%) и максимальная сумма цветных металлов получилась 50,1.

3. Содержание меди и кобальта в штейне практически не зависело от состава шихты и стабильно составляло около 2,2–2,8% и 0,033–0,040% соответственно, при минимальных потерях в шлак.

Полученные результаты объясняются различным механизмом действия исследуемых добавок. Карбонат натрия и оксид кальция способствуют образованию устойчивых силикатных соединений железа, которые переходят в шлаковую фазу, одно-

временно предотвращая окисление никеля и способствуя его концентрированию в штейне. Бура, напротив, не обеспечивает эффективного связывания железа в шлаке и не предотвращает потери никеля.

4. Экспериментальные данные отличаются от расчетных за счет различных факторов: неполному окислению железа, механических, физико-химических потерь металлов со шлаками и др.

Список источников

1. Расчеты по металлургии цветных металлов: учебно-метод. пособие / О.Б. Колмачихина, О.Ю. Маковская, Э.Б. Колмачихина [и др.]; под общ. ред. канд. техн. наук, доц. О.Б. Колмачихиной; М-во науки и высш. образования РФ, Уральский федеральный университет. Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2025. 108 с.

2. Пробирный метод анализа благородных металлов // Аналитическая химия благородных металлов. М.: Мир, 1969. Т. 1. С. 202–254.

3. Кузнецов А.П., Кукушкин Ю.Н., Макаров Д.Ф. Использование никелевого штейна в качестве коллектора благородных металлов при анализе «бедных» материалов // Журнал аналитической химии. 1974. Т. 29, Вып. 11. С. 6.

4. Стабилизация рафинировочных шлаков путем корректировки их фазового состава и придания им свойств минеральных вяжущих веществ / Шешуков О.Ю., Некрасов И.В., Михенков М.А., Егизарьян Д.К., Лобанов Д.А., Провоторов Д.А. // Научные исследования и разработки. 2007.

5. Рыбкин С.Г., Аксенов А.В., Сенченко А.Е., Бескровная В.П. Способ переработки сульфидных концентратов, содержащих благородные металлы: пат. 2506329 Рос. Федерация: МПК С22В 11/02, С22В 11/08. № 2012133209/02; заявл. 03.08.2012; опубл. 10.02.2014 10 с.

6. Рыбкин С.Г., Карпухин А.И. Шихта для получения золотосеребряного сплава: пат. 2094505 Рос. Федерация: МПК С22В 11/02 [сайт]. АО «Иргиредмет»; заявл. 19.03.1996; опубл. 27.10.1997. URL: https://yandex.ru/patents/doc/RU2094505C1_19971027

7. Аксенов А.В. Способ переработки сульфидных концентратов, содержащих благородные металлы: пат. 2506329 РФ. ООО «НИПИ «ТОМС»; заявл. 03.08.2012; опубл. 10.02.2014.

[сайт]. URL: <https://web.archive.org/web/20191213074840/https://findpatent.ru/patent/250/2506329.html>

8. Скиба В.И., Макаров В.Н. Способ переработки сульфидных медно-никелевых руд, содержащих платиновые металлы и железо: пат. 2057193 Рос. Федерация: МПК Y02P10/20 [сайт]. URL: <https://patents.google.com/patent/RU2057193C1/ru>

9. Исследование параметров технологического процесса извлечения никеля из никельсодержащих отходов / Комаров О.С. и др. // Литье и металлургия. 2006. с. 3. [сайт]. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/issledovanie-parametrov-tehnologicheskogo-protsessa-izvlecheniya-nikelya-iz-nikelsoderzhaschih-othodov/viewer>

10. Борщев В.Я. Оборудование для измельчения материалов, дробилки и мельницы: учеб. пособие. Тамбов, 2004. 75 с.

11. Разработка основ процесса термоэкстракции никеля из сульфидных расплавов: автореферат дисс... канд. техн. наук; Толокнов Денис Андреевич. 2014

12. Извлечение металла из шлаковых отходов // Маркмет. [сайт]. URL: <https://markmet.ru/kniga-po-metallurgii/izvlechenie-metalla-iz-shlakovykh-otvalov-0>

13. Производство металлов за Полярным кругом / Норильский никель, Заполярный филиал; [под общ. ред. Н.Г. Кайтмазова]. Норильск: Антей лимитед, 2007. 296 с.

14. Кузьмичева В.П., Пчелина Е.А. Бор, алюминий: метод. руководство к лабораторной работе. Великий Новгород, 2006. 12 с.

15. Основы тигельной плавки // Studizba. [сайт]. URL: <https://studizba.com/lectures/himija/probirnyj-analiz-rud/26524-osnovy-tigelnoj-plavki.html>

References

1. Calculations on metallurgy of non-ferrous metals: an educational method. manual / O.B. Kolmachikhina, O.Y. Makovskaya, E.B. Kolmachikhina [et al.]; under the general editorship of Candidate of Technical Sciences, Assoc.

O.B. Kolmachina; Ministry of Science and Higher Education. Education of the Russian Federation, Ural Federal University. Yekaterinburg: Ural Publishing house. un-ta, 2025. 108 p.

2. Assay method for the analysis of precious metals // Analytical chemistry of precious metals. Moscow: Mir, 1969. Vol. 1. Pp. 202–254.
3. Kuznetsov A.P., Kukushkin Yu.N., Makarov D.F. The use of nickel matte as a collector of precious metals in the analysis of «poor» materials // *Journal of Analytical Chemistry*. 1974;29(11):6. (In Russ.).
4. Stabilization of refining slags by adjusting their phase composition and giving them the properties of mineral binders / Sheshukov O.Yu., Nekrasov I.V., Mikheyenkov M.A., Egiazaryan D.K., Lobanov D.A., Provotorov D.A. // *Scientific research and developments*. 2007. (In Russ.).
5. Rybkin S.G., Aksenov A.V., Senchenko A.E., Beskrovnaya V.P. Method of processing sulfide concentrates containing precious metals: patent 2506329 Russian. The Federation: IPC C22B 11/02, C22B 11/08. No. 2012133209/02; application dated 08/03/2012; published on 02/10/2014 10 p.
6. Rybkin S.G., Karpukhin A.I. Charge for obtaining gold-silver alloy: patent 2094505 Russian. The Federation: IPC C22B 11/02 [website]. JSC Irgiredmet; announced on 03/19/1996; published on 10/27/1997. URL: https://yandex.ru/patents/doc/RU2094505C1_19971027
7. Aksenov A.V. The method of processing sulfide concentrates containing precious metals: Patent 2506329 RF. NIPI TOMS LLC; application. 08/03/2012; published. 02/10/2014. [website]. URL: <https://web.archive.org/web/20191213074840/https://findpatent.ru/patent/250/2506329.html>
8. Skiba V.I., Makarov V.N. Method of processing sulfide copper-nickel ores containing platinum metals and iron: patent 2057193 Russian. The Federation: IPC Y02P10/20. [website]. URL: <https://patents.google.com/patent/RU2057193C1/ru>
9. Investigation of the parameters of the technological process of nickel extraction from nickel-containing waste / Komarov O.S. [et al.] // Casting and metallurgy. 2006. p. 3. [website]. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/issledovanie-parametrov-tehnologicheskogo-protsessa-izvlecheniya-nikelya-iz-nikelsoderzhaschih-otvodov/viewer>
10. Borshchev V.Ya. Equipment for crushing materials, crushers and mills: textbook. stipend. Tambov, 2004. 75 p.
11. Development of the fundamentals of the process of thermal extraction of nickel from sulfide melts: abstract of the dissertation of the Candidate of Technical Sciences; Toloknov Denis Andreevich. 2014
12. Extraction of metal from slag deposits // Markmet. [website]. URL: <https://markmet.ru/kniga-po-metallurgii/izvlechenie-metalla-iz-shlakovykh-otvalov-0>
13. Production of metals beyond the Arctic Circle / Norilsk nickel, Polar material; [under the general editorship of N.G. Kaitmazov]. Norilsk: Antey Limited, 2007. 296 p.
14. Kuzmicheva V.P., Pchelina E.A. Boron, aluminum: method. a guide to laboratory work. Veliky Novgorod, 2006. 12 p.
15. Fundamentals of crucible melting // Studizba. [website]. URL: <https://studizba.com/lectures/himija/probirnyj-analiz-rud/26524-osnovy-tigelnoj-plavki.html>

Научный вестник Арктики. 2026. №21. С. 24–28.
Scientific Bulletin of the Arctic. 2026;(21):24–28.

Технические науки

Научная статья

УДК 697.34

doi: 10.52978/25421220_2026_21_24–28

**СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ АНАЛИЗА ОТЛОЖЕНИЙ В ТРУБОПРОВОДАХ
СИСТЕМ ГОРЯЧЕГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ МАГИСТРАЛЬНЫХ
ТЕПЛОВЫХ СЕТЕЙ С УЧЁТОМ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ
МНОГОФАЗНОГО ПОТОКА**

Лисиченко Павел Евгеньевич

АО «НТЭК», Норильск, Россия

Email: pavel.lisichenko.personal@mail.ru

Аннотация. Статья посвящена актуальной проблеме образования и анализа отложений в трубопроводах систем горячего водоснабжения магистральных тепловых сетей. Рассмотрены физико-химические механизмы формирования карбонатных, сульфатных и железокислых отложений. Проведён анализ современных инструментальных, расчётно-аналитических и численных методов исследования отложений с учётом термодинамических особенностей многофазного потока теплоносителя. Определены основные факторы, влияющие на интенсивность накипеобразования, и предложены направления совершенствования методологии контроля состояния внутренней поверхности трубопроводов.

Ключевые слова: отложения в трубопроводах, тепловые сети, горячее водоснабжение, многофазный поток, термодинамика, накипеобразование, методы анализа отложений, теплоноситель.

Для цитирования: Лисиченко П.Е. Современные методы анализа отложений в трубопроводах систем горячего водоснабжения магистральных тепловых сетей с учётом термодинамических процессов многофазного потока // Научный вестник Арктики. 2026. №21. С. 24–28. https://doi.org/10.52978/25421220_2026_21_24–28.

Technical sciences

Original article

**MODERN METHODS FOR ANALYZING DEPOSITS IN PIPELINES OF HOT
WATER SUPPLY SYSTEMS OF MAIN HEAT NETWORKS CONSIDERING
THERMODYNAMIC PROCESSES OF MULTIPHASE FLOW**

Pavel Y. Lisichenko

JSC NTEC, Norilsk, Russia

Email: pavel.lisichenko.personal@mail.ru

Abstract. The article is devoted to the current problem of formation and analysis of deposits in pipelines of hot water supply systems of main heat networks. The physicochemical mechanisms of carbonate, sulfate and iron-oxide deposit formation are considered. An analysis of modern instrumental, computational-analytical and numerical methods for studying deposits, taking into account the thermohydrodynamic features of the multiphase flow of the heat carrier, is carried out. The main factors affecting the intensity of scale formation are identified and directions for improving the methodology for monitoring the condition of the inner surface of pipelines are proposed.

Keywords: pipeline deposits, heat networks, hot water supply, multiphase flow, thermohydrodynamics, scale formation, deposit analysis methods, heat carrier.

For citation: Lisichenko P.Y. Modern methods for analyzing deposits in pipelines of hot water supply systems of main heat networks considering thermodynamic processes of multiphase flow. *Scientific Bulletin of the Arctic*. 2026;(21):24–28. (In Russ.). https://doi.org/10.52978/25421220_2026_21_24-28.

Актуальность темы определяется тем, что системы централизованного горячего водоснабжения (ЦГВС) и магистральные тепловые сети являются критически важными элементами инженерной инфраструктуры городов. По данным Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации, износ тепловых сетей в ряде регионов достигает 60–70 %, при этом значительная доля аварийных ситуаций обусловлена образованием отложений на внутренних поверхностях трубопроводов [1]. Отложения снижают гидравлическую проводимость трубопроводов, ухудшают теплообмен, провоцируют язвенную коррозию и в итоге сокращают ресурс трубопроводной системы. Комплексный анализ отложений с учётом термогидродинамики многофазного потока позволяет не только диагностировать текущее состояние трубопровода, но и прогнозировать динамику накипеобразования, что является основой для принятия эффективных эксплуатационных решений.

Отложения в трубопроводах ЦГВС представляют собой гетерогенные многокомпонентные системы, состав которых определяется качеством исходной воды, температурным режимом и гидродинамическими условиями течения теплоносителя. Основными типами отложений являются: карбонатные (преимущественно CaCO_3 в форме кальцита и арагонита), сульфатные (CaSO_4), магниевые (Mg(OH)_2 , MgCO_3), железоокисные (Fe_2O_3 , Fe_3O_4), а также органические отложения биогенного происхождения [2].

Термодинамическая движущая сила кристаллизации определяется степенью пересыщения раствора S :

$$S = IP / K_{sp}, \quad (1)$$

где IP – ионное произведение компонентов в растворе; K_{sp} – произведение растворимости соответствующего соединения при данной температуре.

При $S > 1$ система находится в метастабильном состоянии, при достижении критического пересыщения инициируется нуклеация и последующий рост кристаллов на поверхности трубопровода [3].

Ключевую роль в интенсивности накипеобразования играет температурный градиент между теплоносителем и стенкой трубопровода. При температуре воды выше 70 °C растворимость карбоната кальция резко снижается, что приводит к ускоренному осаждению CaCO_3 на поверхности нагрева. Данная закономерность описывается уравнением Аррениуса для скорости кристаллизации k :

$$k = A \cdot e^{-\frac{E_a}{RT}}, \quad (2)$$

где A – предэкспоненциальный множитель; E_a – энергия активации процесса кристаллизации; R – универсальная газовая постоянная; T – абсолютная температура [4].

Поток теплоносителя в трубопроводах ЦГВС не является однородным: при температурах, близких к 95–105 °C, а также при локальных снижениях давления возникают условия для парообразования, превращающего однофазный поток в двухфазный паро-жидкостный. Кроме того, в воде присутствуют коллоидные частицы, газовые пузырьки растворённых газов (CO_2 , O_2) и взвешенные твёрдые частицы, что формирует многофазную структуру потока [5].

Гидродинамический режим течения оказывает непосредственное влияние на интенсивность отложений. При турбулентном режиме (число Рейнольдса $Re > 10^4$) касательные напряжения на стенке трубопровода τ_w достаточно велики для частичного смыва рыхлых отложений:

$$\tau_w = f \cdot \frac{\rho u^2}{8}, \quad (3)$$

где f – коэффициент гидравлического трения; ρ – плотность теплоносителя; u – средняя скорость потока.

При ламинарном режиме ($Re < 2300$) условия для седиментации частиц и роста кристаллических отложений значительно благоприятнее [5].

Особую роль играют зоны гидравлических сопротивлений – отводы, тройники, участки изменения диаметра, – в которых формируются рециркуляционные зоны с пониженной скоростью потока и повышенным временем пребывания теплоносителя. Именно в этих зонах наблюдается максимальная интенсивность отложений. Моделирование таких зон выполняется метода-

ми вычислительной гидродинамики (CFD) с применением уравнений Навье–Стокса в осреднённой по Рейнольдсу форме (RANS) совместно с $k - \varepsilon$ или $k - \omega$ моделями турбулентности [6, с. 203].

Дегазация CO_2 при нагреве воды смещает карбонатное равновесие вправо:



что дополнительно интенсифицирует накипеобразование в зонах повышенной температуры. Таким образом, химический и гидродинамический механизмы формирования отложений неразрывно связаны и должны рассматриваться совместно.

Для исследования состава, структуры и морфологии отложений применяется комплекс инструментальных методов. Рентгенофазовый анализ (РФА) позволяет идентифицировать кристаллические фазы отложений и установить их количественное соотношение; метод характеризуется высокой чувствительностью к структурным модификациям кальцита и арагонита [7]. Сканирующая электронная микроскопия (СЭМ) в сочетании с энергодисперсионной рентгеновской спектроскопией (ЭДС) обеспечивает визуализацию морфологии кристаллических агрегатов и элементный анализ отложений с пространственным разрешением до нескольких микрометров.

Термогравиметрический анализ (ТГА) и дифференциальная сканирующая калориметрия (ДСК) применяются для оценки термической стабильности отложений и определения их компонентного состава по характеристическим температурам разложения. Инфракрасная спектроскопия с преобразованием Фурье (ИК–FTIR) позволяет идентифицировать органические компоненты и карбонатные группы в составе отложений [8].

Для контроля состояния трубопроводов без их вскрытия применяются неразрушающие методы: ультразвуковой контроль (УЗК) толщиномерами с фазированными решётками, позволяющий измерять толщину отложений через стенку трубопровода; внутритрубная диагностика (ВТД) с использованием интеллектуальных поршней-дефектоскопов, оснащённых ультразвуковыми и магнитными датчиками; радиографический и рентгеновский контроль для получения сечений трубопровода [9]. В последние годы активно развиваются методы лазерной индуцированной пробойной спектроскопии (LIBS), обеспечи-

вающие экспресс-анализ элементного состава отложений непосредственно на объекте без пробоподготовки [10].

Численное моделирование процессов отложений выполняется в рамках сопряжённых CFD-задач, включающих: уравнения неразрывности и импульса для описания гидродинамики потока; уравнения энергии для расчёта температурных полей; уравнения конвекции-диффузии для концентрационных полей компонентов; кинетические модели нуклеации и роста кристаллов на поверхности. Современные программные комплексы ANSYS Fluent, OpenFOAM, COMSOL Multiphysics позволяют реализовывать подобные связанные многофизические модели с учётом изменения реологических свойств теплоносителя по мере накопления отложений.

Систематизация факторов, влияющих на формирование отложений, и соответствующих методологических подходов к их анализу представлена в табл. 1.

Таблица 1

**Факторы формирования отложений
и методы их учёта**

Фактор	Влияние на отложения	Методы учёта и анализа
Температура теплоносителя	Снижение растворимости солей жёсткости; ускорение кинетики кристаллизации	ТГА, ДСК; CFD-моделирование температурных полей
Скорость потока и режим течения	Определяет касательные напряжения на стенке; влияет на толщину диффузионного подслоя	РФА отложений по длине трубопровода; CFD с RANS-моделями
Жёсткость и щёлочность воды	Определяет концентрацию ионов Ca^{2+} , Mg^{2+} , HCO_3^-	Химический анализ воды; индекс Ланжелъе
Парциальное давление CO_2	Смещение карбонатного равновесия при дегазации	Газоанализ; модели многофазного равновесия
Шероховатость внутренней поверхности	Создаёт центры нуклеации	СЭМ; профилометрия; УЗК
Скорость коррозии стенки	Поставляет ионы $\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}^{3+}$ в поток; формирует железистые отложения	ЭДС; потенциодинамические методы

Перспективным направлением совершенствования методологии анализа отложений является разработка цифровых двойников участков тепловых сетей, интегрирующих в едином программном пространстве данные внутритрубной диагностики, химического мониторинга теплоносителя и результаты CFD-расчётов. Такой подход позволяет в режиме реального времени отслеживать динамику накипеобразования и своевременно назначать химическую промывку или механическую очистку трубопроводов [9]. Применение машинного обучения для обработки многомерных временных рядов параметров теплоносителя открывает возможности предиктивной диагностики зон повышенного риска отложений без проведения дорогостоящих инструментальных обследований.

Таким образом, современный методологический арсенал анализа отложений в трубопроводах ЦГВС представляет собой интеграцию инструментальных физико-химических методов, неразрушающего контроля и численного многофизического моделирования с обязательным учётом термодинамики многофазного потока теплоносителя. Только комплексный подход, охватывающий все масштабы процесса – от молекулярной кинетики кристаллизации до гидродинамики магистрального трубопровода, – обеспечивает достаточную точность диагностики и прогнозирования состояния тепловых сетей для принятия обоснованных инженерных решений.

Список источников

1. Арсентьев В.А., Куликов Д.В. Диагностика технического состояния тепловых сетей в условиях цифровизации ЖКХ // Энергетика и теплоснабжение. 2023. №2. С. 12–21.
2. Гладков В.А., Рябчиков Б.Е. Физико-химические процессы в системах теплоснабжения: учеб. пособие. М.: Издательство МЭИ, 2022. 248 с.
3. Mullin J.W. Crystallization. 4th ed. Oxford: Butterworth-Heinemann, 2001. 594 p.
4. Фокин Б.С., Попов И.А. Загрязнение теплопередающих поверхностей и методы его оценки // Теплоэнергетика. 2022. №4. С. 52–65.
5. Нигматулин Р.И. Динамика многофазных сред: в 2 ч. Ч. 1. М.: Наука, 1987. 464 с.
6. Blazek J. Computational Fluid Dynamics: Principles and Applications. 3rd ed. Amsterdam: Elsevier, 2015. 466 p.
7. Ступин А.Б., Кириченко В.Е. Методы анализа накипных отложений теплоэнергетического оборудования // Аналитика и контроль. 2023. №1. С. 41–55.
8. Nakoryakov V.E., Misyura S.Ya. Scale formation in heat exchange equipment: physical and chemical aspects // Journal of Engineering Thermophysics. 2021. Vol. 30, No. 3. P. 68–79.
9. Трофимов А.С., Волков Н.И. Внутритрубная диагностика тепловых сетей: современное состояние и перспективы // Новости теплоснабжения. 2023. №7. С. 14–28.
10. Krause S. Fouling of Heat Transfer Surfaces by Crystallization and Sedimentation. Dusseldorf: VDI-Verlag, 1993. 412 p.
11. Галашов Н.Н. Тепломеханическое и вспомогательное оборудование электростанций / 2-е изд., испр. и доп. Томск: Национальный исследовательский Томский политехнический университет, 2023. 248 с.
12. Водоподготовка и водно-химические режимы ТЭС. Цели и задачи: сборник докладов VII международной научно-технической конференции. М., 2020. 112 с.
13. Петров А.М., Попов А.Н. Лабораторные испытания измерительно-вычислительного комплекса для диагностики термодинамических процессов однофазных потоков // Инновации и инвестиции. 2022. №7. С. 81–85.
14. Петров А.М., Попов А.Н. Разработка интеллектуальной системы поддержки принятия решений по оценке состояния объектов системы теплоснабжения // Автоматизация и информатизация ТЭК. 2023. №6(599). С. 15–21.
15. Methodology of application of open-source platform Protégé in the measurement and computing systems development for diagnostics of heat supply networks / A. Petrov, A. Popov, A. Pushkarev, M. Chekardovsky // CEUR Workshop Proceedings. Moscow, 2021.
16. Методика расширенного проверочного расчета состояния систем теплоснабжения на базе имитационных моделей поведения однофазных и многофазных потоков / И.С. Беляев, А.М. Петров, А.Н. Попов [и др.] // Вестник Курганской ГСХА. 2025. №2(54). С. 62–71.

References

1. Arsentiev V.A., Kulikov D.V. Diagnostics of the technical condition of heat networks in the context of digitalization of housing and communal services // *Energy and Heat Supply*. 2023;(2): 12–21. (In Russ.).
2. Gladkov V.A., Ryabchikov B.E. Physicochemical processes in heat supply systems: a textbook. Moscow: MEI Publishing House, 2022. 248 p.
3. Mullin J.W. Crystallization. 4th ed. Oxford: Butterworth-Heinemann, 2001. 594 p.
4. Fokin B.S., Popov I.A. Fouling of heat transfer surfaces and methods for its assessment // *Thermal Engineering*. 2022;4:52–65. (In Russ.).
5. Nigmatulin R.I. Dynamics of multiphase media: in 2 parts. Part 1. Moscow: Nauka, 1987. 464 p.
6. Blazek J. Computational Fluid Dynamics: Principles and Applications. 3rd ed. Amsterdam: Elsevier, 2015. 466 p.
7. Stupin A.B., Kirichenko V.E. Methods for analyzing scale deposits of heat power equipment // *Analytics and Control*. 2023;(1):41–55. (In Russ.).
8. Nakoryakov V.E., Misyura S.Ya. Scale formation in heat exchange equipment: physical and chemical aspects // *Journal of Engineering Thermophysics*. 2021. Vol. 30, No. 3. P. 68–79.
9. Trofimov A.S., Volkov N.I. In-pipe diagnostics of heat networks: current state and prospects // *Heat Supply News*. 2023;(7):14–28. (In Russ.).
10. Krause S. Fouling of Heat Transfer Surfaces by Crystallization and Sedimentation. Dusseldorf: VDI-Verlag, 1993. 412 p.
11. Galashov N.N. Thermal and Auxiliary Equipment of Power Plants: 2nd edition, revised and supplemented. Tomsk: National Research Tomsk Polytechnic University, 2023. 248 p.
12. Water Treatment and Water Chemistry Regimes of Thermal Power Plants. Objectives and Tasks: Proceedings of the VII International Scientific and Technical Conference. Moscow, 2020. 112 p.
13. Petrov A.M., Popov A.N. Laboratory testing of a measuring and computing complex for diagnostics of thermodynamic processes of single-phase flows // *Innovations and Investments*. 2022;(7):81–85. (In Russ.).
14. Petrov A.M., Popov A.N. Development of an intelligent decision support system for assessing the state of heat supply system facilities // *Automation and Informatization of Fuel and Energy Complex*. 2023;6(599):15–21. (In Russ.).
15. Methodology of application of open-source platform Protégé in the measurement and computing systems development for diagnostics of heat supply networks / A. Petrov, A. Popov, A. Pushkarev, M. Chekardovsky // *CEUR Workshop Proceedings*. Moscow, 2021.
16. Methodology of an extended verification calculation of the heat supply systems state based on simulation models of single-phase and multiphase flows behavior / I.S. Belyaev, A.M. Petrov, A.N. Popov [et al.] // *Bulletin of Kurgan State Agricultural Academy*. 2025;2(54):62–71. (In Russ.).

Научный вестник Арктики. 2026. №21. С. 29–44.
Scientific Bulletin of the Arctic. 2026;(21):29–44.

Технические науки

Научная статья
УДК 628.97:681.5(571.51)
doi: 10.52978/25421220_2026_21_29–44

**ОСОБЕННОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ И МОДЕРНИЗАЦИИ
АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ НАРУЖНОГО ОСВЕЩЕНИЯ
НА ПРИМЕРЕ НОРИЛЬСКОГО ПРОМЫШЛЕННОГО РАЙОНА**

Елисеев Никита Олегович

Заполярный государственный университет им. Н.М. Федоровского, Норильск, Россия
E-mail: eno823@mail.ru

Кочетков Максим Владимирович

Заполярный государственный университет им. Н.М. Федоровского, Норильск, Россия
E-mail: m-kochetkov@yandex.ru

Аннотация. Автоматизированные системы наружного освещения играют ключевую роль в обеспечении безопасности и устойчивости функционирования объектов транспортной и производственной инфраструктуры, особенно в условиях Крайнего Севера. В статье рассматриваются особенности эксплуатации автоматизированной системы наружного освещения Автотранспортного объединения «Норильский промышленный транспорт и благоустройство территории», функционирующей в Арктической зоне. Анализируются эксплуатационные ограничения действующей системы, обусловленные экстремально низкими температурами, продолжительной полярной ночью, высокой ветровой нагрузкой и территориальной разобщённостью объектов. Особое внимание уделяется вопросам надёжности оборудования, энергоэффективности и оперативности технического обслуживания. Обоснованы направления модернизации автоматизированной системы наружного освещения на основе внедрения светодиодных источников света, интеллектуальных датчиков, телеметрических средств и централизованной диспетчеризации. Показано, что комплексный подход к модернизации позволяет повысить безопасность движения, снизить эксплуатационные затраты и обеспечить адаптацию режимов освещения к реальным условиям функционирования объектов.

Ключевые слова: автоматизированная система наружного освещения, Крайний Север, энергоэффективность, телеметрия, интеллектуальное управление, транспортная инфраструктура.

Для цитирования: Елисеев Н.О., Кочетков М.В. Особенности эксплуатации и модернизации автоматизированной системы наружного освещения на примере Норильского промышленного района // Научный вестник Арктики. 2026. №21. С. 29–44. https://doi.org/10.52978/25421220_2026_21_29–44.

Technical sciences

Original article

**FEATURES OF OPERATION AND MODERNIZATION OF AN AUTOMATED
OUTDOOR LIGHTING SYSTEM ON THE EXAMPLE OF THE NORILSK
INDUSTRIAL AREA**

Nikita O. Yeliseyev

Fedorovsky Polar State University, Norilsk, Russia
E-mail: eno823@mail.ru

Maksim V. Kochetkov

Fedorovsky Polar State University, Norilsk, Russia
E-mail: m-kochetkov@yandex.ru

Abstract. Automated outdoor lighting systems play a critical role in ensuring safety and operational stability of transport and industrial infrastructure facilities, especially in Arctic regions. This paper examines the operational features of the automated outdoor lighting system of the Norilsk Industrial Transport and Territory Improvement Motor Transport Association. The study analyzes operational limitations caused by extreme low temperatures, prolonged polar night, high wind loads, and significant spatial dispersion of facilities. Particular attention is paid to equipment reliability, energy efficiency, and maintenance responsiveness. Directions for modernization of the automated outdoor lighting system are substantiated, including the introduction of LED luminaires, intelligent sensors, telemetry tools, and centralized dispatching. The results demonstrate that an integrated modernization approach enhances traffic safety, reduces operating costs, and enables adaptive lighting control based on real operating conditions.

Keywords: automated outdoor lighting system, Arctic conditions, energy efficiency, telemetry, intelligent control, transport infrastructure.

For citation: Yeliseyev N.O., Kochetkov M.V. Features of operation and modernization of an automated outdoor lighting system on the example of the Norilsk Industrial area. *Scientific Bulletin of the Arctic*. 2026;(21):29–44. (In Russ.). https://doi.org/10.52978/25421220_2026_21_29-44.

Введение. Наружное освещение на объектах транспортной и производственной инфраструктуры относится к числу базовых инженерных систем, от функционирования которых напрямую зависит уровень безопасности технологических процессов и перемещения персонала. В арктических регионах данное значение существенно усиливается ввиду природно-климатических условий, определяющих как режимы эксплуатации оборудования, так и требования к его надёжности.

Автотранспортное объединение «Норильский промышленный транспорт и благоустройство территории» (АТО «НПТБТ») осуществляет обслуживание протяжённой сети технологических дорог, производственных площадок, складских зон и объектов благоустройства, размещённых на значительной территории. Эксплуатация этих объектов сопровождается повышенной нагрузкой на системы наружного освещения, особенно в период полярной ночи, когда освещение фактически функционирует в непрерывном режиме. При этом отказ осветительных установок или снижение их эффективности может привести к ухудшению видимости, росту аварийных рисков и снижению общей безопасности движения.

Традиционные подходы к управлению наружным освещением, основанные на локальных релейных устройствах и фиксированных графиках включения, демонстрируют ограниченную приспособленность к условиям Крайнего Севера. Отсутствие оперативного контроля состояния оборудования, недостаточная гибкость регулирования режимов освещения и высокая трудоёмкость технического обслуживания снижают эффективность эксплуатации таких

систем [1]. В этой связи актуальны автоматизированные и интеллектуальные системы управления наружным освещением, обеспечивающие адаптацию режимов работы к фактическим условиям эксплуатации.

Норильский промышленный район характеризуется исключительным разнообразием технологических процессов, которые относятся, прежде всего, к горнодобывающей, металлургической, энергетической и строительной отраслям. Для них характерны как самые современные [2–9], так и существенно устаревшие системы автоматизации [10–13]. В последнем случае делается немало для модернизации на основе современных подходов к автоматизации, в том числе на основе цифровизации и интеллектуализации [1; 6; 9; 10; 14–19], роботизации [20–28]. Заметим, что системы искусственного интеллекта оцениваются специалистами не только с точки зрения преимуществ, но и угроз человечеству [29–37].

Настоящая статья посвящена особенностям эксплуатации *автоматизированной системы наружного освещения (АСНО)*, направлениям её модернизации (которые реализует АТО «НПТБТ») с учётом климатических, территориальных и организационно-технических факторов Норильского промышленного района. В качестве методологической основы используются положения теории автоматизированных систем управления, а также современные подходы к цифровизации и интеллектуализации энергетической инфраструктуры [1; 6; 8–10; 14–19; 37], к открытости и эффективности производственных процессов и управленческих решений [38–44].

Эксплуатационные условия функционирования АСНО

Функционирование АСНО осуществляется АТО «НПТБТ» в условиях, характеризующихся высокой степенью климатической и эксплуатационной нагрузки. Ключевым фактором выступает арктический климат, для которого типичны продолжительные периоды отрицательных температур, достигающих $-40...-45\text{ }^{\circ}\text{C}$, высокая влажность, интенсивные ветровые воздействия и частые метели. Указанные условия оказывают существенное влияние на работоспособность электротехнического оборудования, элементов автоматики и средств связи, входящих в состав АСНО.

Значительная продолжительность полярной ночи приводит к увеличению времени непрерывной работы осветительных установок, что ускоряет износ светильников, коммутационных элементов и источников питания. Дополнительную сложность представляет обледенение опор и осветительных приборов, способное снижать световой поток и ухудшать распределение освещённости на проезжей части и прилегающих территориях.

Не менее важной особенностью является территориальная «разбросанность», разобщённость объектов АТО «НПТБТ». Осветительные установки и шкафы управления размещены на значительных расстояниях друг от друга, что затрудняет оперативный выезд обслуживающего персонала и увеличивает время выявления неисправностей. При отсутствии централизованного мониторинга информация о выходе оборудования из строя зачастую поступает с запозданием, что негативно отражается на уровне безопасности и эксплуатационных показателях системы [1].

Указанные обстоятельства обуславливают объективную необходимость применения автоматизированных средств управления и диагностики, обеспечивающих дистанционный контроль параметров работы системы наружного освещения и сокращение времени реакции на нештатные ситуации. Концептуальная структура такой системы управления, реализующая многоуровневую архитектуру с использованием средств диспетчеризации и телеметрии, представлена на рис. 1.

АСНО представляет собой совокупность технических и программных средств, предназначенных для управления режимами работы осветительных установок, а также для контроля состояния оборудования и параметров электрической сети. В составе таких систем, как правило, выделяются уровни полевого оборудования, локального управления и централизованной диспетчеризации, взаимодействие которых осуществляется по проводным и беспроводным каналам связи. Структурная организация указанных уровней и их функциональные взаимосвязи наглядно показаны на рис. 1.

На нижнем уровне располагаются осветительные приборы, коммутационная аппаратура и измерительные устройства, обеспечивающие непосредственное включение, выключение и регулирование параметров освещения. Средний уровень представлен шкафами управления наружным освещением, в которых размещаются контроллеры, средства защиты, источники бесперебойного питания и модули связи. Верхний уровень формируется диспетчерским пунктом, реализующим функции мониторинга, анализа и дистанционного управления системой.

Важным направлением автоматизации систем наружного освещения является реализация адаптивных режимов работы, основанных на данных датчиков освещённости, временных параметрах и информации о внешних условиях. Подобные подходы получили широкое распространение в практике модернизации осветительных систем как в городском хозяйстве, так и на промышленных объектах [45], что подтверждает целесообразность их использования на объектах АТО «НПТБТ».

Как отмечалось во введении, АСНО выступает не только как средство повышения энергоэффективности, но и как важный элемент обеспечения устойчивости транспортной инфраструктуры в условиях повышенных эксплуатационных рисков, характерных для арктической зоны.

Архитектура и принципы функционирования АСНО

Архитектура АСНО строится по иерархическому принципу, что позволяет обеспечить распределение функций управления и мониторинга между различными уровнями системы. Подобный подход является типо-

вым для современных автоматизированных систем управления инженерной инфраструктурой и обеспечивает устойчивость функционирования при отказах отдельных элементов [1].

Как показано на рис. 1, в структуре АС-НО можно выделить три взаимосвязанных уровня: полевой, уровень локального управления и уровень централизованной диспетчеризации. Каждый из уровней выполняет строго определённые функции и взаимодействует с другими элементами системы по регламентированным каналам связи.

Полевой уровень включает осветительные установки, размещённые вдоль технологических и транспортных путей предприятия. В условиях Норильского промышленного района основным источником света являются светодиодные светильники, отличающиеся повышенной энергоэффективностью и увеличенным сроком службы по сравнению с традиционными источниками света [45]. Светильники оснащаются драйверами, обеспечивающими стабилизацию тока и возможность регулирования светового потока в зависимости от управляющих воздействий.

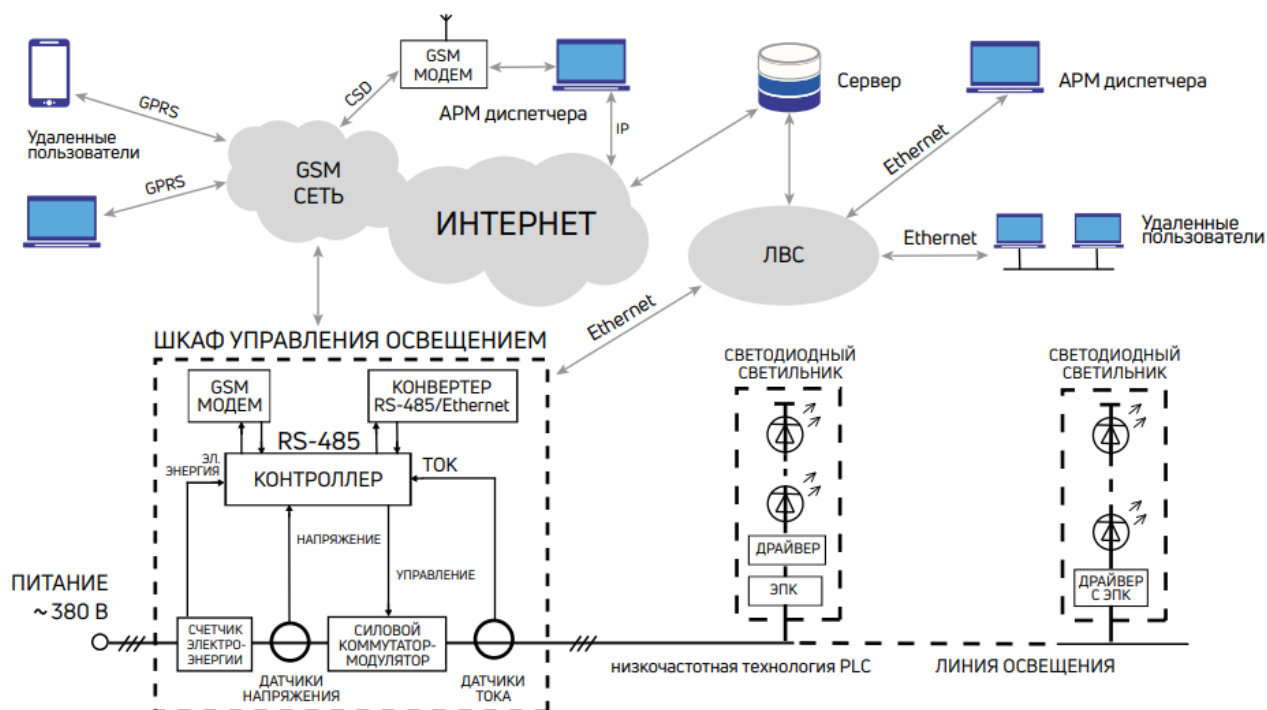


Рис. 1. Обобщённая структурная схема автоматизированной системы наружного освещения¹:

- GSM (Global System for Mobile Communications) – цифровой стандарт сотовой связи второго поколения, используемый в качестве канала передачи данных между шкафами управления и диспетчерским центром;
- CSD (Circuit Switched Data) – технология передачи данных с коммутацией каналов в сетях GSM, используемая для установления соединения между удалённым объектом и диспетчерским пунктом;
- Ethernet – технология проводной локальной вычислительной сети, предназначенная для обмена данными между сервером, автоматизированными рабочими местами и элементами системы управления;
- GPRS (General Packet Radio Service) – пакетная технология передачи данных в сетях GSM, применяемая для телеметрии и удалённого доступа к объектам системы наружного освещения;
- АРМ (автоматизированное рабочее место) – программно-аппаратный комплекс, предназначенный для визуализации состояния системы, анализа телеметрической информации и дистанционного управления режимами наружного освещения;
- ЛВС (локальная вычислительная сеть) – внутренняя сеть предприятия, обеспечивающая информационное взаимодействие серверного оборудования, АРМ диспетчеров и других информационных систем;
- ЭПК (электронный пусковой компонент) – электронное устройство в составе светодиодного светильника, предназначенное для питания источника света, стабилизации электрических параметров и реализации функций управления, включая диммирование

¹ Структурная схема разработана на основе материалов официального сайта компании Unilight (производителя автоматизированных систем управления наружным освещением). URL: <https://unilight.ru/resheniya/asuno-unilight-umnoe-osveshhenie> (дата обращения: 19.12.2025).

Уровень локального управления представлен шкафами управления наружным освещением, размещёнными вблизи групп осветительных установок. В составе каждого шкафа управления функционирует контроллер, реализующий алгоритмы включения, выключения и регулирования режимов освещения. Контроллер также осуществляет сбор измерительной информации от датчиков тока и напряжения, а также данных от счётчиков электроэнергии. Использование промышленного интерфейса RS-485 для обмена данными внутри шкафа управления позволяет обеспечить помехоустойчивость и надёжность передачи информации в условиях повышенных электромагнитных воздействий [1].

Для передачи информации на уровень диспетчеризации в системе применяются как проводные, так и беспроводные каналы связи. В частности, использование GSM-модемов обеспечивает возможность удалённого подключения шкафов управления через сотовую сеть в условиях территориальной разобщённости объектов. Такой подход позволяет организовать централизованный мониторинг без необходимости прокладки дополнительных кабельных линий связи, что особенно актуально для удалённых участков транспортной инфраструктуры АТО «НПТБТ» [1].

В ряде случаев в системе используется технология передачи данных по линии электропитания *Power Line Communication (PLC)*, при которой управляющие и диагностические сигналы передаются по существующей силовой сети. Применение PLC позволяет реализовать управление отдельными элементами осветительной линии без развёртывания отдельной сети связи, что снижает затраты на монтаж и обслуживание оборудования. Подобные решения находят применение в АСНО при ограничениях на прокладку сигнальных кабелей.

Уровень централизованной диспетчеризации формируется серверным оборудованием и автоматизированными рабочими местами диспетчеров. Сервер обеспечивает сбор, хранение и обработку телеметрической информации, поступающей от шкафов управления, а также формирование управляющих команд. Автоматизированные рабочие места диспетчеров реализуют функции визуализации состояния системы,

отображения параметров электрической сети, регистрации событий и анализа эксплуатационных показателей. Доступ к системе может осуществляться как через локальную вычислительную сеть предприятия, так и через интернет-каналы, что обеспечивает возможность удалённого мониторинга со стороны инженерных служб.

Применение описанной архитектуры позволяет обеспечить непрерывный контроль состояния наружного освещения, оперативное выявление неисправностей и гибкое управление режимами работы осветительных установок. Для объектов АТО «НПТБТ» такая организация системы управления является особенно значимой, поскольку позволяет компенсировать негативное влияние климатических факторов и сократить время реагирования на аварийные ситуации.

Телеметрия и система сбора диагностической информации в АСНО

Одним из ключевых элементов современной АСНО является подсистема телеметрии, обеспечивающая дистанционный сбор, передачу и анализ параметров работы оборудования. В условиях территориальной разобщённости объектов АТО «НПТБТ» телеметрия выполняет функцию основного инструмента оперативного контроля технического состояния системы наружного освещения и позволяет существенно сократить время выявления и локализации неисправностей.

Телеметрия в составе АСНО представляет собой процесс автоматического сбора измерительной и диагностической информации с оборудования полевого и локального уровней с последующей передачей этих данных в диспетчерский центр. К числу контролируемых параметров относятся значения напряжения и тока в питающих линиях, потребляемая мощность, состояние коммутационной аппаратуры, параметры работы светильников, а также информация о сбоях и аварийных режимах. Контроль указанных параметров позволяет выявлять отклонения от нормальных режимов работы ещё на ранних стадиях, до возникновения отказов, влияющих на устойчивость эксплуатации объектов [1].

Для системы наружного освещения АТО «НПТБТ» особое значение имеет мониторинг электрических параметров в условиях

низких температур. При отрицательных температурах существенно возрастает вероятность деградации изоляции кабельных линий, изменения характеристик электронных компонентов и нестабильной работы источников питания. Регистрация параметров напряжения и тока в реальном времени позволяет фиксировать признаки перегрузки, перекоса фаз и снижения качества электропитания, что особенно важно при длительной непрерывной работе осветительных установок в период полярной ночи [1].

Функциональная схема сбора телеметрической информации и передачи управляющих воздействий в АСНО представлена на рис. 2.

Прокомментируем типовую схему реализации телеметрии и диспетчерского управления АСНО (рис. 2). На полевом уровне показаны группы осветительных установок, управление которыми осуществляется через магнитные пускатели, обеспечивающие коммутацию силовых цепей питания.

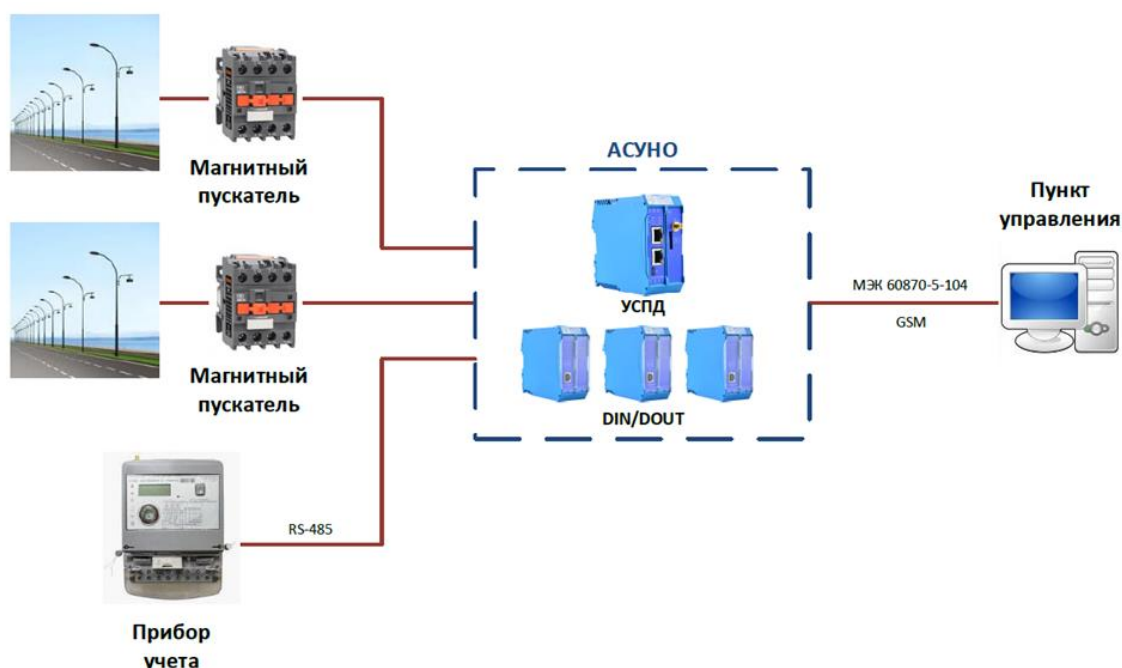


Рис. 2. Схема передачи телеметрической информации и диспетчерского управления АСНО²:

- АСУНО – автоматизированная система управления наружным освещением;
- МЭК 60870–5–104 – протокол телемеханики, предназначенный для передачи сигналов на верхний уровень системы управления технологическим процессом;
- УСД – устройство сбора и передачи данных;
- RS–485 – стандарт физического уровня связи для последовательного обмена данными (получил название благодаря использованию кабеля с волновым сопротивлением 485 Ом);
- DIN/DOU – линия последовательных данных (вход/выход), которая используется в шине

² Схема разработана на основе материалов производителей оборудования АСУНО и решений для диспетчеризации наружного освещения, представленных на сайте URL: <https://owen.ru/solutions/asuno> (дата обращения: 19.12.2025).

Представленная схема (см. рис. 2) иллюстрирует принцип централизованного управления распределёнными объектами наружного освещения и подчёркивает роль телеметрии как основы для оперативного контроля, диагностики и повышения надёжности эксплуатации системы в условиях территориальной разобщённости объектов.

Регулирование режимов работы и диммирование в АСНО

Регулирование режимов работы осветительных установок является одной из ключевых функций автоматизированной системы наружного освещения и непосредственно связано с задачами энергоэффективности, надёжности и обеспечения безопасности движения. В условиях эксплуатации объектов АТО «НПТБТ» управление режимами освещения приобретает особую значимость вследствие продолжительной полярной ночи, переменной интенсивности

транспортных потоков и неблагоприятных метеорологических условий.

В рамках АСНО под регулированием режимов работы понимается целенаправленное изменение параметров функционирования осветительных установок в зависимости от времени суток, внешних условий и эксплуатационной нагрузки. В режимах включения и выключения освещения к таким параметрам относятся уровень светового потока светильников, а также показатели распределения мощности между отдельными группами осветительных приборов. Реализация регулирования осуществляется на основе алгоритмов, заложенных в контроллерах шкафов управления, с возможностью централизованной корректировки со стороны диспетчерского пункта [1].

Техническая реализация регулирования режимов освещения и диммирования светодиодных светильников в составе АСНО освещения представлена на рис. 3.

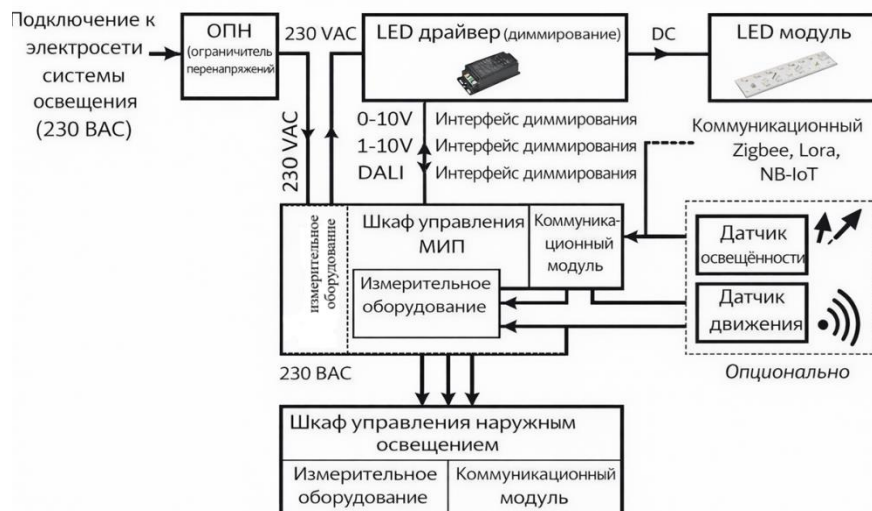


Рис. 3. Схема диммирования и адаптивного управления освещением в автоматизированной системе наружного освещения [1]:

- МИП (модуль интеллектуального питания) – функциональный элемент системы управления, обеспечивающий питание светодиодных светильников, сбор измерительной информации, реализацию алгоритмов управления и взаимодействие с коммуникационными модулями;
- ОПН (ограничитель перенапряжений) – защитное устройство, предназначенное для ограничения импульсных перенапряжений в электрической сети и предотвращения повреждения электронных компонентов системы наружного освещения;
- DALI (Digital Addressable Lighting Interface) – цифровой протокол управления и диммирования освещения, основанный на адресной передаче команд между управляющими устройствами и светодиодными светильниками, обеспечивающий точное и гибкое управление режимами освещения в реальном времени;
- DC (Direct Current) – постоянное электрическое напряжение, подаваемое от LED-драйвера к светодиодному модулю для его питания и стабильной работы;
- VAC (Volts Alternating Current) – электрическое напряжение переменного тока, используемое для питания элементов системы наружного освещения от сети электроснабжения;
- Zigbee, LoRa, NB-IoT (Narrowband Internet of Things) – беспроводные технологии передачи данных, применяемые для обмена информацией между датчиками, светильниками и элементами системы управления в составе интеллектуальных систем наружного освещения;
- LED (Light Emitting Diode) – светодиодный источник света, отличающийся высокой энергоэффективностью, длительным сроком службы и возможностью регулирования светового потока посредством диммирования

Диммирование является одним из наиболее эффективных инструментов регулирования режимов работы, представляя собой управляемое изменение светового потока осветительных приборов. В технологическом аспекте диммирование реализуется за счёт изменения мощности, подаваемой на светодиодный источник света через драйвер, поддерживающий специализированные интерфейсы управления. Как показано на рис. 3, управление диммированием осуществляется посредством интерфейсов 0–10 В, 1–10 В или протокола DALI, что позволяет плавно изменять яркость светильников без нарушения их светотехнических характеристик.

В современных системах наружного освещения диммирование реализуется преимущественно на базе светодиодных светильников, конструкция которых допускает широкий диапазон регулирования светового потока при сохранении стабильных параметров цветовой температуры и равномерности освещения [45]. Использование драйверов с поддержкой диммирования обеспечивает возможность как локального, так и централизованного управления режимами работы осветительных установок.

В практике эксплуатации автоматизированных систем наружного освещения применяются дискретные уровни диммирования, соответствующие заданным режимам работы, например 50%, 70% и 100% от номинальной мощности. Полная мощность используется при интенсивном движении транспорта, ухудшении видимости вследствие неблагоприятных погодных условий или выполнении производственных работ. Пониженные уровни мощности применяются в периоды сниженной активности, что позволяет сократить потребление электроэнергии и уменьшить электрическую и тепловую нагрузку на оборудование.

Связь между диммированием и энергосбережением носит прямой характер, поскольку снижение потребляемой мощности приводит к пропорциональному уменьшению затрат электроэнергии. При этом для светодиодных источников света характерно сохранение нормативно допустимого уровня освещённости даже при работе на пониженных режимах мощности, что делает диммирование эффективным инструментом оптимизации энергопотребления без

ухудшения условий видимости. Для объектов АТО «НПТБТ» это позволяет учитывать особенности транспортной нагрузки и режимы эксплуатации различных участков инфраструктуры.

Управление диммированием в автоматизированной системе наружного освещения может осуществляться как по временным графикам, так и на основе данных от интеллектуальных датчиков освещённости и движения. Как показано на рис. 3, сигналы от датчиков поступают в контроллер системы, который формирует управляющие воздействия на LED-драйверы с учётом текущей обстановки на объекте. Использование временных алгоритмов позволяет формировать базовые режимы работы системы с учётом астрономического календаря и сезонных особенностей, тогда как интеграция датчиков обеспечивает адаптивное управление в реальном времени [1].

Для АСНО АТО «НПТБТ» применение адаптивного диммирования имеет дополнительное значение с точки зрения повышения надёжности оборудования: работа светильников на пониженных режимах мощности способствует снижению температурной нагрузки на электронные компоненты, что особенно важно в условиях резких перепадов температур и длительной непрерывной эксплуатации. Кроме того, уменьшение числа коммутационных операций при использовании плавного регулирования яркости способствует увеличению срока службы осветительных приборов и элементов коммутационной аппаратуры.

В совокупности регулирование режимов работы и диммирование формируют основу для реализации адаптивного управления наружным освещением, ориентированного на всесторонний учёт конкретных условий эксплуатации оборудования. В отношении объектов транспортной инфраструктуры АТО «НПТБТ» такой подход позволяет обеспечить требуемый уровень безопасности движения при одновременном повышении энергоэффективности и эксплуатационной устойчивости системы наружного освещения.

Использование интеллектуальных датчиков и адаптивных алгоритмов управления освещением

Развитие автоматизированных систем наружного освещения в последние годы

связано с активным внедрением интеллектуальных датчиков и алгоритмов адаптивного управления, позволяющих, как отмечалось ранее, эффективно учитывать условия эксплуатации оборудования. Подчеркнём, что для инфраструктуры АТО «НПТБТ» применение таких решений приобретает особую актуальность ввиду высокой изменчивости внешней среды и неравномерности транспортной нагрузки на различных участках.

Интеллектуальные датчики в составе АСНО предназначены для регистрации параметров окружающей среды и эксплуатационной активности, которые непосредственно влияют на требования к уровню освещённости. Наиболее распространёнными являются датчики освещённости и датчики движения. Датчики освещённости обеспечивают измерение уровня естественного света и позволяют корректировать режимы работы осветительных установок в зависимости от метеорологических условий, наличия снежного покрова и облачности. В условиях Крайнего Севера, где уровень естественной освещённости может существенно изменяться даже в пределах одного светового периода, такие датчики позволяют избежать неоправданного перерасхода электроэнергии [1].

Датчики движения используются для фиксации присутствия транспортных средств и персонала в зоне действия осветительных установок. На основе сигналов от этих датчиков реализуются алгоритмы повышения уровня освещённости при появлении объектов и перехода к «пониженным» режимам при отсутствии активности. Для транспортной инфраструктуры АТО «НПТБТ» такой подход позволяет обеспечить повышенный уровень освещения на участках с фактическим движением техники без необходимости поддержания максимальной мощности на всей протяжённости транспортной сети.

Обработка данных от интеллектуальных датчиков осуществляется на уровне локальных контроллеров, размещённых в шкафах управления наружным освещением. Локальная обработка информации позволяет минимизировать задержки при изменении режимов работы осветительных установок и обеспечивает устойчивость функционирования системы при временных

нарушениях связи с диспетчерским центром. Передача агрегированных данных на верхний уровень системы используется для анализа эксплуатационных показателей и формирования отчётной информации [46].

Адаптивные алгоритмы управления освещением, реализуемые в АСНО, основаны на сочетании временных графиков, данных датчиков и телеметрической информации о состоянии оборудования. В отличие от фиксированных режимов работы, адаптивные алгоритмы позволяют оперативно изменять параметры освещения в зависимости от текущей обстановки. Для арктических условий это особенно важно, поскольку позволяет учитывать не только время суток, но и резкие изменения погодных условий, влияющие на видимость и безопасность движения.

Применение интеллектуальных датчиков и адаптивных алгоритмов управления способствует повышению эксплуатационной надёжности системы наружного освещения. Снижение времени работы осветительных приборов на максимальной мощности уменьшает нагрузку на электронные компоненты и снижает вероятность отказов, связанных с перегревом и старением элементов. Кроме того, интеграция данных датчиков с системой телеметрии создаёт предпосылки для реализации элементов предиктивной диагностики, основанной на анализе изменений параметров работы оборудования во времени.

Для АТО «НПТБТ» внедрение интеллектуальных датчиков и адаптивных алгоритмов управления освещением рассматривается как важный этап перехода к интеллектуальной инфраструктуре, обеспечивающей баланс между требованиями безопасности, энергоэффективности и устойчивости эксплуатации в условиях Крайнего Севера.

Централизованная диспетчеризация и интеграция АСНО с информационными системами предприятия

Централизованная диспетчеризация является ключевым элементом современной автоматизированной системы наружного освещения и обеспечивает объединение разрозненных объектов освещения в единую управляемую инфраструктуру. Для АТО «НПТБТ» внедрение диспетчерского уровня управления имеет особое значение

ввиду значительной территориальной протяжённости объектов и ограниченной возможности оперативного выезда обслуживающего персонала.

Диспетчерский уровень АСНО формируется на базе серверного программно-аппаратного комплекса и автоматизированных рабочих мест операторов. Основной функцией данного уровня является приём, хранение и обработка телеметрической информации, поступающей от шкафов управления наружным освещением. Как отмечалось ранее, на основе полученных данных осуществляется визуализация текущего состояния системы, включая отображение режимов работы осветительных установок, параметров электроснабжения и информации о возникновении нештатных ситуаций.

Важной функцией диспетчерской системы является формирование и передача управляющих команд на объекты освещения. Это позволяет оперативно изменять режимы работы отдельных участков сети, корректировать графики включения и диммирования, а также выполнять дистанционное отключение или включение оборудования при проведении ремонтных работ. Возможность централизованного управления существенно повышает гибкость эксплуатации системы и снижает зависимость от локальных факторов.

Интеграция автоматизированной системы наружного освещения с информационными системами предприятия рассматривается как необходимое условие повышения общей эффективности управления инфраструктурой. Использование стандартных интерфейсов и протоколов обмена данными обеспечивает взаимодействие АСНО с системами учёта электроэнергии, геоинформационными системами и платформами мониторинга инженерных сетей. Это позволяет формировать комплексное представление о состоянии объектов и учитывать данные наружного освещения при принятии управленческих решений.

Особое значение имеет интеграция АСНО с IoT-платформами и системами анализа данных. Передача телеметрической информации в централизованные хранилища создаёт возможность использования методов интеллектуальной обработки данных, включая выявление аномалий, анализ тенденций изменения параметров и про-

гнозирование отказов оборудования. Подобные подходы соответствуют современным направлениям цифровизации энергетической и транспортной инфраструктуры и находят применение в промышленных системах управления [46].

Для диспетчерского персонала АТО «НПТБТ» централизованная система управления наружным освещением обеспечивает повышение информированности и снижение операционных рисков. Наличие единого интерфейса мониторинга позволяет оперативно реагировать на изменения эксплуатационной обстановки, планировать техническое обслуживание и минимизировать последствия аварийных ситуаций. В условиях Крайнего Севера это способствует повышению устойчивости функционирования транспортной инфраструктуры и снижению влияния человеческого фактора.

Заключение. Обобщение результатов проведённого исследования представим в виде направлений модернизации АСНО, которые интегрируют в себе эксплуатационные, климатические и организационно-технические аспекты функционирования рассматриваемого технологического процесса. Действующая система управления наружным освещением в целом обеспечивает выполнение базовых функций, однако её архитектура и применяемые технические решения не в полной мере соответствуют современным требованиям к энергоэффективности, надёжности и адаптивности управления в условиях Крайнего Севера.

Одним из ключевых направлений модернизации является обновление осветительных установок с переходом на светодиодные источники света, поддерживающие регулирование светового потока. Светодиодные светильники обладают повышенной энергоэффективностью, увеличенным сроком службы и устойчивостью к частым включениям и длительной непрерывной работе, что особенно важно в период полярной ночи. Использование светодиодных источников создаёт технологическую основу для реализации диммирования и адаптивных режимов освещения.

Ещё одним направлением модернизации является развитие системы локального управления за счёт внедрения современных контроллеров и шкафов управления наружным освещением, рассчитанных на

эксплуатацию в условиях низких температур. Оснащение шкафов управления средствами измерения, источниками бесперебойного питания и модулями связи позволяет повысить автономность объектов и обеспечить устойчивость работы системы при нарушениях электроснабжения и каналов связи.

Важным элементом модернизации выступает расширение функциональности подсистемы телеметрии. Повышение детализации собираемых данных о параметрах электроснабжения и состоянии оборудования создаёт предпосылки для внедрения элементов предиктивного обслуживания, основанного на анализе тенденций изменения параметров во времени. Это позволяет планировать техническое обслуживание с учётом фактического состояния оборудования, снижая вероятность аварийных отключений и незапланированных простоев.

Отдельное внимание в рамках модернизации необходимо уделять внедрению интеллектуальных датчиков освещённости и движения. Интеграция таких датчиков с адаптивными алгоритмами управления благоприятствует динамической настройке режимов освещения в зависимости от транспортной активности и внешних условий. Для инфраструктуры АТО «НПТБТ» это позволяет дифференцировать режимы работы осветительных установок на различных участках сети, сочетая требования безопасности и рационального использования энергетических ресурсов.

Модернизация автоматизированной системы наружного освещения также предполагает развитие централизованной диспетчеризации и интеграцию АСНО с информационными системами предприятия. Использование единой платформы мониторинга обеспечивает консолидацию данных, поступающих от распределённых объектов, и повышает прозрачность процессов управления. Это создаёт условия для включения системы наружного освещения в контур цифрового управления транспортной и производственной инфраструктурой АТО «НПТБТ».

В совокупности указанные направления модернизации формируют комплексный подход к развитию АСНО, ориентированный на повышение эксплуатационной надёжности, энергоэффективности и адап-

тивности управления. Реализация данных мер позволяет обеспечить соответствие системы современным техническим требованиям и условиям эксплуатации объектов АТО «НПТБТ», а также создаёт основу для дальнейшего внедрения интеллектуальных и цифровых решений в сфере управления инженерной инфраструктурой.

Проведённое исследование особенностей эксплуатации автоматизированной системы наружного освещения Автотранспортного объединения «Норильский промышленный транспорт и благоустройство территории» показало, что функционирование данной инженерной системы в условиях Крайнего Севера характеризуется повышенной сложностью и требует применения специализированных технических и организационных решений. Арктический климат, продолжительная полярная ночь, высокая ветровая и температурная нагрузка, а также территориальная разобщённость объектов формируют совокупность факторов, существенно влияющих на надёжность, энергоэффективность и управляемость системы наружного освещения.

Анализ архитектуры и принципов функционирования действующей АСНО подтвердил целесообразность применения иерархической структуры управления с выделением полевого, локального и диспетчерского уровней. Такая организация обеспечивает распределение функций мониторинга и управления, позволяет реализовать централизованный контроль параметров работы оборудования и сократить время реагирования на нештатные ситуации, что имеет принципиальное значение для транспортной инфраструктуры, эксплуатируемой в условиях ограниченной доступности объектов.

Особое значение в системе управления наружным освещением АТО «НПТБТ» приобретает подсистема телеметрии, обеспечивающая непрерывный сбор и анализ диагностической информации. Использование телеметрических средств позволяет перейти от реактивной модели технического обслуживания к проактивному подходу, основанному на выявлении отклонений параметров оборудования на ранних стадиях. Это способствует повышению эксплуатационной надёжности системы и снижению риска аварийных отключений осветитель-

ных установок в период максимальной нагрузки.

Рассмотренные в статье механизмы регулирования режимов работы и диммирования светодиодных светильников показали высокую эффективность с точки зрения энергосбережения и адаптации освещения к реальным условиям эксплуатации. Применение диммирования в сочетании с интеллектуальными датчиками освещённости и движения позволяет гибко изменять уровень освещения в зависимости от транспортной активности и внешней обстановки, сохраняя при этом нормативные требования к безопасности движения. Для объектов АТО «НПТБТ» такой подход обеспечивает рациональное использование энергетических ресурсов без снижения эксплуатационных показателей системы.

Централизованная диспетчеризация и интеграция автоматизированной системы наружного освещения с информационными системами предприятия создают условия для включения данной инженерной систе-

мы в единый контур управления транспортной и производственной инфраструктурой. Это повышает прозрачность процессов эксплуатации, улучшает информационное обеспечение управленческих решений и снижает влияние человеческого фактора при управлении распределёнными объектами освещения.

В результате обоснованные направления модернизации АСНО АТО «НПТБТ», включающие внедрение светодиодных источников света, развитие телеметрии, применение интеллектуальных датчиков и расширение функций диспетчеризации, формируют комплексный подход к повышению надёжности, энергоэффективности и адаптивности управления. Реализация данных мероприятий позволяет обеспечить устойчивое функционирование системы наружного освещения в условиях Крайнего Севера и создаёт основу для дальнейшего развития интеллектуальной инфраструктуры предприятия.

Список источников

1. Краснокуцкий И.Н. Алгоритмы обработки результатов наблюдений в автоматизированной системе управления наружным освещением // Вестник Сибирской государственной автомобильно-дорожной академии. 2009. №2(12). С. 70–74.
2. Кочетков М.В. Антропоэкологический универсальный принцип устойчивого развития общества в условиях нарастающих антропоинноваций // Педагогическое образование в России. 2024. №3. С. 66–76.
3. Кочетков М.В. Ветроэлектростанция для Норильского промышленного района – за и против // Культура. Наука. Производство. 2020. №5. С. 85–89.
4. Кочетков М.В. Ветроэнергетика для Норильского промышленного района и его устойчивое развитие // Государство. Политика. Социум: Материалы всероссийского симпозиума по комплексному развитию территорий. В 2-х частях. Екатеринбург, 2023. С. 24–32.
5. Петров А.М., Попов А.Н. Лабораторные испытания измерительно-вычислительного комплекса для диагностики термодинамических процессов однофазных потоков // Инновации и инвестиции. 2022. №7. С. 81–85.
6. Петров А.М., Кочетков М.В., Попов А.Н. Концептуальные особенности развития цифровой энергетики в условиях Крайнего Севера (на примере Норильского промышленного района) // Инновации и инвестиции. 2022. №4. С. 232–237.
7. Повышение точности измерительно-вычислительного комплекса систем теплоснабжения для определения термодинамических, аэродинамических и гидродинамических характеристик рабочего тела / А.М. Петров, И.С. Беляев, А.Н. Попов, А.Н. Пушкарев // Автоматизация и информатизация ТЭК. 2025. №2(619). С. 25–33.
8. Разработка аналитических подходов к вопросам повышения бизнес-эффективности Корпоративных и производственных процессов / Л.Н. Бодрякова, И.С. Беляев, Е.Н. Долженко, Е.А. Кирсанова // Дизайн и технологии. 2022. №91–92. С. 68–75.
9. Computer visualization of optimality criterion's weighting coefficients of electromechanical system / N.S. Kurochkin, V.P. Kochetkov, A.V. Kolovsky [et al.] // Advances in Intelligent Systems and Computing. 2020. Vol. 1226. P. 201–209.
10. Золотухин А.И., Кочетков М.В. Особенности эксплуатации и модернизации автоматизированной системы электроснабжения рудника «Комсомольский» Норильского промышленного района // Культура. Наука. Производство. 2024. №14. С. 19–31.
11. Кочетков М.В., Казаков М.И., Лисиченко П.Е. Производственно-технологические и социально-экономические особенности решения проблемы утилизации твёрдых бытовых отходов в Норильском промышленном районе // Научный вестник Арктики. 2021. №11. С. 23–35.

12. Кочетков М.В., Каюмов Д.А. Особенности совершенствования технологических процессов на примере автоматизированного управления опрокидывателем шахтных вагонеток // Культура. Наука. Производство. 2024. №14. С. 5–12.
13. Кочетков М.В., Панфилов В.А. Устаревшее электрическое оборудование в условиях Крайнего Севера при выборе стратегий развития и обслуживания технологических процессов // Научный вестник Арктики. 2024. №16. С. 44–55.
14. Кочетков М.В. Концепция мониторинга техногенных угроз и удовлетворённости граждан на основе блокчейн технологии (на примере Норильского промышленного района) // Культура. Наука. Производство. 2025. №16. С. 13–23.
15. Кочетков М.В., Носов Б.А. Интеллектуальные и схемотехнические возможности автоматизации как концептуальное основание совершенствования городской системы освещения // Научный вестник Арктики. 2023. №14. С. 21–32.
16. Петров А.М., Попов А.Н. Разработка интеллектуальной системы поддержки принятия решений по оценке состояния объектов системы теплоснабжения // Автоматизация и информатизация ТЭК. 2023. №6(599). С. 15–21.
17. Построение имитационной модели движения жидкости в теплоэнергетических установках в условиях динамики фазовых состояний / А.М. Петров, И.С. Беляев, О.Н. Кузяков [и др.] // Автоматизация и информатизация ТЭК. 2026. №1(630). С. 38–46.
18. Проблемы моделирования автоматизированных систем теплоснабжения Норильского промышленного района / А.М. Петров, И.С. Беляев, А.Н. Попов, О.Н. Кузяков. монография: Тюменский индустриальный университет, 2024. 182 с.
19. Мультиагентная информационная система сопровождения проектов инновационных бизнес-инкубаторов / С.Г. Фомичева, Т.Н. Елина, С.С. Панченко, И.С. Беляев // Современные тенденции в науке и образовании: Сборник научных трудов по материалам Международной научно-практической конференции: В 6 т. Том II. М., 2014. С. 126–127.
20. Methodology of application of open-source platform Protégé in the measurement and computing systems development for diagnostics of heat supply networks / A. Petrov, A. Popov, A. Pushkarev, M. Chekardovsky // CEUR Workshop Proceedings. Moscow, 2021.
21. Петров А.М., Попов А.Н. Анализ существующих решений совершенствования измерительно-вычислительных комплексов сетей теплоснабжения // Construction and Geotechnics. 2021. Т. 12, №1. С. 18–29.
22. Петров А.М. Применение дронов в сельском хозяйстве // Молодой ученый. 2014. №2(61). С. 182–184.
23. Петров А.М. Применение тепловых насосов для обогрева животноводческих помещений // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2012. №3(19). С. 122–125.
24. Петров А.М., Попов А.Н. Разработка метода математического моделирования термодинамических процессов однофазных потоков наружных сетей теплоснабжения // Строительство и техногенная безопасность. 2022. №26(78). С. 59–63.
25. Petrov A., Popov A. Application of computer vision technology in the development of ultrasonic repeller // E3S Web of Conferences: Topical Problems of Green Architecture, Civil and Environmental Engineering, TPACEE 2019. Vol. 164. Moscow: EDP Sciences, 2020. P. 06013.
26. Petrov A., Popov A. Computer vision technology in the development of an ultrasonic Repeller // Lecture Notes in Civil Engineering. 2021. Vol. 130 LNCE. P. 447–458.
27. Petrov A., Popov A., Molotok A. Development of a laboratory installation of a digital measuring system for visualization of internal pipeline processes // Journal of Physics: Conference Series, Voronezh. Voronezh, 2020. P. 012036.
28. Petrov A., Popov A. Overview of the application of computer vision technology in fish farming // E3S Web of Conferences: 13th International Scientific and Practical Conference on State and Prospects for the Development of Agribusiness, INTERAGROMASH 2020. EDP Sciences, 2020. P. 02015.
29. Кочетков М.В., Смолянинова О.Г. Антропоэкологичность устойчивого развития и интеллигентность как адекватный отклик высшего образования // Журнал Сибирского федерального университета. Серия: Гуманитарные науки. 2022. №9(15). С. 1269–1278.
30. Авдеева Е.А., Кочетков М.В. Об архитектонике личности и сознания как непроявленной структуре человека // Alma Mater (Вестник высшей школы). 2021. №12. С. 38–46.
31. Авдеева Е.А., Кочетков М.В. Человеко-ориентированный смысловой дискурс в теории и практике образования // Философия образования. 2022. Т. 22. №1. С. 87–102.
32. Кочетков М.В. Проблемы интеграции искусственного интеллекта в образование // Информация и образование: границы коммуникаций. 2025. №17(25). С. 31–35.
33. Kochetkov M.V., Avdeeva E.A. Humanitarian «Reversing» in the education development in the Russian Federation education under the conditions of transhumanistic challenges in the era of globalisation // International Journal of Criminology and Sociology. 2020. Vol. 9. P. 2813–2824.
34. Kochetkov M.V., Avdeeva E.A. Humanitarian reversing higher education in the Russian Federation in light of the transhumanist challenges // The Philosophical Forum. 2021. Vol. 52, No.2. P. 103–114.

35. Kochetkov M.V., Chebotareva E. M. Creative and Innovative Educational Paradigm and Acmeological Approach to the Development of a Student as a Subject of Professional Activity // *Journal of Siberian Federal University. Humanities and Social Sciences*. 2017. Vol. 10, No.2. P. 177–188.

36. Kochetkov M.V., Kovalevich I.A. Specific Features of Educational and Pedagogical Discourse in the Context of Anthropological Challenges: Socio-Cultural Approach // *J. Sib. Fed. Univ. Humanities and Social Sciences*. 2020. Vol. 13, No.2. P. 268–277.

37. Беляев И.С. Рост кадрового потенциала, как фактор повышения эффективности деятельности строительных организаций АЗРФ // *Государство. Бизнес. Общество. Цифровая среда: траектория взаимодействия от теории к практике: сборник научных статей*. СПб., 2021. С. 8–10.

38. Беляев И.С. Развитие государственного регулирования и поддержки предпринимательства в строительстве в Арктической зоне Российской Федерации: дисс. ... канд. эконом. наук. СПб., 2021. 175 с.

39. Разработка аналитических подходов к вопросам повышения бизнес-эффективности Корпоративных и производственных процессов / Л.Н. Бодрякова, И.С. Беляев, Е.Н. Долженко, Е.А. Кирсанова // *Дизайн и технологии*. 2023. №93. С. 76–83.

40. A model for the job demand forecasting in the arctic zone of the Russian federation based on time series / Z. Petukhova, M. Petukhov,

I. Belyaev, L. Bodryakova // *Regional Science Inquiry*. 2021. Vol. 13, No. 2. P. 291–298.

41. Метод адаптивной самоорганизации экономических агентов в региональной инновационной экосистеме / И.С. Беляев, О.Ю. Орлова, Л.Н. Бодрякова, А.В. Фаддеев // *Дизайн и технологии*. 2025. №106(148). С. 154–167.

42. Цифровизация и устойчивое развитие: трансформация региональных экономик в России в условиях глобальных экологических вызовов и технологического прогресса / И.С. Беляев, Е.Н. Долженко, Л.Н. Бодрякова [и др.] // *Дизайн и технологии*. 2023. № 96(138). С. 99–105.

43. Максимчук О.В. Энергоэффективная модернизация городов России на основе концепции «Умный город» // *Социология города*. 2018. №3. С. 63–82.

44. Реализация платформы туманных вычислений для предоставления сервисов IoT / Д.В. Гадасин, А.В. Шведов, О.Г. Клыгина, Д.Д. Гадасин // *REDS: Телекоммуникационные устройства и системы*. 2021. Т. 11, №2. С. 65–75.

45. Мозохин А.Е., Староверов Б.А. Энергетика нового уклада (EnergyNet): обеспечение информационной безопасности автоматизированных систем технологического управления в электросетевом комплексе: учеб. пособие. Кострома, 2024. 84 с.

46. Дзюба А.П., Семиколенов А.В. Ключевые направления интеграции систем активных энергетических комплексов в современную промышленность России // *Вестник Московского финансово-юридического университета МФЮА*. 2022. №3. С. 109–131.

References

1. Krasnokutsky I.N. Algorithms for processing the results of observations in the automated system of control of outdoor lighting. *Bulletin of the Siberian State Automobile and Road Academy*. 2009;2(12):70–74. (In Russ.).

2. Kochetkov M.V. Anthropoecological universal principle of sustainable development of society in the conditions of growing anthropoinnovations. *Pedagogical Education in Russia*. 2024;3:66–76. (In Russ.).

3. Kochetkov M.V. Wind Power Plant for the Norilsk Industrial District: Pros and Cons. *Culture. Science. Production*. 2020;5:85–89. (In Russ.).

4. Kochetkov M.V. Wind Power for the Norilsk Industrial District and Its Sustainable Development. State. Politics. Society: Proceedings of the All-Russian Symposium on Comprehensive Territorial Development. In 2 parts. Yekaterinburg, 2023. Pp. 24–32.

5. Petrov A.M., Popov A.N. Laboratory tests of a measuring and computing complex for diagnostics of thermodynamic processes of single-phase

flows. *Innovations and Investments*. 2022;(7): 81–85. (In Russ.).

6. Petrov A.M., Kochetkov M.V., Popov A.N. Conceptual features of digital energy development in the conditions of the Far North (on the example of the Norilsk industrial district). *Innovations and investments*. 2022;(4):232–237. (In Russ.).

7. Improving the accuracy of the measuring and computing complex of heat supply systems for determining the thermodynamic, aerodynamic and hydrodynamic characteristics of the working fluid / A.M. Petrov, I.S. Belyaev, A.N. Popov, A.N. Pushkarev. *Automation and informatization of the Fuel and Energy Complex*. 2025;(2):25–33. (In Russ.).

8. Development of analytical approaches to improving the business efficiency of corporate and production processes / L.N. Bodryakova, I.S. Belyaev, E.N. Dolzhenko, E.A. Kirsanova. *Design and Technologies*. 2022;(91–92):68–75. (In Russ.).

9. Computer visualization of optimality criterion's weighting coefficients of electromechanical system / N.S. Kurochkin, V.P. Kochetkov, A.V. Kolov-

sky [et al.]. *Advances in Intelligent Systems and Computing*. 2020;(1226):201–209. (In Russ.).

10. Zolotukhin A.I., Kochetkov M.V. Features of operation and modernization of the Automated Power Supply System of the Komsomolsky mine in the Norilsk Industrial District. *Culture. Science. Production*. 2024;(14):19–31. (In Russ.).

11. Kochetkov M.V., Kazakov M.I., Lisichenko P.E. Production-technological and socio-economic features of solving the problem of solid household waste disposal in the Norilsk industrial district. *Scientific Bulletin of the Arctic*. 2021;(11):23–35. (In Russ.).

12. Kochetkov M.V., Kayumov D.A. Features of improving technological processes by the example of automated control of a mining truck tipper. *Culture. Science. Production*. 2024;(14):5–12. (In Russ.).

13. Kochetkov M.V., Panfilov V.A. Aging electrical equipment in the conditions of the far north when choosing strategies for the development and maintenance of technological processes. *Scientific Bulletin of the Arctic*. 2024;(16):44–55. (In Russ.).

14. Kochetkov M.V. Concept of monitoring of technogenic threats and citizens' satisfaction based on blockchain technology (on the example of the Norilsk industrial area). *Culture. Science. Production*. 2025;(16):13–23. (In Russ.).

15. Kochetkov M.V., Nosov B.A. Intellectual and circuitry capabilities of automation as a conceptual basis for improving the urban lighting system. *Scientific Bulletin of the Arctic*. 2023;(14):21–32. (In Russ.).

16. Petrov A.M., Popov A.N. Development of an Intelligent Decision Support System for Assessing the Condition of Heat Supply System Facilities. *Automation and Computerization of the Fuel and Energy Complex*. 2023;(6):15–21. (In Russ.).

17. Development of a fluid flow simulation model in thermal power plants under phase states dynamics / A.M. Petrov, I.S. Belyaev, O.N. Kuzyakov [et al.]. *Automation and Computerization of the Fuel and Energy Complex*. 2026;1(630):38–46. (In Russ.).

18. Problems of modeling automated heating systems in the Norilsk industrial district / A.M. Petrov, I.S. Belyaev, A.N. Popov, O.N. Kuzyakov. Tyumen: Tyumen Industrial University, 2024. 182 p.

19. Multi-Agent Information System for Supporting Projects of Innovative Business Incubators / S.G. Fomicheva, T.N. Elina, S.S. Panchenko, I.S. Belyaev // Modern Trends in Science and Education: Collection of Scientific Papers Based on the Materials of the International Scientific and Practical Conference: In 6 Parts. Vol. II. Moscow, 2014. Pp. 126–127.

20. Methodology of application of open-source platform Protégé in the measurement and computing systems development for diagnostics of heat

supply networks / A. Petrov, A. Popov, A. Pushkarev, M. Chekardovsky // CEUR Workshop Proceedings. Moscow, 2021.

21. Petrov A.M., Popov A.N. Analysis of Existing Solutions for Improving Measurement and Computing Complexes in Heat Supply Networks. *Construction and Geotechnics*. 2021;12(1):18–29. (In Russ.).

22. Petrov A.M. Application of Drones in Agriculture. *Young Scientist*. 2014;(2):182–184. (In Russ.).

23. Petrov A.M. Application of Heat Pumps for Heating Livestock Facilities. *Bulletin of the Ulyanovsk State Agricultural Academy*. 2012;(3):122–125. (In Russ.).

24. Petrov A.M., Popov A.N. Development of a method for mathematical modeling of thermodynamic processes of single-phase flows in external heating networks. *Construction and Technogenic Safety*. 2022;(26):59–63. (In Russ.).

25. Petrov A., Popov A. Application of computer vision technology in the development of ultrasonic repelle // E3S Web of Conferences: Topical Problems of Green Architecture, Civil and Environmental Engineering, TPACEE 2019. Vol. 164. Moscow: EDP Sciences, 2020. P. 06013.

26. Petrov A., Popov A. Computer vision technology in the development of an ultrasonic Repeller. *Lecture Notes in Civil Engineering*. 2021;130 LNCE:447–458.

27. Petrov A., Popov A., Molotok A. Development of a laboratory installation of a digital measuring system for visualization of internal pipeline processes // Journal of Physics: Conference Series, Voronezh. Voronezh, 2020. P. 012036.

28. Petrov A., Popov A. Overview of the application of computer vision technology in fish farming // E3S Web of Conferences: 13th International Scientific and Practical Conference on State and Prospects for the Development of Agribusiness, INTERAGROMASH 2020. EDP Sciences, 2020. P. 02015.

29. Kochetkov M.V., Smolyaninova O.G. The anthropoecological nature of sustainable development and intelligence as an adequate response of higher education. *J. Sib. Fed. Univ. Humanit. Soc. Sci.* 2022;9(15):1269–1278. (In Russ.).

30. Avdeeva E.A., Kochetkov M.V. On the architectonics of personality and consciousness as an unmanifested human structure. *Alma Mater (Bulletin of the Higher School)*. 2021;(12):38–46. (In Russ.).

31. Avdeeva E.A., Kochetkov M.V. Human-oriented semantic discourse in the theory and practice of education. *Philosophy of Education*. 2022;1(22):87–102. (In Russ.).

32. Kochetkov M.V. Problems of integrating artificial intelligence into education. *Information and education: boundaries of communications*. 2025;17(25):31–35. (In Russ.).

33. Kochetkov M.V., Avdeeva E.A. Humanitarian «Reversing» in the education development in the Russian Federation education under the conditions of transhumanistic challenges in the era of globalization. *International Journal of Criminology and Sociology*. 2020;(9):2813–2824. (In Russ.).
34. Kochetkov M.V., Avdeeva E.A. Humanitarian reversing higher education in the Russian Federation in light of the transhumanist challenges. *The Philosophical Forum*. 2021;2(52): 103–114. (In Russ.).
35. Kochetkov M.V., Chebotareva E. M. Creative and Innovative Educational Paradigm and Acmeological Approach to the Development of a Student as a Subject of Professional Activity. *J. Sib. Fed. Univ. Series: Humanities*. 2017;2(10): 177–188. (In Russ.).
36. Kochetkov M.V., Kovalevich I.A. Specific Features of Educational and Pedagogical Discourse in the Context of Anthropological Challenges: Socio-Cultural Approach. *J. Sib. Fed. Univ. Humanities and Social Sciences*. 2020;2(13): 268–277. (In Russ.).
37. Belyaev I.S. Growth of human resources potential as a factor in increasing the efficiency of construction organizations of the Russian Far East // State. Business. Society. Digital environment: the trajectory of interaction from theory to practice: a collection of scientific articles based on the results of the international scientific and practical conference. St. Petersburg, 2021. Pp. 8–10.
38. Belyaev I.S. Development of state regulation and support for entrepreneurship in construction in the Arctic zone of the Russian Federation: dissertation for the degree of Candidate of Economic Sciences. St. Petersburg, 2021. 175 p.
39. Development of analytical approaches to improving the business efficiency of corporate and production processes / L.N. Bodryakova, I.S. Belyaev, E.N. Dolzhenko, E.A. Kirsanova. *Design and Technologies*. 2023;(93):76–83. (In Russ.).
40. A model for the job demand forecasting in the arctic zone of the Russian federation based on time series / Z. Petukhova, M. Petukhov, I. Belyaev, L. Bodryakova. *Regional Science Inquiry*. 2021;13(2):291–298.
41. The method of adaptive self-organization of economic agents in a regional innovation ecosystem / I.S. Belyaev, O.Yu. Orlova, L.N. Bodryakova, A.V. Faddeenkov. *Design and Technologies*. 2025;106:154–167. (In Russ.).
42. Digitalization and Sustainable Development: Transformation of Regional Economies in Russia in the Face of Global Environmental Challenges and Technological Progress / I.S. Belyaev, E.N. Dolzhenko, L.N. Bodryakova [et al.]. *Design and Technologies*. 2023;96(138):99–105. (In Russ.).
43. Maksimchuk O.V. Energy-Efficient Modernization of Russian Cities Based on the Smart City Concept. *Sociology of the City*. 2018;(3): 63–82. (In Russ.).
44. Implementation of a Fog Computing Platform for Providing IoT Services / D.V. Gadasin, A.V. Shvedov, O.G. Klygina, D.D. Gadasin. *REDS: Telecommunication Devices and Systems*. 2021;11(2):65–75. (In Russ.).
45. Mozokhin A.E., Staroverov B.A. Energetics of the New Order (EnergyNet): Ensuring Information Security of Automated Technological Control Systems in the Electric Grid Complex: A Study Guide. Kostroma: Kostroma State University, 2024. 84 p.
46. Dzyuba A.P., Semikolenov A.V. Key Directions of Integration of Active Energy Complex Systems into Modern Russian Industry. *Bulletin of the Moscow Financial and Law University of the Ministry of Finance*. 2022;3:109–131. (In Russ.).

Научный вестник Арктики. 2026. №21. С. 45–54.
Scientific Bulletin of the Arctic. 2026;(21):45–54.

Технические науки

Научная статья

УДК 621.311.2

doi: 10.52978/25421220_2026_21_45–54

**КОМПЛЕКСНЫЙ АНАЛИЗ ФАКТОРОВ АВАРИЙНОСТИ
ПРИ НЕШТАТНЫХ РЕЖИМАХ РАБОТЫ ТУРБОУСТАНОВОК
ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ: ОБЗОР СОВРЕМЕННЫХ МЕТОДОВ
И СИСТЕМ МОНИТОРИНГА**

Смирнов Кирилл Михайлович

АО «Всероссийский дважды ордена Трудового Красного Знамени
Теплотехнический научно-исследовательский институт», Москва, Россия
E-mail: smirnovkm@yandex.ru

Аннотация. Представлен обзор современного уровня исследований в области анализа факторов аварийности турбоустановок электрических станций. Рассмотрены методы анализа надежности и аварийности, дана характеристика нештатных режимов работы, проанализированы существующие системы сбора и обработки данных, аварийность оборудования, допускаемая вследствие ошибочных действий персонала. Показана необходимость развития комплексных подходов к оценке рисков при эксплуатации турбоустановок в переменных режимах нагрузки.

Ключевые слова: турбоустановки, аварийность, нештатные режимы, надежность, АСУ ТП, мониторинг, диагностика, ошибки персонала.

Для цитирования: Смирнов К.М. Комплексный анализ факторов аварийности при нештатных режимах работы турбоустановок электрических станций: обзор современных методов и систем мониторинга // Научный вестник Арктики. 2026. №21. С. 45–54. https://doi.org/10.52978/25421220_2026_21_45–54.

Technical sciences

Original article

**COMPREHENSIVE ANALYSIS OF ACCIDENT RISK FACTORS IN CASE
OF ABNORMAL OPERATING MODES OF TURBINE INSTALLATIONS
ELECTRIC STATIONS: OVERVIEW OF MODERN METHODS
AND MONITORING SYSTEMS**

Kirill M. Smirnov

Joint Stock Company «All-Russian Twice Awarded the Order of the Labour Red Banner
Heat Engineering Research Institute», Moscow, Russia
E-mail: smirnovkm@yandex.ru

Abstract. The article provides an overview of the current state of research in the field of analyzing factors contributing to the accident rate of turbine units at electric power stations. The paper examines methods for analyzing reliability and accident rates, characterizes abnormal operating conditions, and reviews existing data acquisition and processing systems. It also analyses equipment failure rates caused by human error. The study highlights the need to develop integrated approaches to risk assessment for the operation of turbine units under variable load conditions.

Keywords: turbine units, accident rate, abnormal operating conditions, reliability, industrial control systems (ICS/SCADA), monitoring, diagnostics, human error.

For citation: Smirnov K.M. Comprehensive analysis of accident risk factors in case of abnormal operating modes of turbine installations electric stations: overview of modern methods and monitoring systems. *Scientific Bulletin of the Arctic*. 2026;(21):45–54. (In Russ.). https://doi.org/10.52978/25421220_2026_21_45-54.

Введение. Турбоустановки электрических станций являются критически важным элементом энергетической инфраструктуры, обеспечивающим генерацию электрической энергии. Обеспечение их надежной и безопасной эксплуатации представляет собой комплексную научно-техническую задачу, требующую постоянного совершенствования методов анализа факторов аварийности, особенно при нештатных режимах работы.

Современные тенденции в энергетике, связанные с увеличением доли возобновляемых источников энергии, предъявляют новые требования к операционной гибкости турбоустановок. Согласно исследованиям [1], при работе парогазовых установок (ПГУ) на переменных нагрузках возникают специфические режимы, существенно влияющие на ресурс и надежность оборудования.

Проблема надежности эксплуатации тепловых электрических станций (ТЭС) неразрывно связана с деятельностью оперативного персонала. Несмотря на высокий уровень автоматизации современных энергоблоков, человек остается ключевым звеном в управлении сложными технологическими процессами. Согласно статистике [4], от 11% до 20% отказов в работе автоматических систем регулирования и защит вызваны ошибками персонала, а в отдельных категориях аварий турбогенераторов доля человеческого фактора достигает и более существенных значений.

Современные ТЭС характеризуются высокой сложностью оборудования, интеграцией информационных и управляющих систем, что предъявляет повышенные требования к квалификации и надежности действий операторов. Вместе с тем условия эксплуатации часто включают стрессовые ситуации, дефицит времени на принятие решений и необходимость работы с устаревшими или несовершенными техническими средствами.

Характеристика турбоустановок и особенности исследования их факторов аварийности

Специфика турбоустановок как объектов исследования. Турбоустановки электрических станций представляют собой

сложные технические системы, включающие паровые или газовые турбины, турбогенераторы, системы регулирования и защиты. Их эксплуатация характеризуется:

- высокими параметрами рабочего тела: давление и температура пара достигают критических значений, определяющих напряженное состояние материалов прочной части;
- циклическими изменениями нагрузки: современные энергосистемы требуют участия турбоустановок в регулировании частоты и мощности;
- длительными сроками службы: ресурс основных элементов составляет десятки лет, что требует учета процессов старения и усталостного разрушения.

Факторы аварийности турбоустановок подразделяются на:

1. Конструктивные и производственные дефекты. К ним относятся:

- *недостатки изготовления роторов* (исходные металлургические дефекты заготовки, отклонения по механическим характеристикам металла, отсутствие неразрушающего контроля при производстве могут привести к катастрофическим разрушениям; например, авария на станции «Галлатин» (США) в 1974 г. произошла из-за трещин в роторе среднего-низкого давления, возникших из-за дефектов при изготовлении);
- *некачественные материалы и комплектующие* (использование некондиционной резины для уплотнительных элементов, электрощёток низкого качества, подшипниковых узлов, некачественной пайки перемычек в обмотках роторов и т.д.);
- *ошибки проектирования* (нарушения технологии при сборке токоподводов, отсутствие технологий гарантированного обеспечения герметичности систем водяного охлаждения обмоток статоров, отсутствие качественного расчёта тепловых расширений трубных систем и т.д.).

2. Износ и усталостные повреждения. К ним относятся:

- *усталостная повреждённость роторов* (накопление усталостной повреждённости из-за крутильных колебаний ротора – одна из главных причин аварий);

- *коррозионные повреждения* (коррозионное растрескивание под напряжением, коррозионное усталостное растрескивание в разгрузочных отверстиях роторов и ступицах дисков, а также трубных системах турбо и котлоагрегатов, стояночная коррозия при длительных простоях без консервации);

- *абразивный и эрозионный износ* (повреждение лопаток турбин из-за попадания посторонних предметов, пыли, высокотемпературной коррозии, либо повреждение поверхностей нагрева котлоагрегатов из-за нерасчётного режима горения / использования не проектного, либо не качественно-го топлива и т.д.);

- *износ подшипников* (изнашивание баббитовой заливки подшипников приводит к изменению центровки роторов, износу уплотнений, созданию условий для неустойчивой работы ротора на масляном слое).

3. Проблемы с системой смазки и охлаждения. К ним относятся:

- *недостаточная подача масла или его отсутствие* (приводит к перегреву и повреждению подшипников, деформации вала турбины);

- *загрязнение масла* (частицы грязи, пыли или металлической стружки в масле повреждают подшипники и другие движущиеся части);

- *перегрев системы смазки* (может вызвать закоксовывание масляных каналов и снижение уровня смазки); *нарушения в системе водяного охлаждения обмоток статоров* (утечки, нарушение герметичности систем).

4. Нарушения в работе систем управления и контроля. К ним относятся:

- *неисправности контрольно-измерительных приборов и автоматики (КИПиА)* (ошибки датчиков контроля, некорректная работа систем регулирования);

- *ошибки в системе автоматического регулирования* (неправильная настройка может вызывать избыточное давление или недостаточную подачу воздуха);

- *отсутствие или сбой защитных систем* (например, отказ автоматов безопасности, систем контроля вибрации, температуры, осевого сдвига ротора).

5. Аварийность по причине человеческого фактора. В основном она связана с:

- *ошибками персонала* (неправильное определение причин неполадок (например,

роста температуры стержней), несвоевременное отключение оборудования, ошибки при эксплуатации и управлении, нарушения при ремонте);

- *несоблюдение регламента технического обслуживания* (пренебрежение плановыми ремонтами, нерегулярная замена фильтров, масла);

- *ошибки при сборке и монтаже* (например, оставление инструментов внутри агрегата при обслуживании).

6. Внешние и эксплуатационные факторы. Могут быть вызваны:

- *экстремальными условиями эксплуатации* (работа в режимах, превышающих проектные параметры (температура, давление), частые пуски и остановки агрегата);

- *качеством топлива* (использование некачественного топлива может привести к образованию отложений на внутренних поверхностях турбины и компрессора);

- *климатическими условиями* (расположение установки в регионах с агрессивной средой или экстремальными температурами);

- *вибрационными нагрузками* (повышенный уровень вибрации может привести к разрушению элементов проточной части, подшипников, уплотнений).

7. Пожаровзрывоопасность обуславливается:

- *наличием горючего масла в маслосистемах и водорода в системе охлаждения генератора* (разгерметизация маслосистем, искра или открытый огонь могут привести к возгоранию);

- *нарушением правил эксплуатации электрооборудования, требований пожарной безопасности.*

Нештатные режимы работы турбоустановок

Классификация нештатных режимов. Нештатные режимы работы турбоустановок можно классифицировать по следующим признакам:

По характеру возмущений:

- аварийные сбросы нагрузки;
- отказы основного и вспомогательного оборудования;
- человеческий фактор;
- внешние воздействия (сейсмические, метеорологические).

По степени отклонения от номинального режима:

- ограниченно допустимые отклонения;
- предаварийные состояния;

- аварийные ситуации, требующие работы систем защиты оборудования.

По длительности:

- кратковременные переходные процессы;
- длительная работа с отклоненными параметрами.

Современные исследования демонстрируют, что наиболее критичными являются режимы с малыми пропусками пара в цилиндрах низкого давления, когда развиваются срывные явления и возникают не кратные частоте вращения колебания лопаток.

Для конденсационных турбин такие режимы характерны при пуске, для теплофикационных – при работе с прикрытой регулирующей диафрагмой.

Особенности исследования аварийности в нештатных режимах. Исследование аварийности при нештатных режимах работы имеет ряд специфических особенностей:

- высокая скорость протекания процессов требует применения систем регистрации с частотой дискретизации до 10 мс и менее для фиксации аварийных срезов параметров;

- нелинейность процессов обуславливает необходимость использования численного моделирования и экспериментальных методов с применением тензометрии и вибродиагностики;

- многофакторность предполагает одновременное влияние термических, механических и аэродинамических факторов, требующая комплексного подхода к анализу.

Отсутствие необходимого уровня автоматизации процессов приводит к необходимости наличия персонала, должной квалификации и знаний, готового к принятию соответствующих решений за минимальные сроки (от минуты до нескольких секунд).

Аварийные отключения оборудования по причине влияния человеческого фактора

Классификация ошибок оперативного персонала. В профессиональной деятельности оперативного персонала электрических цехов ТЭС выделяют три уровня ошибок.

Ошибки первого уровня – неверные действия в фазе реализации принятого в целом правильного решения. Это, так называемые, «прямые» ошибки, совершаемые при действиях с приводами коммутационных аппаратов, органами управления

и регулирования, установленными на панелях управления. К данному уровню относятся:

- неправильная ориентация в расположении оборудования или органов управления;

- случайные, непреднамеренные отклонения от требований нормативных документов;

- пропуск отдельных пунктов бланка переключений;

- путаница ключей управления или другие «механические» ошибки.

Ошибки второго уровня – ошибки в оперативных решениях, вызванные неправильным пониманием ситуации. Их причинами являются:

- неверный анализ ситуации;
- ошибочное диагностирование причин возникновения и перспектив развития событий;

- неправильная оценка возможных последствий действий.

Данные ошибки чаще всего проявляются в особо сложных и аварийных ситуациях, для которых заранее не подготовлено рациональное решение, и носят принципиальный характер, содержащийся в самом бланке или программе переключений.

Ошибки третьего уровня – умышленные отступления от требований нормативных документов, включая изменения, вносимые экспромтом. Психологической причиной является подмена эксплуатационной нормы не соответствующим требованиям порядком действий, принятым на данном объекте.

Виды ошибок при оперативных переключениях. Статистический анализ ошибочных действий оперативного персонала при переключениях в электроустановках позволяет выделить основные категории (табл. 1).

Наибольший удельный вес (42,6%) имеют ошибки, связанные с нарушением правильной последовательности операций и отключением не того аппарата. При этом из общего числа оперативных ошибок около 20% составляют случаи, когда имевшаяся блокировка могла бы предотвратить неверные действия, однако персонал выводил из действия блокировочное устройство. Если выделить все операции, при которых в принципе могут помочь существующие си-

стемы блокировки, то доля случаев с деблокировкой повышается до 35%.

Таблица 1

Вид ошибки	Доля в общем количестве, %
Отключение аппарата, которым оперировать не следовало	21,3
Ошибочная последовательность операций	21,3
Диспетчерские ошибки	16
Подача напряжения на заземленные токоведущие части	15,9
Заземление токоведущих частей, находящихся под напряжением	7,4
Ошибочные операции с устройствами РЗА	6,4
Ошибки, последствия которых не сказались на дальнейших переключениях	9,6
Прочие ошибки	2,1

Ошибки информационного и психологического характера. Помимо приведенной классификации, выделяют два вида коммутационных аварий.

Ошибки психологического характера – результат неправильной ориентации на месте производства операций, существенно зависящие от субъективных особенностей оперативного персонала [13]. Данные ошибки допускаются, несмотря на наличие информации, необходимой для предотвращения ошибки.

Ошибки информационные – вызваны отсутствием необходимой информации или сложностью ее восприятия, переработки и анализа. Являются результатом недостаточной осведомленности оперативного персонала о состоянии объекта и проявляются главным образом при переключениях на сложных объектах или в сложных ситуациях.

Приведенная классификация ошибок демонстрирует фундаментальную ограниченность человеческого фактора в управлении критически важными технологическими процессами. Ошибки психологического характера неустранимы априори – они обусловлены индивидуальными особенностями оператора, уровнем его усталости, эмоциональным состоянием и способностью к многозадачности в условиях дефицита времени. Информационные ошибки, в свою очередь, возникают из-за когнитивных ограничений человека при обработке больших массивов данных в реальном времени.

Современный уровень развития цифровых технологий – включая системы искус-

ственного интеллекта, машинного обучения и цифровых двойников – позволяет принципиально изменить парадигму управления энергоблоками. Автоматизированные системы принятия решений лишены субъективных факторов: они не подвержены усталости, стрессу или «человеческой ошибке», способны одновременно обрабатывать сотни параметров с частотой дискретизации в миллисекунды и формировать оптимальные управляющие воздействия на основе предиктивной аналитики.

Внедрение интеллектуальных систем поддержки принятия решений, способных не только диагностировать состояние оборудования, но и автономно генерировать управляющие команды в нештатных ситуациях, представляется наиболее перспективным направлением снижения аварийности. При этом человек должен быть переведен из непосредственного оперативного управления в функцию стратегического контроля и мониторинга работы автоматизированных систем, что минимизирует влияние когнитивных и психологических ограничений на надежность эксплуатации ТЭС.

Анализ причин ошибок персонала

Технические факторы. Одной из ключевых причин ошибок является ненадежность систем блокировок. Основная причина деблокировки – недоверие к блокировочным устройствам, как следствие имевших место в прошлом отказов этих устройств. Отказы блокировок возникают вследствие:

- недостатков конструкции и низкой надежности типовых блокировочных устройств;
- излишних запретов блокировкой допустимых операций;
- неполноты внедрения – блокировка вводится не на всех присоединениях или не для всех операций.

Обычно достаточно двух-трех повторений случаев излишних запретов, чтобы у всего сменного персонала возник стереотип неверия в эффективность блокировок.

Организационные факторы. К организационным причинам ошибок относятся:

- производство оперативных переключений без предварительного анализа состояния схемы и режима работы оборудования;

- невнимательный осмотр оборудования при его приемке по окончании ремонтных работ;

- отсутствие записей в оперативном журнале о выполненных операциях;

- необоснованное производство переключений без программы или бланка;

- использование неправильно составленного бланка или бланка, составленного не для данного вида переключений;

- нечеткая формулировка оперативного задания;

- выдача двух и более заданий одновременно в ситуациях, когда такая выдача недопустима;

- рассеивание внимания отвлечениями на другие работы;

- единоличное производство переключений в случаях, когда требуется контролирующее лицо.

Квалификационные и психофизиологические факторы. Недостатки в подготовке оперативного персонала проявляются в формировании образа профессионального мышления. В сложных аварийных ситуациях, для которых заранее не подготовлено рациональное решение, ошибки второго уровня становятся критическими. Как правило, к оперативной ошибке с тяжелыми последствиями приводит не единичное неправильное действие, а их цепочка, включающая от 2 до 8 «звеньев».

Последствия ошибок оперативного персонала

Влияние на работу энергообъекта. Ошибки оперативного персонала по-разному влияют на работу системы энергообъекта:

- ошибки, влекущие за собой отказы электрооборудования, являются необратимыми;

- ошибки, не приводящие к отказу оборудования, часто могут быть исправлены;

- накопление ошибок от различных источников требует комплексного подхода к их снижению.

Аварийные ситуации с участием человеческого фактора. Анализ аварий турбогенераторов показывает, что эксплуатационный персонал допускает более, чем в два раза больше нарушений регламента технического обслуживания по сравнению с ремонтными организациями и почти в 4,5 ра-

за по сравнению с заводами-изготовителями.

Пример 1. Авария турбогенератора ТГВ-500 произошла из-за пробоя изоляции лобовой части стержня на землю. За день до аварии температура стержня за 30 мин. выросла с 68 °С до 125 °С и более, однако термопреобразователь был отключен из-за предположительной неисправности по техническому решению руководства станции. Ошибка персонала заключалась в неправильном определении причины роста температуры стержней.

Пример 2. Авария турбогенератора ТВВ-200-2А произошла из-за плохого контакта в узле токоподвода, допущенного молодым малоопытным слесарем при сборке без контроля со стороны руководителей. Нарушение требований Типовой инструкции по эксплуатации и ремонту узла контактных колец привело к тепловому прогибу ротора и расплавлению элементов токоподвода.

Наиболее «неудобными» для эксплуатационного персонала являются щеточно-контактные аппараты (38,2% аварий), уплотнения вала и подшипники (18,8%), а также обслуживание статоров.

Системы сбора и обработки данных при нештатных режимах

Структура современных АСУ ТП турбоустановок. Современные автоматизированные системы управления технологическими процессами (АСУ ТП) турбоустановок строятся как распределенные, иерархические, многофункциональные комплексы.

Типовая структура включает:

- нижний уровень – микропроцессорные контроллеры, осуществляющие сбор и первичную обработку информации, реализацию технологических защит и локальных блокировок;

- верхний уровень – операторские станции с SCADA-системами, обеспечивающие визуализацию процессов, архивацию данных, управление и сигнализацию.

АСУ ТП выполняет циклический опрос технологических параметров в сравнении с предупредительными и аварийными уставками, регистрирует срабатывание защит с запоминанием первопричины, формирует отчетную документацию.

Специализированные системы мониторинга и диагностики. Системы удаленного мониторинга и диагностики осуществляют обработку, хранение и передачу данных от АСУ ТП, являясь основным хранилищем первичной информации о работе установок. Подобные системы в современных условиях и наличии необходимого оборудования для получения информации, а также на основании анализа архива за длительное время способны предупреждать о начале развития дефектов, до момента их развития с необходимостью аварийного отключения оборудования.

Вибрационные системы контроля позволяют проводить непрерывный мониторинг состояния подшипников, роторов и лопаточных аппаратов с выявлением преддефектных состояний.

Анализ существующих методов обработки данных. Современные системы сбора данных обеспечивают:

- непрерывную регистрацию сотен параметров с различной частотой дискретизации;
- автоматическую фиксацию событий и нарушений;
- долгосрочное архивирование для трендового анализа.

Однако существующие системы имеют ограничения в части:

- интеллектуальной обработки больших массивов данных для выявления скрытых закономерностей;
- прогнозирования развития дефектов на основе многопараметрического анализа;
- адаптации к специфике нештатных режимов с учетом индивидуальных характеристик конкретной турбоустановки.

Системы организации готовности персонала. Существующие условия требуют обеспечения необходимого уровня квалификации оперативного персонала для контроля над штатным режимом работы, обеспечением качественного прохождения переходных процессов, а также реакции при нештатных режимах работы (отклонение параметров / отключение оборудования и т.п.). К таким системам относятся:

- системы профессионального обучения и аттестации (первичная подготовка, периодическая аттестация, целевые курсы повышения квалификации);

- тренажерные системы (полномасштабные тренажеры энергоблоков, специализированные тренажеры, компьютерные симуляторы, виртуальные тренажеры);

- системы поддержания принятия решений (экспертные, автоматизированные рабочие места, системы раннего предупреждения, мобильные приложения);

- системы формирования культуры безопасности (расследование и анализ ошибок, обмен опытом, менторство, психологическая поддержка);

- системы контроля и коррекции готовности (контрольные проверки знаний, анализ действий в реальных авариях, мониторинг ошибочных действий, адаптация программ подготовки).

Методы исключения и снижения последствий ошибок персонала

Организационные меры. Совершенствование подготовки персонала. Необходимы мероприятия, направленные на повышение квалификации персонала, соблюдение технологической дисциплины, постоянное приобретение навыков с использованием специальных тренажеров для оперативного персонала. Формирование динамического образа профессионального мышления позволяет снизить вероятность ошибок второго уровня в сложных ситуациях.

Культура безопасности. Развитие культуры безопасности предполагает создание среды, где ошибки анализируются без обвинительного подхода, а акцент делается на извлечении уроков и совершенствовании процедур.

Технические меры. Усовершенствование систем блокировок. Требуется разработка специальных технических решений и устройств, исключающих возможность технической реализации неправильных действий персонала. При этом необходимо обеспечить высокую надежность блокировок, исключая ложные срабатывания, формирующие у персонала недоверие к системам.

Эргономическое совершенствование. Улучшение психофизических и эргономических условий работы персонала на рабочих местах, включая оптимизацию расположения органов управления, систем сигнализации и индикации.

Информационные системы поддержки. Интеллектуальные системы поддержки принятия решений. Современные АСУ ТП

должны обеспечивать оператора не только информацией о текущем состоянии, но и рекомендациями по действиям в нештатных ситуациях, автоматическую проверку правильности формируемых команд [14].

Системы мониторинга и диагностики. Внедрение систем удаленного мониторинга и диагностики позволяет своевременно выявлять отклонения параметров, предупреждая развитие аварийных ситуаций, связанных с ошибками оценки состояния оборудования.

Комплексный подход к управлению рисками. Для эффективного снижения ошибок персонала необходим баланс между организационными и техническими мерами. При накоплении в системе ошибок от различных источников общую ошибку можно значительно снизить путем уменьшения большей составляющей, так как сокращение меньшей оказывает незначи-

тельное влияние на общую ошибку системы.

Важным аспектом является взаимодействие между службами информационной безопасности и эксплуатации АСУ ТП. Необходимо создание кросс-функциональных рабочих групп, адаптация стандартов информационной безопасности под специфику промышленных систем управления, постепенное сближение подходов ИТ и АСУ ТП.

Исходя из приведённого материала, можно изложить иерархию нештатных режимов работы с факторами и причинами аварийности (в т.ч. аварийным отключением при причине влияния человеческого фактора), анализом выявления причин и доступными системами сбора и обработки данных при нештатных ситуациях, а также методами исключения и снижения последствий ошибок персонала (рис. 1).

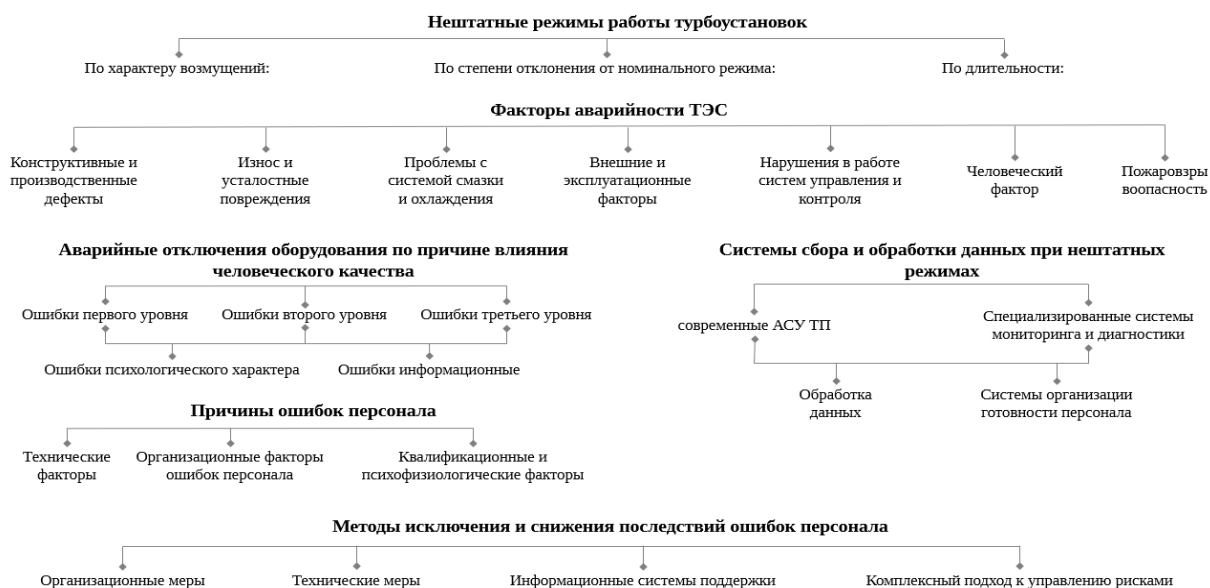


Рис. 1. Таксономия нештатных режимов работы турбоустановок [5]

Постановка задачи исследования

На основании проведенного анализа можно сформулировать следующие направления исследований:

1. Развитие методов комплексного анализа факторов аварийности, учитывающих взаимосвязь термических, механических и аэродинамических процессов при нештатных режимах.

2. Создание адаптивных моделей оценки остаточного ресурса критических элементов турбоустановок на основе данных мониторинга реальных режимов работы.

3. Разработка интеллектуальных алгоритмов обработки массивов данных АСУ ТП для раннего выявления преддефектных состояний и прогнозирования аварийных ситуаций.

4. Определение влияния человеческого фактора для нахождения объема систем управления, которые должны оставаться в «ручном» режиме контроля и управления.

5. Развитие тренажерной подготовки и внедрение культуры безопасности производства, а также подготовки и обучения персонала, для обеспечения необходимого

уровня его квалификации с целью организации правильного принятия решений и действий при нештатных ситуациях в работе оборудования.

6. Формирование методологии оценки рисков эксплуатации турбоустановок в условиях переменной нагрузки с учетом экономических и надежности критериев, а также вмешательством человека.

Выводы. Анализ современного уровня исследований показывает, что проблема обеспечения надежности турбоустановок при нештатных режимах работы остается актуальной, особенно в условиях возрастающих требований к операционной гибкости энергоблоков.

Существующие методы анализа факторов аварийности требуют интеграции с современными системами сбора данных для повышения достоверности оценки технического состояния оборудования.

Нештатные режимы работы, связанные с переменными нагрузками и частыми пусками и остановами, создают повышенные риски для ресурса критических элементов турбоустановок, что требует развития специализированных методов мониторинга и прогнозирования.

Перспективным направлением исследований является создание комплексных систем анализа, объединяющих возможности АСУ ТП, систем вибродиагностики и интеллектуальных методов обработки данных для повышения безопасности и эконо-

мичности эксплуатации турбоустановок электрических станций.

Ошибки оперативного персонала остаются значимым фактором риска при эксплуатации ТЭС, составляя от 11% до 35% случаев в зависимости от категории оборудования и учета возможностей технических средств предотвращения.

Наиболее распространенными являются ошибки первого уровня (механические ошибки при реализации решений) и ошибки, связанные с нарушением последовательности операций. При этом существенную долю составляют случаи умышленного отключения блокировок из-за недоверия к их надежности.

Эффективное снижение ошибок требует комплексного подхода, включающего совершенствование технических средств (повышение надежности блокировок, внедрение интеллектуальных систем поддержки), организационных мер (тренажерная подготовка, формирование культуры безопасности) и эргономической оптимизации рабочих мест.

Перспективным направлением является создание адаптивных систем человеко-машинного взаимодействия, учитывающих психофизиологические особенности операторов и обеспечивающих многоуровневую защиту от ошибок без снижения оперативности управления.

Список источников

1. Предлагаемый режим работы ПГУ на переменных нагрузках / Аракелян А.А. и др. // Теплоэнергетика. 2024. №2. С. 15–24.
2. Алекин Д.Ю., Яговкин Г.Н. Анализ ошибочных действий оперативного персонала при переключении в процессе эксплуатации электроустановок // Безопасность и охрана труда. 2017. №2.
3. Гладышев Г.П., Гуревич Ю.В. Надежность теплоэнергетического оборудования ТЭС и АЭС. М.: Энергоатомиздат, 1991.
4. Иванов В.А., Петров С.Н. Анализ надёжности систем управления ТЭС // Электрические станции. 2023. №5. С. 12–18.
5. Главные ошибки при защите АСУ ТП и как их избежать. [сайт]. URL: <https://Anti-Malware.ru>. 2025.
6. Научно-технический журнал «Энергия единой сети». [сайт]. URL: <https://Энергия-единой-сети.рф>

7. Электронный научный архив Уральского Федерального Университета. [сайт]. URL: <https://elar.urfu.ru>
8. Металл паросилового оборудования электростанций. Методы металлографического анализа в условиях электростанций. СПб 33240.17.102–25.
9. Причины и последствия аварий и отказов турбогенераторов // Электро-НТ [сайт]. URL: <https://elektro-nt.ru/>
10. Суслов В.Е. Электрогидравлическая система регулирования и защиты паровой турбины // ИСУП. 2007. №4(16).
11. ТКП 294–2010. Обоснование безопасности атомной электростанции. Минск, 2010.
12. Яганов А.М. Экспериментальное исследование влияния режимных факторов на вибрационное состояние и ресурс рабочих лопаток последних ступеней мощных теплофикационных турбин: дис. ... канд. техн. наук. 2004.

13. Петров А.М., Володина К.А., Беляева Т.А. Роль психофизиологических особенностей человека в его профессиональном развитии // *Образование и саморазвитие*. 2019. Т. 14, №4. С. 63–71.

14. Петров А.М., Попов А.Н. Лабораторные испытания измерительно-вычислительного комплекса для диагностики термодинамических процессов однофазных потоков // *Инновации и инвестиции*. 2022. № 7. С. 81–85.

References

1. The proposed mode of operation of the CCGT at alternating loads / A.A. Arakelyan [et al.] // *Thermal power Engineering*. 2024;2: 15–24. (In Russ.).

2. Alekin D.Yu., Yagovkin G.N. Analysis of erroneous actions of operational personnel during switching during operation of electrical installations // *Occupational safety and health*. 2017;2. (In Russ.).

3. Gladyshev G.P., Gurevich Yu.V. Reliability of thermal power equipment of thermal power plants and nuclear power plants. Moscow: Energoatomizdat, 1991.

4. Ivanov V.A., Petrov S.N. Reliability analysis of thermal power plant control systems // *Electric stations*. 2023;5:12–18. (In Russ.).

5. The main mistakes in the protection of automated process control systems and how to avoid them. [website]. URL: <https://Anti-Malware.ru> . 2025.

6. Scientific and technical journal «United Grid Energy». [website]. URL: <https://Energy-of-a-single-grid.Russian-Federation>

7. Electronic Scientific Archive of the Ural Federal University. [website]. URL: <https://elar.urfu.ru>

8. Metal of steam power equipment of electric power plants. Methods of metallographic analysis in conditions of power plants. STP 33240.17.102–25.

9. Causes and consequences of accidents and failures of turbogenerators // *Electro-NT*. [website]. URL: <https://elektro-nt.ru/>

10. Suslov V.E. Electrohydraulic control and protection system of a steam turbine. 2007. №4(16).

11. ТКР 294–2010. Justification of nuclear power plant safety. Minsk, 2010.

12. Yaganov A.M. Experimental study of the influence of regime factors on the vibration state and service life of the working blades of the last stages of powerful heating turbines: dis. ... Candidate of Technical Sciences. 2004.

13. Petrov A.M., Volodina K.A., Belyaeva T.A. The role of psychophysiological characteristics of a person in his professional development // *Education and self-development*. 2019;14(4):63–71. (In Russ.).

14. Petrov A.M., Popov A.N. Laboratory tests of a measuring and computing complex for diagnostics of thermodynamic processes of single-phase flows // *Innovations and investments*. 2022;7:81–85. (In Russ.).

Научный вестник Арктики. 2026. №21. С. 55–62.
Scientific Bulletin of the Arctic. 2026;(21):55–62.

Технические науки

Научная статья

УДК 621.7.001.73/76

doi: 10.52978/25421220_2026_21_55–62

**КЛЮЧЕВЫЕ АСПЕКТЫ РАЗРАБОТКИ И ОПТИМИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЙ
ПРОИЗВОДСТВА МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ МАШИН И ОБОРУДОВАНИЯ**

Федоров Андрей Аполлинарьевич

Заполярный государственный университет им. Н.М. Федоровского, Норильск, Россия

Email: Afedr.chr@gmail.com

Кармановская Наталья Владимировна

Заполярный государственный университет им. Н.М. Федоровского, Норильск, Россия

E-mail: karmanovskayanv@norvuz.ru

Хаджакаев Даниял Ильясович

Заполярный государственный университет им. Н.М. Федоровского, Норильск, Россия

E-mail: khadzhakaevdi@icloud.com

Аннотация. Рассматриваются ключевые технологические направления, определяющие современное состояние производства металлургических машин и оборудования. Анализируются роль концепции Индустрии 4.0 как системообразующей основы цифровой трансформации отрасли, потенциал цифровых двойников для оптимизации производственных процессов, методы интеллектуального прогнозного мониторинга, а также системы автоматического управления электромеханическими комплексами прокатных станов. Показано, что совместное применение перечисленных технологий позволяет существенно повысить эффективность, надёжность и конкурентоспособность металлургического производства.

Ключевые слова: металлургическое оборудование, цифровой двойник, Индустрия 4.0, прокатный стан, прогнозное техническое обслуживание, машинное обучение, оптимизация производства.

Для цитирования: Федоров А.А., Кармановская Н.В., Хаджакаев Д.И. Ключевые аспекты разработки и оптимизации технологий производства металлургических машин и оборудования // Научный вестник Арктики. 2026. №21. С. 55–62. https://doi.org/10.52978/25421220_2026_21_55–62.

Technical sciences

Original article

**KEY ASPECTS OF THE DEVELOPMENT AND OPTIMIZATION
OF TECHNOLOGIES FOR THE PRODUCTION OF METALLURGICAL
MACHINERY AND EQUIPMENT**

Andrey A. Fedorov

Fedorovsky Polar State University, Norilsk, Russia

Email: Afedr.chr@gmail.com

Natalia V. Karmanovskaya

Fedorovsky Polar State University, Norilsk, Russia

E-mail: karmanovskayanv@norvuz.ru

Daniyal I. Hadzhakaev

Fedorovsky Polar State University, Norilsk, Russia

E-mail: khadzhakaevdi@icloud.com

Abstract. The key technological directions that determine the current state of production of metallurgical machinery and equipment are considered. The article analyzes the role of the Industry 4.0 concept as the backbone of the digital transformation of the industry, the potential of digital twins to optimize production processes, methods of intelligent predictive monitoring, as well as automatic control systems for electromechanical complexes of rolling mills. It is shown that the combined use of these technologies can significantly improve the efficiency, reliability and competitiveness of metallurgical production.

Keywords: metallurgical equipment, digital twin, Industry 4.0, rolling mill, predictive maintenance, machine learning, production optimization.

For citation: Fedorov A.A., Karmanovskaya N.V., Khadzhakaev D.I. Key aspects of the development and optimization of production technologies for metallurgical machinery and equipment. *Scientific Bulletin of the Arctic*. 2026;(21): 55–62. https://doi.org/10.52978/25421220_2026_21_55-62.

Металлургическое машиностроение — одна из наиболее капиталоемких и технологически сложных отраслей промышленности, от состояния которой напрямую зависит конкурентоспособность сталелитейного, горнодобывающего и нефтегазового секторов экономики. Производство прокатных станов, дробилок, конвертеров, кузнечно-прессового оборудования традиционно требует точного соблюдения технических регламентов, высоких допусков при механической обработке и непрерывного контроля качества на каждом производственном этапе. Вместе с тем, начиная примерно с 2019 года, отрасль переживает стремительную цифровую трансформацию, которая меняет саму логику организации производства.

Понятие «Индустрия 4.0» — термин, изначально предложенный в 2011 г. на промышленной выставке в Ганновере, — сегодня стало ориентиром для технологической политики большинства крупных металлургических предприятий [1]. Согласно описанию, данному А.В. Фоминой и К.Ю. Мухиным, в основе этой концепции лежат четыре ключевых компонента: киберфизические системы, промышленный интернет вещей, умные фабрики и интернет услуг [1]. Применительно к металлургическому машиностроению каждый из этих компонентов приобретает вполне конкретное содержание: датчики на прокатных клетях, облачные платформы сбора производственных данных, цифровые двойники агрегатов и системы предиктивного обслуживания.

Настоящая статья ставит целью систематизировать актуальные подходы к разработке и оптимизации производственных технологий в данной отрасли. Рассматриваются четыре взаимосвязанных направ-

ления: цифровые двойники как инструмент управления производственными процессами; компьютерное моделирование в жизненном цикле оборудования; системы прогнозного мониторинга технического состояния машин; оптимизация электромеханических систем прокатных станов с применением методов машинного обучения.

Четвёртая промышленная революция принципиально отличается от предыдущих тем, что автоматизации подвергаются не только физические операции, но и процессы принятия решений. Как отмечает А.В. Фомина, эта трансформация переводит автоматизацию производственных процессов на принципиально новый уровень — уровень гибкого индивидуализированного производства [1]. Металлургическое машиностроение здесь не исключение: крупнейшие производители прокатного оборудования — такие как SMS Group, Danieli и отечественный «Уралмашзавод» — активно внедряют цифровые технологии управления не только в готовые изделия, но и в собственные производственные процессы.

Среди практических эффектов цифровизации особого внимания заслуживают три направления. Прежде всего, это интеграция производственных данных в единую информационную среду предприятия, что позволяет перейти от реактивного к проактивному управлению качеством. Далее — повсеместное внедрение систем мониторинга в реальном времени, обеспечивающих непрерывный контроль состояния оборудования. Наконец, использование методов анализа больших данных для выявления закономерностей, недоступных при традиционном подходе к управлению производством.

Приведённые в табл. 1 данные носят обобщённый характер и отражают типовые

результаты, описываемые в профильной литературе применительно к машиностроительным предприятиям, реализовавшим комплексные программы цифровой трансформации. Конкретные значения варьируются в зависимости от масштаба предприятия, типа оборудования и глубины интеграции цифровых решений.

Таблица 1

Сравнение производственных показателей до и после внедрения концепции Индустрии 4.0

Показатель	До внедрения И4.0	После внедрения И4.0	Изменение
Время переналадки оборудования	4–8 ч	1–2 ч	–60–75%
Незапланированные простои	8–12% фонда времени	2–4%	–60–70%
Расход энергии на тонну продукции	Базовый уровень	–15–20%	Снижение
Доля брака в партии	1,5–3%	0,3–0,8%	–70–80%
Срок вывода изделия на рынок	18–24 мес.	10–14 мес.	–30–40%

Концепция цифрового двойника занимает центральное место среди инструментов оптимизации производства в рамках Индустрии 4.0. По определению, принятому в отечественной научной литературе, цифровой двойник представляет собой виртуальную модель физического объекта, позволяющую предприятиям выходить на новый этап технологического развития и повышать конкурентоспособность на рынке [2]. Важнейшее свойство этой технологии состоит в том, что модель не утилизируется после создания физического изделия, а сопровождает его на протяжении всего жизненного цикла – при проектировании, испытаниях, эксплуатации и утилизации.

Б.Я. Лихтциндер и П.А. Ольберг разграничивают несколько типов виртуальных моделей по степени их взаимодействия с реальным объектом [3]. Статические модели описывают геометрические и конструктивные характеристики изделия. Динамические модели учитывают поведение объекта во времени под воздействием различных нагрузок. Собственно цифровой двойник – это наиболее развитая форма: модель, получающая данные с датчиков реального устройства в режиме реального времени и обеспечивающая двусторонний

обмен информацией между физическим и виртуальным пространствами. Именно такие системы обеспечивают возможность прогнозировать отказы, моделировать нештатные ситуации и оптимизировать режимы работы без остановки производства.

Д.А. Сосфенов приводит конкретные примеры (табл. 2) применения цифровых двойников на производственных предприятиях и показывает, что их внедрение позволяет сократить время производственного цикла, снизить затраты и повысить качество продукции [2]. В металлургическом машиностроении наиболее распространено применение цифровых двойников при проектировании узлов, подверженных высоким циклическим нагрузкам: валков прокатных станов, шестерён редукторов, тяжело нагруженных подшипниковых опор. Виртуальная отработка конструкции позволяет выявить концентраторы напряжений и скорректировать геометрию детали ещё на этапе проектирования, что существенно сокращает количество дорогостоящих натурных испытаний.

Таблица 2

Типы цифровых двойников и их применение в производстве металлургических машин

Тип модели	Основная функция	Примеры применения в металлургии
Цифровая тень	Сбор и визуализация данных в реальном времени	Мониторинг состояния прокатных валков
Цифровая модель	Статическое проектирование и расчёт	Прочностной анализ корпусов редукторов
Цифровой двойник	Двусторонний обмен данными с объектом	Адаптивное управление режимами прокатки
Цифровой двойник производственной системы	Управление материальными потоками	Оптимизация логистики заготовочного участка

Рынок цифровых двойников демонстрирует взрывной рост. По данным аналитического агентства Markets&Markets, объём этого рынка вырос с 3 млрд. долларов до 48 млрд. в 2022 г., при том что прогнозные оценки 2021 г. предполагали достижение уровня 15,6 млрд. лишь к 2025 г. [2]. Столь значительное превышение прогнозных

значений объясняется, по мнению исследователей, резким ускорением цифровой трансформации промышленности в период пандемии COVID–19. По состоянию на конец 2024 г. около 29% производственных компаний в мире полностью внедрили или находились в процессе внедрения стратегии цифровых двойников для части своих производственных активов.

Эксплуатация металлургических машин сопряжена с воздействием целого комплекса деградирующих факторов: циклических механических нагрузок, высоких температур, агрессивных сред и вибрации. В этих условиях традиционный подход к техническому обслуживанию – плановые ремонты по регламенту – перестаёт быть оптимальным: он либо приводит к излишним затратам на обслуживание ещё исправного оборудования, либо не предотвращает внезапные отказы в промежутке между ремонтными циклами.

В.И. Королев систематизирует современные методы прогнозного мониторинга технического состояния электрических машин (табл. 3) и приходит к выводу, что любые незапланированные простои машин и систем способны ухудшить или прервать основную деятельность предприятия, что потенциально ведёт к значительным финансовым потерям и репутационным рискам [4]. Для выявления признаков деградации узлов используется анализ вибрационных сигналов, тепловизионный контроль, спектральный анализ токов статора электродвигателей и акустическая эмиссия. Принципиальная сложность заключается не в сборе данных, а в их грамотной интерпретации: выявлении аномалий на фоне рабочих шумов и прогнозировании момента достижения критического состояния.

Именно здесь методы машинного обучения открывают принципиально новые возможности. В статье, посвящённой применению машинного обучения для прогнозирования состояния электромеханических систем прокатного производства [4], показано, что нейро-нечёткие алгоритмы, обученные на математических моделях прокатного стана, обеспечивают высокую достоверность прогноза возникновения неисправностей [5]. Использование косвенных экспериментов на математической модели при отсутствии возможности собрать доста-

точный объём реальных данных об отказах – характерное решение для тяжёлого оборудования с длительными межремонтными интервалами.

Таблица 3

Методы прогнозного мониторинга и их применимость к металлургическому оборудованию

Метод мониторинга	Контролируемые параметры	Применимость к металлургии	Точность прогноза
Вибродиагностика	Амплитуда и частота вибраций	Подшипники, редукторы, прокатные клетки	Высокая
Анализ токов статора (MCSA)	Гармоники тока двигателя	Электроприводы, прокатных станов	Средняя–высокая
Тепловизионный контроль	Температурные поля	Подшипниковые опоры, контакты	Средняя
Нейро-нечёткие алгоритмы МО	Комплекс косвенных параметров	Электро-механические системы	Высокая
Акустическая эмиссия	Акустический сигнал при трещинообразовании	Сварные конструкции, литые детали	Средняя

Аддитивное производство – один из наиболее динамично развивающихся технологических сегментов в современном машиностроении. В отличие от традиционных субтрактивных методов обработки, при которых нужна форма получается за счёт удаления материала в стружку, аддитивные технологии основаны на послойном выращивании, наплавлении или напылении материала по цифровой модели [8]. Принципиальное значение этого различия для металлургического машиностроения трудно переоценить: именно сложность геометрии и высокие требования к точности изготовления деталей металлургического оборудования традиционно были главным ограничением для освоения новых конструктивных решений.

Д.Ю. Финогеев и О.П. Решетникова выделяют среди наиболее востребованных в точном машиностроении методов аддитивного производства (табл. 4) технологии SLM (селективное лазерное сплавление), FDM (моделирование методом наплавления) и SLS (селективное лазерное спекание) [8]. Для изготовления металлических деталей металлургического оборудования наибольший практический интерес пред-

ставляет SLM: процесс послойного сплавления металлического порошка сфокусированным лазерным лучом позволяет получать изделия с относительной плотностью

до 99,9%, механические свойства которых сопоставимы с характеристиками деталей, изготовленных традиционными методами.

Таблица 4

Сравнение методов аддитивного производства применительно к деталям металлургических машин

Метод	Принцип	Материалы	Точность / Ra	Типичные детали МО
SLM	Лазерное сплавление порошка	Стали, нержавеющей, титан, никелевые сплавы	$\pm 0,05-0,1$ мм / Ra 6–12	Форсунки, сопла, штуцеры, кронштейны
DED / LMD	Прямая лазерная наплавка проволоки/порошка	Стали, твёрдые сплавы	$\pm 0,1-0,3$ мм	Восстановление валков, наплавка износостойких покрытий
FDM	Послойное наплавление термопластика	Полимеры, композиты	$\pm 0,2-0,4$ мм	Литейные модели, технологическая оснастка
Binder Jetting	Струйное нанесение связующего в порошок	Стали, бронза, карбид вольфрама	$\pm 0,1-0,2$ мм	Прототипы, оснастка для литья

Среди ключевых преимуществ аддитивного производства применительно к металлургическому оборудованию выделяют несколько направлений. Возможность изготовления деталей любой геометрической сложности без необходимости создания специальной технологической оснастки [8] позволяет, в частности, реализовывать внутренние каналы охлаждения в пресс-формах и штампах, что принципиально недостижимо при традиционной механической обработке. Минимизация потерь материала и отходов производства сокращает расход дорогостоящих специальных сталей и сплавов при изготовлении ответственных узлов. Наконец, упрощение логистики и сокращение сроков поставок через возможность изготовления запасных частей непосредственно на предприятии-потребителе оборудования – особенно актуальное преимущество в условиях ограниченного импорта технологического оборудования.

Особую роль аддитивные технологии играют в задачах ремонта и восстановления изношенного металлургического оборудования. Технология прямой лазерной наплавки (DED/LMD) позволяет наносить износостойкие покрытия на рабочие поверхности прокатных валков, направляющих и других узлов, подверженных интенсивному абразивному или адгезионному износу. Это открывает возможность многократного восстановления дорогостоящих крупногабаритных деталей, которые при традиционном подходе подлежат полной замене. Российская госкорпорация «Роса-

том» через своё бизнес-направление «Аддитивные технологии» выстраивает полный цикл производства – от разработки 3D-принтеров и металлических порошков до сертификации изделий – и последовательно тиражирует эту компетенцию на металлургические и машиностроительные предприятия [9].

Вместе с тем аддитивное производство сопряжено с рядом ограничений, которые необходимо учитывать при проектировании производственных процессов. Характерная пористость изделий SLM при нарушении режимов обработки, анизотропия механических свойств вдоль направления построения и необходимость постобработки поверхностей с точными допусками по-прежнему остаются предметом активных исследований. Тем не менее, темп роста российского рынка аддитивных технологий, превысивший 60% в 2025 г. по сравнению с 2024 г., свидетельствует о том, что отрасль преодолевает эти барьеры достаточно быстро [9].

Прокатный стан – одна из наиболее сложных электромеханических систем в металлургии. Главная прокатная клеть, межклетевые петледержатели, транспортные рольганги и системы нажимных устройств образуют многосвязную систему, динамические характеристики которой существенно влияют на геометрическую точность и механические свойства готового проката. Исследование, выполненное А.А. Радионым, В.Р. Гасияровым и коллегами применительно к реверсивной кле-

ти толстолистового прокатного стана 5000 ПАО «ММК», наглядно демонстрирует масштаб проблемы [6].

В ходе экспериментальных исследований переходных процессов в режиме захвата металла валками авторы зафиксировали недопустимые динамические нагрузки колебательного характера и потерю управляемости электропривода – именно эти явления подтвердили необходимость разработки специальных методов управления, обеспечивающих ограничение моментов двигателя и шпинделя [6]. Предложенное решение на основе наблюдателя упругого момента позволяет в реальном времени оценивать динамический момент в механической трансмиссии и использовать эту информацию для адаптивной коррекции задания регулятору тока.

Задача снижения энергопотребления не менее актуальна. Прокатные станы относятся к наиболее энергоёмким агрегатам металлургического предприятия: суммарная установленная мощность электроприводов широкополосного стана горячей прокатки может превышать 180 МВт. Оптимизация режимов прокатки – расписания обжатий, скоростей и натяжений полосы – позволяет снизить удельный расход электроэнергии и одновременно улучшить качество готового проката по геометрическим параметрам. При этом задача носит многокритериальный характер, что делает применение интеллектуальных алгоритмов оптимизации особенно перспективным.

Рассмотренные в табл. 5 технологические направления не существуют изолированно – их реальная ценность раскрывается при совместном применении в рамках единой цифровой экосистемы предприятия. Данные вибродиагностики и токового мониторинга питают алгоритмы машинного обучения, которые, в свою очередь, обновляют параметры цифровых двойников оборудования. Цифровой двойник прокатного стана позволяет в виртуальной среде отработать стратегии управления и прогнозировать последствия изменения технологических режимов без рисков для реального производства. Наблюдатели состояния и адаптивные регуляторы, синтезированные на основе таких моделей, повышают устойчивость электромеханических систем и

снижают динамические нагрузки в трансмиссии.

Таблица 5

Основные направления оптимизации прокатного оборудования и применяемые методы

Направление оптимизации	Применяемые методы	Ожидаемый эффект
Ограничение динамических нагрузок	Наблюдатель упругого момента, адаптивный регулятор	Снижение усталостного износа трансмиссии
Снижение удельного энергопотребления	Многокритериальная оптимизация расписания обжатий	–8–15% расхода электроэнергии
Повышение точности геометрии проката	Системы автоматического регулирования толщины (AGC)	Снижение допуска по толщине на 30–50%
Прогнозирование неисправностей электропривода	Нейро-нечёткие алгоритмы, МО на данных с датчиков	Сокращение внеплановых простоев
Согласование скоростей клеток	Адаптивные алгоритмы минимизации натяжений	Улучшение планшестности полосы

Аддитивные технологии органично встраиваются в эту экосистему: цифровая модель детали, созданная в среде CAD, напрямую используется как для построения цифрового двойника, так и для управления 3D-принтером при изготовлении или восстановлении изношенного компонента. Такая сквозная цифровизация от проектирования до ремонта – один из ключевых трендов, определяющих конкурентоспособность металлургических машиностроителей в ближайшем десятилетии. Киберфизические системы управления обеспечивают непрерывный мониторинг и предоставление информации в реальном времени о производственных процессах и системах [6], снижая потребное число производственного персонала и переводя рутинные операции в полностью автоматический режим.

Немаловажна и экономическая составляющая. Переход от планового обслуживания к обслуживанию по фактическому состоянию, реализуемый через системы прогнозного мониторинга, позволяет сократить совокупные затраты на техническое обслуживание и ремонты при одновременном росте надёжности оборудования. Применение аддитивных технологий для изго-

товления запасных частей на месте эксплуатации снижает простои, связанные с ожиданием поставки, и сокращает объём складских запасов. Цифровые двойники производственных систем открывают возможность виртуально протестировать изменения в технологическом процессе – без остановки производства и финансовых рисков, неизбежных при натурном эксперименте.

Анализ современного состояния технологий в области разработки и оптимизации производства металлургических машин и оборудования позволяет сформулировать ряд выводов. Концепция Индустрии 4.0, опираясь на кибер-физические системы, промышленный интернет вещей и облачные платформы, задаёт системный контекст для цифровой трансформации отрасли. Цифровые двойники становятся универсальным инструментом сопровождения изделия на протяжении всего жизненного цикла – от проектирования до утилизации. Системы прогнозного мониторинга на основе методов машинного обучения переводят управление техническим состоянием оборудования из реактивного режима в проак-

тивный. Задачи оптимизации электромеханических систем прокатных станов решаются наиболее эффективно при комплексном применении цифровых двойников, адаптивных регуляторов и интеллектуальных алгоритмов. Наконец, аддитивные технологии – прежде всего SLM и прямая лазерная наплавка – открывают принципиально новые возможности как при изготовлении деталей сложной геометрии, так и при восстановлении изношенного оборудования непосредственно на предприятии-эксплуатанте.

Дальнейшее развитие данного направления связано с углублением интеграции перечисленных технологий в единую производственную экосистему, совершенствованием методов обучения нейросетевых моделей в условиях ограниченного объёма данных об отказах, стандартизацией аддитивных процессов применительно к ответственным деталям металлургического оборудования, а также адаптацией мирового опыта к условиям отечественного металлургического машиностроения в контексте задач импортозамещения.

Список литературы

1. Фомина А.В., Мухин К.Ю. Индустрия 4.0. Основные понятия, преимущества и проблемы // КиберЛенинка. 2020. [сайт]. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/industriya-4-0-osnovnye-ponyatiya-preimushchestva-i-problemy>
2. Сосфенов Д.А. Цифровой двойник как инструмент оптимизации производственных процессов // КиберЛенинка. 2023. [сайт]. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/tsifrovoy-dvoynik-kak-instrument-optimizatsii-proizvodstvennyh-protsessov>
3. Лихтциндер Б.Я., Ольберг П.А. Моделирование и цифровые двойники // Вестник Самарского государственного технического университета. Серия: Технические науки. 2022. Т. 30. №4(76). С. 20–32.
4. Королев В.И. Методы прогнозного мониторинга технического состояния электрических машин // Электротехнические и информационные комплексы и системы. 2023. Т. 19. №2. С. 62–72.
5. Применение методов машинного обучения в рамках прогнозирования состояния электромеханических систем прокатного производства // КиберЛенинка. [сайт]. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/primenenie-metodov-mashinnogo-obucheniya-v-ramkah-prognozirovaniya-sostoyaniya-elektromekhanicheskikh-sistem-prokatnogo-proizvodstva>
6. Регулирование координат электромеханической системы прокатного стана на основе наблюдателя упругого момента / А.А. Радионов, В.Р. Гасияров, Е.А. Гартлиб, Б.М. Логинов, К.Э. Одинцов // КиберЛенинка. [сайт]. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/regulirovanie-koordinat-elektromekhanicheskoy-sistemy-prokatnogo-stana-na-osnove-nablyudatelya-uprugogo-momenta>
7. Методы оптимизации расходов энергии процессов проката // КиберЛенинка. [сайт]. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/metody-optimizatsii-rashodov-energii-protsessov-prokata>
8. Финогеев Д.Ю., Решетникова О.П. Аддитивные технологии в современном производстве деталей точного машиностроения // КиберЛенинка. 2020. [сайт]. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/additivnye-tehnologii-v-sovremennom-proizvodstve-detaley-tochnogo-mashinostroeniya>
9. Объем российского рынка аддитивных технологий за год вырос на 40% и достиг 18,3 млрд. рублей // TAdviser. 2024. [сайт]. URL: [https://www.tadviser.ru/index.php/Статья:3D-печать_\(аддитивные_технологии\)_в_России](https://www.tadviser.ru/index.php/Статья:3D-печать_(аддитивные_технологии)_в_России)

References

1. Fomina A.V., Mukhin K.Y. Industry 4.0. Basic concepts, advantages and problems // CyberLeninka. 2020. [website]. URL: <https://cyber-leninka.ru/article/n/industriya-4-0-osnovnye-po-nyatiya-preimuschestva-i-problemy>
2. Sosfenov D.A. The digital twin as an instrument for optimizing production processes // CyberLeninka. 2023. [website]. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/tsifrovoy-dvoy-nik-kak-instrument-optimizatsii-proizvod-stven-nyh-protssessov>
3. Lichtzinder B.Ya., Olberg P.A. Modeling and digital doubles // *Bulletin of the Samara State Technical University. Series: Technical Sciences*. 2022;30;4(76):20–32. (In Russ.).
4. Korolev V.I. Methods of predictive monitoring of the technical condition of electric machines // *Electrotechnical and information complexes and systems*. 2023;19(2):62–72. (In Russ.).
5. Application of machine learning methods in the framework of forecasting the state of electromechanical systems of rolling production // CyberLeninka. [website]. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/primenenie-metodov-mashinnogo-obucheniya-v-ramkah-prognozirovaniya-sostoyaniya-elektromehaniicheskikh-sistem-prokatnogo-proizvodstva>
6. Regulation of the coordinates of the electromechanical system of a rolling mill based on an elastic moment observer / A.A. Radionov, V.R. Gasiyarov, E.A. Gartlib, B.M. Loginov, K.E. Odintsovo // CyberLeninka. [website]. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/regulirovanie-koordinat-elektromehaniicheskoy-sistemy-prokatnogo-stana-na-osnove-nablyudatelya-uprugogo-momenta>
7. Methods for optimizing the energy consumption of rental processes // CyberLeninka. [website]. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/metody-optimizatsii-rashodov-energii-protssessov-prokata>
8. Finogeev D.Yu., Reshetnikova O.P. Additive technologies in modern production of precision engineering parts // CyberLeninka. 2020. [website]. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/additivnye-tehnologii-v-sovremennom-proizvodstvedetaley-tochnogo-mashinostroeniya>
9. The volume of the Russian market of additive technologies increased by 40% over the year and reached 18.3 billion rubles // TAdviser. 2024. [website]. URL: [https://www.tadviser.ru/index.php/Статья:3Dprint_\(additive_technology\)_Of_Russia](https://www.tadviser.ru/index.php/Статья:3Dprint_(additive_technology)_Of_Russia)

Научный вестник Арктики. 2026. №21. С. 63–67.
Scientific Bulletin of the Arctic. 2026;(21):63–67.

Технические науки

Научная статья

УДК 622.75/77

doi: 10.52978/25421220_2026_21_63–67

**ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ СГУСТИТЕЛЕЙ
В ГОРНО-ОБОГАТИТЕЛЬНОЙ ОТРАСЛИ**

Глубокова Людмила Геннадьевна

Заполярный государственный университет им. Н.М. Федоровского, Норильск, Россия

E-mail: GlubokovaLG@norvuz.ru

Лаговская Елена Владимировна,

Заполярный государственный университет им. Н.М. Федоровского, Норильск, Россия

E-mail: Lagovskayaev@norvuz.ru

Фидаров Батраз Фидарович

Заполярный государственный университет им. Н.М. Федоровского, Норильск, Россия

E-mail: fidarovbf@edu.norvuz.ru

Аннотация. В статье проведен обзор основных научных исследований и инженерных разработок по оптимизации процессов сгущения. В настоящее время в РФ и СНГ ощущается острая потребность в обновлении тысяч эксплуатируемых сгустителей разных типов. Из-за геополитических сдвигов и глобального экономического кризиса резко вырос интерес к надёжному российскому оборудованию для горнодобывающей промышленности и обогащения, полностью исключающему импортозависимость. Это даёт шанс отечественной науке и бизнесу скооперироваться, чтобы вернуть лидерство в технологиях сгущения технологических пульп и рециркуляции воды.

Ключевые слова: сгустители, горно-обогачительное оборудование, горно-обогачительная отрасль, патенты на изобретение.

Для цитирования: Глубокова Л.Г., Лаговская Е.В., Фидаров Б.Ф. Проблемы и перспективы применения сгустителей в горно-обогачительной отрасли // Научный вестник Арктики. 2026. №21. С. 63–67. https://doi.org/10.52978/25421220_2026_21_63–67.

Technical sciences

Original article

**PROBLEMS AND PROSPECTS OF USING THICKENERS IN THE MINING
AND PROCESSING INDUSTRY**

Lyudmila G. Glubokova

Fedorovsky Polar State University, Norilsk, Russia

E-mail: GlubokovaLG@norvuz.ru

Elena V. Lagovskaya

Fedorovsky Polar State University, Norilsk, Russia

E-mail: Lagovskayaev@norvuz.ru

Batraz F. Fidarov

Fedorovsky Polar State University, Norilsk, Russia

E-mail: fidarovbf@edu.norvuz.ru

Abstract. This article provides an overview of the main scientific research and engineering developments in thickening process optimization. Currently, in Russia and the CIS, there is an urgent need to upgrade thousands of thickeners of various types in operation. Geopolitical shifts and the global economic crisis have driven a sharp increase in interest in reliable Russian mining and processing equipment, eliminating import dependence entirely. This offers an opportunity for

Russian science and business to collaborate to regain leadership in technologies for thickening process slurries and water recycling technologies. The purpose of this article is to examine the main areas of scientific research and the prospects for using thickeners to improve production process efficiency.

Keywords: thickeners, mining and processing equipment, mining and processing industry, invention patents.

For citation: Glubokova L.G., Lagovskaya E.V., Fidarov B.F. Problems and prospects of using thickeners in the mining and processing industry. *Scientific Bulletin of the Arctic*. 2026;(21):63–67. (In Russ.). https://doi.org/10.52978/25421220_2026_21_63-67.

Большая часть научных работ в этой области фокусируются на повышении производительности сгустителей, улучшении качества осветлённого слива и устойчивости разгрузки сгущённого продукта. Леонов Р.Е. и Сосновская Д.В. предложили *S*-модель осветления технологической пульпы в сгустителе, основанную на законе Стокса и преобразованиях Лапласа для задач автоматического регулирования [1]. В работе показаны подходы к построению математической модели процесса осаждения и формированию структуры блоков, позволяющих интегрировать сгуститель в АСУ ТП: осаждение аппроксимируется инерционным звеном 1-го порядка, что удобно для настройки регуляторов.

Боднарь Д., Тараненко М.Е. разработали АСУТП с тремя контурами для стабилизации плотности пульпы, роста производительности и снижения энергозатрат [2].

Бахарев С.А. применил акустические волны, что позволило повысить производительность, плотность осадка и качество осветлённого слива при снижении расхода реагентов и пенообразования [3]. Автором представлена модель повышения эффективности работы сгустителей на основе расчета показателей производительности, снижения выноса твёрдого в осветлённый слив, повышения плотности сгущённого продукта и других показателей.

Шевцов М.Н., Видищева Г.Г., Леошко Н.О. описали конструкции сгустителей, включая объединение отстойника и сгустителя для лучшей выгрузки осадка без забивания [4].

Васильева М.А. и Волчихина А.А. смоделировали инерционный сгуститель с оптимальной скоростью гидросмеси 1,5–3 м/с, обеспечивающий обратное водоснабжение без капитальных изменений и с меньшим расходом реагентов [5]. Разработано 4 режима работы сгустителя с выявлением оптимального рабочего режима. Представлены основные преимущества инерционного сгустителя: лёгкая интегра-

ция в гидротранспорт; простая конструкция без перестройки; высокая скорость смеси (1,5–3 м/с) без реверса частиц; чистая вода, поступающая в оборотку; минимум забора; два профиля, ускоряющие осаждение; высокая концентрация смеси без химии и капремонта на завершающей стадии производства без необходимости внесения капитальных изменений в схему гидротранспортировки и позволяющая уменьшить расход химических реагентов, используемых для сгущения.

Результаты многих научных исследований были зарегистрированы в Роспатенте и имеют авторское свидетельство. Обзор патентов и авторских свидетельств в области разработки и совершенствования эксплуатационных характеристик сгустителей приведен в табл. 1.

Среди наиболее значимых можно выделить следующие исследования:

1. Патент Кулешова А.В., Луговцов В.А., Лукьянова М.Г., Мовшович Я.В. «Гидравлический привод радиального сгустителя с центральной передачей и опорой на центральную колонну» [10]. Изобретателями описывается гидравлический привод с центральной передачей радиального сгустителя, приводящий раму граблин в движение. Изобретение предназначено для разделения продуктов обогащения полезных ископаемых, представляющих собой однородные смеси жидкой и твердой фазы.

Технический результат заключается в повышении эффективности работы гидравлического привода радиального сгустителя, а именно устойчивое функционирование вращательной составляющей перегребающего устройства, стабильное автоматическое реверсивное движение вертикально вверх и вниз, предотвращающее самоблокировки во время работы и исключаящее обратное вращательное движение, обеспечивая постоянный высокий крутящий момент и не допуская повреждений отдельных механизмов и выхода из строя привода в целом [10].

Таблица 1

Обзор патентов и авторских свидетельств в области разработки и совершенствования эксплуатационных характеристик сгустителей за 2020–2025 гг.

Название патента, авторского свидетельства	Автор, регистрационный номер	Характеристика
Программа для расчета релаксационной схемы осаждения металлургической пульпы в сгустителе	Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ: Э.Р. Федорова, Е.А. Пупышева [6]	Программа предназначена для расчета релаксационной схемы осаждения металлургических пульп в сгустителе. Программа обеспечивает выполнение следующих функций: расчет высоты уплотненного продукта в сгустителе, расчет концентрации твердого вещества по высоте сгустителя с отметки ниже питающего стакана, расчет концентрации твердого вещества на выходе из сгустителя
Пластинчатый сгуститель	Патент №2827609 С1 №2023132947: Ю.Ю. Ислямов, Г.А. Жоленц, А.Б. Прокофьева [7]	Изобретение предназначено для сгущения, обеспламливания продуктов обогащения, осветления оборотной воды и растворов легко- и среднеосаждаемых материалов, и может быть использовано на горно-обогатительных комбинатах, предприятиях металлургической промышленности, а также при переработке нефтесодержащих песков. Технический результат: повышение эффективности работы пластинчатого сгустителя, снижение вероятности забивки разгрузочного отверстия
Система пульпирования с ветрено-водяной спаренной связью для сгустителей и способ обнаружения поврежденных форсунок на основе данной системы	Патент № 2787972 С1 Российская Федерация, Ц. Ян, Ч. Ци, Ю. Коу [и др.] [8]	Настоящее изобретение относится к технической области технологии сгущенного обезвоживания хвостового песка при заполнении рудника в горнодобывающей промышленности, более конкретно к системе пульпирования с ветрено-водяной спаренной связью для сгустителей, которая в основном используется для активации хвостового песка для пульпирования и выброса песка внутри высоко-глубокого конусного сгустителя при заполнении рудника; данное изобретение также включает в себя способ обнаружения поврежденных форсунок
Система автоматического дозирования флокулянтов в процесс сгущения продуктов обогащения	Патент №2823214 С1 Российская Федерация, А.А. Зимина, А.В. Седов, А.А. Трушин, Р.В. Сбежнев, В.В. Красильников, А.А. Каменецкий, А.Л. Поздняков [9]	Изобретение относится к системам автоматического регулирования подачи флокулянтов в сгустители и может быть использовано на предприятиях по переработке минерального сырья. Технический результат: снижение расхода флокулянтов за счет повышения точности контроля скорости осаждения и улучшение качества регулирования

2. Авторское свидетельство Бурдонова А.Е., Жошкина В.В., Лукьянова М.Г. [11]. Авторами предложена программа, предназначенная для облегчения работы инженера-проектировщика при расчете параметров радиальных сгустителей. Программа реализована в виде исполняемого файла, запускаемого на локальном компьютере с использованием фреймворка *Electron*. Функции программы: расчет высоты и диаметра сгустителя на основании параметров сырья (тип сырья, скорость осаждения, производительность по твердому и так далее), формирование отчета в формате *.docx*. Также реализовано три способа ввода скорости осаждения: ввод пользователем вручную, выбор из таблицы и расчет в соответствии с формулой Стокса и др.

Современные проблемы эффективной эксплуатации сгустителей в горно-обогатительной промышленности связаны:

1. С использованием коагулянтов и флокулянтов для повышения скорости осаждения и улучшения качества осветленного слива, что повышает эффективность водооборота и снижает экологические риски [12].

2. С разработкой специализированных сгустителей для тяжелых условий (высокой концентрации минералов, высокой вязкости пульпы и химических веществ). Разрабатываются стационарные и мобильные системы с повышенной стойкостью к агрессивным средам. Использование биоразлагаемых и безопасных реагентов для уменьшения воздействия на окружающую

среду. В связи с растущим экологическим регулированием в отрасли разрабатываются экологичные сгустители на основе биополимеров.

3. Осаждением твёрдой фазой технологической пульпы и повышением эффективности водооборота. Исследования направлены на совершенствование процессов разделения «жидкость–твёрдое», снижение выноса твёрдого в осветлённый слив и увеличение скорости осаждения (сгущения). Также рассматриваются варианты дальнейшего использования / транспортирования сгущённого продукта, влияние минералого-химического состава и гранулометрии твёрдой фазы, а также условий процесса (плотность пульпы, реагентный режим, температура и др.) на формирование структуры осадка и эффективность сгущения. Разрабатываются конструкции и режимы работы сгустителей, адаптированные к конкретным свойствам технологической пульпы.

4. С энергоэффективностью и снижением затрат: оптимизация удельного расхода реагентов, снижение энергозатрат привода и насосного транспорта, внедрение комплексного контроля и адаптивного регулирования по показателям качества слива и нагрузке механизма.

Таким образом, использование сгустителей на предприятиях переработки минерального сырья представляет собой перспективное направление, способное значительно повысить эффективность разделе-

ния технологической пульпы «жидкость–твёрдое» и улучшения работы водооборотных схем, снизить экологическую нагрузку. Технические преимущества данной технологии – ускорение процессов обезвоживания, снижение затрат на реагенты и энергию, а также возможность автоматизации делают её привлекательной для внедрения, в том числе в условиях сурового климата и сложных условий эксплуатации, характерных для регионов, таких как Норильск.

Однако, несмотря на явные преимущества, внедрение сгустителей сопряжено с рядом проблем. Ключевыми из них являются необходимость адаптации конструкций к низким температурам, необходимость разработки специальных материалов и систем управления, устойчивых к экстремальным условиям. Кроме того, существующие технологические решения требуют доработки для повышения надежности и долговечности оборудования. В целом, перспективы широкого внедрения сгустителей в горно-обогатительной промышленности выглядят весьма благоприятными, особенно при дальнейших научных и технологических исследованиях, направленных на преодоление существующих ограничений. В условиях роста экологических требований и необходимости повышения эффективности производства сгустители могут стать ключевым элементом современных технологий разделения пульпы и замыкания водооборота.

Список источников

1. Леонов Р.Е., Сосновская Д.В. S-модель осветления руды в сгустителе // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2022. №11–1. С. 190–198.
2. Боднар Д., Тараненко М.Е. Разработка математического обеспечения АСУТП сгустителя // Современные проблемы горно-металлургического комплекса. Наука и производство: Материалы девятнадцатой Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. Старый Оскол, 2023. С. 139–157.
3. Бахарев С.А. Повышение эффективности работы сгустителя за счет воздействия акустических волн на сгущаемый продукт // Обогащение руд. 2023. №3. С. 29–34.
4. Шевцов М.Н., Видищева Г.Г., Леошко Н.О. Устройство сгустителя и принцип его работы // Новые идеи нового века: материалы

международной научной конференции ФАД ТОГУ. 2017. Т. 3. С. 400–403.

5. Васильева М.А., Волчихина А.А. Моделирование функционирования инерционного сгустителя // Прогрессивные технологии и системы машиностроения. 2022. №3(78). С. 9–14.

6. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ: публ. 28.02.2024 / Э.Р. Федорова, Е.А. Пупышева №2024614660.

7. Патент №2827609 С1 №2023132947: Ю.Ю. Ислямов, Г.А. Жоленц, А.Б. Прокофьева.

8. Патент №2787972 С1 Российская Федерация, МПК E21F 15/08, E21F 15/00. №2022122885: заявл. 24.06.2021: опубл. 13.01.2023 / Ц. Ян, Ч. Ци, Ю. Коу [и др.].

9. Патент №2823214 С1 Российская Федерация, МПК B01D 21/01, G05D 7/00. №2024103363: заявл. 09.02.2024: опубл. 22.07.2024 / А.А. Зимина, А.В. Седов, А.А. Тру-

шин, Р.В. Сбежнев, В.В. Красильников, А.А. Каменецкий, А.Л. Поздняков.

10. Патент на полезную модель №232186 U1 Российская Федерация, МПК B01D 21/20, F16H 47/02. Гидравлический привод радиального сгустителя с центральной передачей и опорой на центральную колонну: заявл. 22.01.2025: опубл. 28.02.2025 / А.В. Кулешов, В.А. Луговцов, М.Г. Лукьянов, Я. В. Мовшович.

11. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2022616114

Российская Федерация. Расчет сгустителей: №2022611048: заявл. 26.01.2022: опубл. 05.04.2022 / А.Е. Бурдонов, В.В. Жошкин, М.Г. Лукьянов [и др.].

12. Бауман А.В., Степаненко А.И., Баранова А.А. Теоретические основы и практика проектирования процессов и аппаратов сгущения рудных пульп // Обогащение руд. 2023. №1.

References

1. Leonov R.E., Sosnovskaya D.V. S-model of ore clarification in a thickener // *Mining Information and Analytical Bulletin*. 2022;11–1:190–198. (In Russ.).

2. Bodnar D., Taranenko M.E. Development of mathematical support for automated control system of a thickener // Modern problems of the mining and metallurgical complex. Science and Production: Proceedings of the Nineteenth All-Russian Scientific and Practical Conference with International participation. Stary Oskol, 2023. Pp. 139–157.

3. Bakharev S.A. Improving the efficiency of the thickener due to the effect of acoustic waves on the thickened product // *Ore dressing*. 2023;3: 29–34. (In Russ.).

4. Shevtsov M.N., Vidishcheva G.G., Leoshko N.O. The device of the thickener and the principle of its operation // New ideas of the new century Materials of the International scientific conference of FAD TOGU. 2017. Vol. 3. Pp. 400–403.

5. Vasilyeva M.A., Volchikhina A.A. Modeling the functioning of an inertial thickener // *Progressive technologies and systems of mechanical engineering*. 2022;3(78):9–14. (In Russ.).

6. Certificate of state registration of a computer program: publ. 02/28/2024 / E.R. Fedorova, E.A. Pupyshova No. 2024614660.

7. Patent No.2827609 C1 No.2023132947: Y.Y. Islyamov, G.A. Zholents, A.B. Prokofiev.

8. Patent No. 2787972 C1 Russian Federation, IPC E21F 15/08, E21F 15/00. No. 2022122885: application 24.06.2021: published 13.01.2023 / Ts. Yang, Ch. Qi, Yu. Kou [et al.].

9. Patent No. 2823214 C1 Russian Federation, IPC B01D 21/01, G05D 7/00. No. 2024103363: application 02/09/2024: published 07/22/2024 / A.A. Zimina, A.V. Sedov, A.A. Trushin, R.V. Snezhnev, V.V. Krasilnikov, A.A. Kamenetsky, A.L. Pozdnyakov.

10. Utility Model Patent No. 232186 U1 Russian Federation, IPC B01D 21/20, F16H 47/02. Hydraulic drive of a radial thickener with central transmission and support on a central column: application. 01/22/2025: published. 02/28/2025 / A.V. Kuleshov, V.A. Lugovtsov, M.G. Lukyanov, Ya.V. Movshovich.

11. Certificate of state registration of a computer program No. 2022616114 Russian Federation. List of thickeners: No. 2022611048: application No. 26.01.2022: published 05.04.2022 / A.E. Burdonov, V.V. Zhoshkin, M. G. Lukyanov [et al.].

12. Bauman A.V., Stepanenko A.I., Baranova A.A. Theoretical foundations and practices of designing processes and devices for thickening ore pulps // *Ore enrichment*. 2023;1. (In Russ.).

Научный вестник Арктики. 2026. №21. С. 68–74.
Scientific Bulletin of the Arctic. 2026;(21):68–74.

Социогуманитарные науки

Научная статья

УДК 005.95/96

doi: 10.52978/25421220_2026_21_68–74

ФОРМИРОВАНИЕ БРЕНДА РАБОТОДАТЕЛЯ КАК ИНСТРУМЕНТА КОНКУРЕНТНОЙ БОРЬБЫ ЗА ТАЛАНТЫ

Алмазова Анна Алексеевна

ПАО «ГМК «Норильский никель», Норильск, Россия

Заполярный государственный университет им. Н.М. Федоровского, Норильск, Россия

E-mail:almazovaa22@mail.ru

Аннотация. В условиях усиливающейся конкуренции за квалифицированные кадры формирование сильного бренда работодателя становится критически важным элементом стратегии развития компании. В статье рассматриваются теоретические основы бренда работодателя, анализируются его ключевые компоненты, эволюция стратегий и современные инструменты продвижения. На примере ПАО «ГМК «Норильский никель» проведена комплексная оценка текущего состояния бренда работодателя, выявлены проблемные зоны и предложены практические рекомендации по его развитию. Результаты исследования могут быть использованы крупными промышленными компаниями для повышения своей привлекательности на рынке труда.

Ключевые слова: бренд работодателя, ценностное предложение работодателя, корпоративная культура, привлечение талантов, HR-стратегия, ПАО «ГМК «Норильский никель».

Для цитирования: Алмазова А.А. Формирование бренда работодателя как инструмента конкурентной борьбы за таланты // Научный вестник Арктики. 2026. №21. С. 68–74. https://doi.org/10.52978/25421220_2026_21_68–74.

Humanities sciences

Original article

CREATING AN EMPLOYER'S BRAND AS A TOOL FOR COMPETING FOR TALENT

Anna A. Almazova

MMC Norilsk Nickel; Fedorovsky Polar State University, Norilsk, Russia

E-mail:almazovaa22@mail.ru

Abstract. In the context of increasing competition for qualified personnel, the formation of a strong employer brand is becoming a critical element of the company's development strategy. The article examines the theoretical foundations of the employer's brand, analyzes its key components, the evolution of strategies and modern promotion tools. Using the example of PJSC MMC Norilsk Nickel, a comprehensive assessment of the current state of the employer's brand was carried out, problem areas were identified and practical recommendations for its development were proposed. Large industrial companies to increase their attractiveness in the labor market can use the results of the study.

Keywords: employer's brand, employer's value proposition, corporate culture, talent attraction, HR strategy, PJSC MMC Norilsk Nickel.

For citation: Almazova A.A. Creating an employer's brand as a tool for competing for talent. *Scientific Bulletin of the Arctic*. 2026;(21): 68–74. (In Russ.). https://doi.org/10.52978/25421220_2026_21_68–74.

Последние годы рынок труда перестал быть «рынком работодателя». Компании из самых разных отраслей – от высоких технологий до добычи полезных ископаемых – конкурируют за одних и тех же специали-

стов, а ожидания соискателей меняются быстрее, чем успевают адаптироваться корпоративные практики. На этом фоне бренд работодателя перестает быть красивой витриной и становится полноценным стратеги-

ческим активом: он влияет на скорость и стоимость найма, на удержание ключевых сотрудников, на вовлеченность и, как следствие, на финансовые результаты. Сильный HR-бренд не подменяет собой реальность работы в компании, но помогает честно и убедительно сформулировать ценностное предложение, найти вовлеченных людей и сохранить их в долгосрочной перспективе.

На основе аудита коммуникаций и результатов опроса целевых групп к анализу бренда работодателя ПАО «ГМК «Норильский никель» [1] предложены практические рекомендации, ориентированные на устранение выявленных разрывов между обещаниями в коммуникациях и реальным опытом, а также на повышение эффективности привлечения и удержания специалистов.

Бренд работодателя в практическом смысле – репутация компании как места работы, усиленная ясным ценностным предложением сотруднику и подтвержденная повседневным опытом внутри организации. Он складывается из четырех взаимосвязанных элементов:

1) репутация на рынке труда и в обществе: что о компании говорят бывшие и текущие сотрудники, СМИ, отраслевое сообщество;

2) EVP (Employee Value Proposition) [2]: чем именно компания «платит» сотруднику в широком смысле – не только деньгами, но и контентом задач, развитием, культурой, гибкостью, миссией;

3) корпоративная культура: неписанные правила, принципы взаимодействия, стиль лидерства и реальная «жизнь между строк»;

4) опыт сотрудника на всем жизненном цикле: от первого контакта с вакансией до выхода из компании и возможного возвращения.

Практический смысл сильного HR-бренда прост и измерим. Компании с позитивной репутацией как работодателя, согласно отраслевым данным, снижают стоимость найма на 30–50% [3], быстрее закрывают вакансии и получают более высокий процент принятых предложений о работе. После выхода человека на работу на первом плане появляются уже другие драйверы: качество руководства, баланс работы и жизни, прозрачность роста, признание. Именно они определяют лояльность, риск ухода и готовность рекомендовать компанию.

Есть еще один важный момент: HR-бренд и корпоративный бренд для клиентов тесно связаны. Сотрудники передают обещания бренда клиенту каждый день, а клиенты сегодня все чаще выбирают компании, которые достойно относятся к людям и несут социальную ответственность. Несогласованность между внешним образом и внутренним опытом быстро обнаруживается – и это касается всех областей.

Если раньше брендинг работодателя был во многом реактивным – устраняли последствия, отвечали на негативные отзывы, обновляли раздел «Карьера», – то сегодня успешные компании действуют проактивно. Они изначально проектируют EVP для приоритетных сегментов, выстраивают сквозную коммуникацию и регулярно измеряют эффект. Рабочих стратегий несколько, и они не взаимоисключающие (табл. 1).

Таблица 1

Стратегии отражения HR-бренда

Наименование стратегии	Суть стратегии
«Лучшее место для работы» по всем параметрам	Дорого, амбициозно и чаще подходит крупным, стабильным бизнесам: сильные компенсации и льготы, развитие, комфортная среда, безопасная культура
Уникальная культура как дифференциатор	Не обязательно быть «хорошими для всех», важно быть аутентичными: прозрачность, высокая планка и меритократия, свобода и ответственность – любой четкий культурный профиль привлекает вовлеченных и отсеивает остальных
Таргетированная стратегия по сегментам	Молодые инженеры, опытные технологи, бизнес-профессионалы, специалисты на ротации – у каждого сегмента разные мотиваторы и барьеры
Акцент на социальной миссии и устойчивости	Для ценностно-ориентированных кандидатов (особенно молодых) вклад в «большее» – экологические проекты, локальные сообщества, разнообразие и инклюзия – весомая часть EVP, если эта повестка подлинна, а не декларативна

Ключ к эффективности – согласованность обещаний с реальностью. Скромный, но честный EVP приносит больше пользы,

чем яркие обещания, не подтвержденные опытом.

Бренд работодателя (employer branding) представляет собой не разрозненные PR-мероприятия, такие как единичный видеоролик или эффектный сайт, а комплексную экосистему взаимосвязанных внешних и внутренних коммуникационных каналов, функционирующих согласованно для формирования устойчивого образа компании на рынке труда.

Ключевые компоненты данной системы включают:

1. Карьерный сайт как магистральный хаб привлечения должен быть единым информационным окном для направления подбора персонала, содержащий в себе видео и фотоматериалы реального рабочего пространства: офиса или производственного цеха; карьерные истории сотрудников, честные описания условий труда и обязанностей работников, а также интуитивно понятную навигацию по городу / офису / производству, раздел F&Q с аргументированными ответами.

2. Социальные сети и профильные рекрутинговые платформы, такие как LinkedIn, ВКонтакте, Telegram, Head Hunter. Они и аналогичные ресурсы выполняют различно распределенные функции в воронке привлечения: приоритет отдается прозрачности контента – форматы «день из практики специалиста», разбор операционных процессов, короткие видео с производственных участков или офисных пространств, обзор вопросов-ответов с участием HR-службы или бизнес-партнеров и отраслевых экспертов. Особое внимание уделяется модерации отзывов на платформе HeadHunter: оперативное выражение благодарности за конструктив, профессиональный анализ замечаний, реализация корректирующих мер по системным проблемам, выраженным в отзывах.

3. Институциональные партнерства с ВУЗами и отраслевые мероприятия в непривычном их представлении – выстраивание долгосрочных коллабораций: цикл гостевых лекций, структурированные стажировки с менторским сопровождением, совместные студенческие проекты и хакатоны, целевые именные гранты и стипендии.

Важно использование внутренних ка-

налов коммуникации, где сотрудники выступают наиболее авторитетными амбассадорами бренда компании. Для их выявления и привлечения к задаче необходимы регулярные пульс-опросы удовлетворенности с последующей обратной связью, открытые диалоги с топ-менеджментом, прозрачный внутренний рынок труда, институционализированная программа амбассадорства и реферальные схемы стимулирования – «приведи друга».

Что не менее важно – проекция пути кандидата и в последующем – работника компании:

- 1) осведомленность о компании и ее деятельности;
- 2) рассмотрение возможности работы, вакансий;
- 3) отклик на вакансию и принятие оффера;
- 4) адаптация и обучение в рамках компании.

На каждом этапе человек должен получать опыт, который усиливает, а не обнуляет его первоначальное впечатление и общая картина «ожидание–реальность» не имеет разрывов.

ПАО «ГМК «Норильский никель» – один из крупнейших игроков горно-металлургической отрасли мира, лидер по палладию и никелю, работодатель для ~80 тысяч человек. Сильные стороны узнаваемы: конкурентные вознаграждения (особенно на производстве), масштаб и сложность инженерных задач, финансовая устойчивость, развитый социальный пакет. Но есть и объективные вызовы: удаленные локации с суровым климатом, репутационные риски, связанные с экологическими инцидентами, и конкуренция за молодых специалистов с IT и финансовым сектором.

Говоря про аудит каналов и позиционирование, стоит выделить следующие компоненты:

1. Карьерный сайт: структурирован и функционален, вакансии актуальны, но визуально и тонально слишком «корпоративный». Мало живого контента, историй сотрудников, иммерсивных форматов. Мобильная версия работает, но не оптимальна.

2. Площадки по поиску работы: статус «Проверенный работодатель» на HeadHunter, ~200 активных вакансий. Средний рейтинг ~4,1/5 по >2000 отзывов:

хвалят зарплату и социальный пакет, критикуют бюрократию и баланс жизни и работы на производстве. Ответы компании на отзывы редки.

3. ВКонтакте и Telegram: есть аудитория (VK ~89 тыс., TG ~14 тыс.), но контент скорее «для прессы», чем для кандидатов. Низкая вовлеченность, мало «голоса сотрудников», дублирование материалов.

4. LinkedIn: присутствие ограничено, а потенциал для международного позиционирования и поиска экспертизы – значительный.

5. Университетские взаимодействия: есть участие в ярмарках и базовые партнерства, но без системности и встроенности в учебный процесс.

Ключевой вывод: позиционирование остается общим, без яркой уникальной идеи. Контент – информативный, но слабо аутентичный. Не хватает открытого рассказа о сложностях и о том, как компания с ними работает.

Было проведено исследование, включающее онлайн-опрос 427 потенциальных кандидатов и 238 действующих сотрудников. Несколько характерных результатов по опросу соискателей представлены на рис. 1 и 2.

Действующие сотрудники компании также оценили текущий опыт (рис. 3).

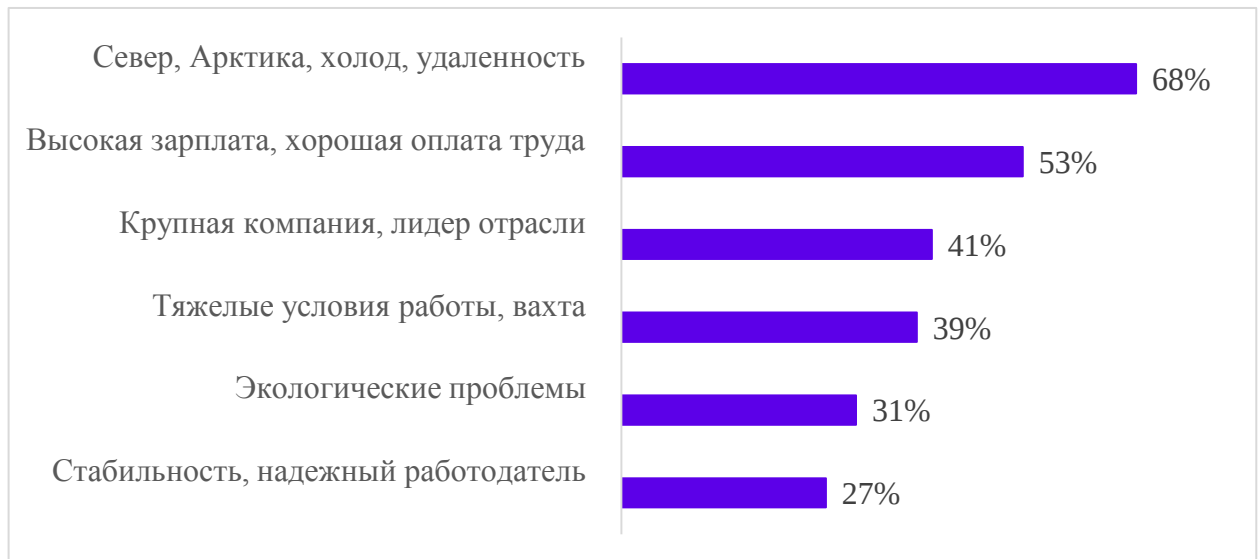


Рис. 1. Ассоциации потенциальных соискателей с «ГМК «НН»
(составлено автором по итогам собственного исследования)



Рис. 2. Оценка «ГМК «НН» по атрибутам (средние баллы по 5-балльной шкале)
(составлено автором по итогам собственного исследования)



Рис. 1. Оценка действующих сотрудников компании по атрибутам (средние баллы по 5-балльной шкале) (составлено автором по итогам собственного исследования)

Сопоставление данных опросов потенциальных кандидатов и действующих сотрудников позволило выделить объективные сильные и слабые стороны бренда работодателя «Норильский никель» глазами целевой аудитории.

*Подтвержденные **сильные стороны**:*

1. Конкурентная компенсация. И внешние кандидаты, и действующие сотрудники высоко оценивают уровень заработной платы в компании, что является ключевым дифференцирующим фактором, особенно для технических специалистов.

2. Стабильность и надежность. Репутация крупной устойчивой компании, которая продолжает работать и развиваться даже в сложные времена, ценится обеими группами респондентов.

3. Масштаб и сложность задач. Технические специалисты отмечают возможность работать над реально сложными инженерными проектами, что сложно найти в компаниях меньшего размера.

4. Возможности обучения. Действующие сотрудники выше оценили качество обучающих программ, чем ожидали, что говорит о реальных инвестициях компании в развитие персонала.

*Подтвержденные **слабые стороны**:*

1. Географический фактор. Для потенциальных кандидатов это основной барьер для рассмотрения вакансий, а для действующих сотрудников на производственных площадках – главный источник неудовлетворенности.

2. Баланс работы и личной жизни. Наиболее критичный разрыв между ожиданиями и реальностью. То, что наиболее

важно для кандидатов, оценивается хуже всего в реальном опыте сотрудников.

3. Корпоративная культура. Воспринимается как недостаточно развитая и вызывает разочарование у сотрудников после прихода в компанию.

4. Бюрократия. Медленные процессы принятия решений и избыточная бюрократия негативно влияют на опыт сотрудников и через неформальные каналы становятся известны потенциальным кандидатам.

5. Экологическая репутация. Для определенного сегмента кандидатов, особенно молодых и из бизнес-функций, это создает серьезный барьер для рассмотрения компании как работодателя.

Неоднозначные аспекты:

1. Карьерные возможности. Компания декларирует наличие карьерных траекторий, однако реальный опыт сотрудников показывает, что рост не всегда происходит так быстро, как ожидалось, и критерии не всегда прозрачны.

2. Условия работы. Существенно различаются между московским офисом и производственными площадками, что влияет на общую оценку бренда работодателя.

Драйверы привлекательности и лояльности:

- для кандидатов: локация (объясняет 34% вариации готовности рассматривать офферы), баланс (18%), культура (15%), рост (12%), компенсация (11%);

- для сотрудников (NPS): баланс (28%), качество руководства и коммуникаций (22%), прозрачность карьерных перспектив (19%), культура/команда (16%), признание вклада (10%).

Главная аналитическая мысль: деньги важны, но после точки входа решают опыт, культура, лидерство и управляемая интенсивность труда. Компенсация – гигиенический фактор; при ее достаточности у сотрудников «включаются» другие критерии.

Основные разрывы, выделенные в процессе обработки результатов опроса, показаны в табл. 2.

Таблица 2

Разрывы ожиданий соискателей и сотрудников и реальности

Выявленный разрыв	Описание
Баланс работы и жизни	Это самый болезненный пункт. В производстве – объективные переработки и режимность; в офисе – культурные ожидания «всегда быть на связи». Отсутствие честной коммуникации на входе формирует неверные ожидания
Карьерный рост и прозрачность	Часть сотрудников видит зависимость продвижения от стажа и личных связей; критерии неочевидны, «потолок» в ряде звеньев не артикулируется
Культура и бюрократия	Иерархия, страх ошибки, медленные решения, слабый диалог «снизу-вверх» – постоянные темы обратной связи
Условия жизни в регионах	Жилой фонд, досуг, медицина, питание – не всегда дотягивают до уровня, который предполагается в коммуникациях
Экологическая репутация	Для молодых и «белых воротничков» это реальный фильтр при выборе

В связи с этим необходимо обновить концепт позиционирования компании: «Создаем материалы будущего в экстремальных условиях настоящего». Преимущества новой концепции рассмотрены в табл. 3.

Важно сразу оговорить, «чего у нас нет»: классического work-life balance в любой роли и локации, «стартапной» свободы от регламентов, легких переездов в теплые регионы. Подобная степень открытости реализует принцип самоселекции, выступая в качестве стратегического преимущества.

Бренд работодателя в тяжелой промышленности – инфраструктура конкурентоспособности. В случае Норникеля отчетливо виден диспаритет: там, где у компа-

нии объективные сильные стороны (уровень оплаты, масштаб задач, обучение), кандидатам важнее другое – баланс, культура, прозрачный рост, условия жизни на площадках. Пока эти аспекты остаются слабым звеном, даже сильная компенсация не конвертируется в высокую лояльность и рекомендации.

Таблица 3

Преимущества внедрения новой концепции

Область	Последствия
Смысл и вклад	Никель для батарей, палладий для нейтрализаторов, медь для ВИЭ – работа с осязаемым эффектом
Экстремальность как вызов	Условия сложные – и это часть уникальности опыта, которая привлекает «своих»
Справедливая премия за вызов	Уровень вознаграждения как честная компенсация за сложность контекста и интенсивность
Техническое лидерство	Масштаб и сложность задач, современное оборудование, цифровизация, автоматизация
Долгая траектория развития	Не «стартапный рывок», а поступательное движение с системными инвестициями в компетенции
Масштаб влияния для офисных функций	публичный контур, решения, влияющие на людей и территории

Что работает в долгосрочной перспективе:

- честная формулировка EVP с признанием сложностей и справедливой премией за них;
- дифференцированное позиционирование под ключевые сегменты;
- одновременная работа с реальными аспектами (культура, процессы, условия жизни) и витриной (контент, каналы, амбассадоры);
- системная измеримость и коррекция стратегии каждые 3–6 месяцев.

Для ПАО «ГМК «Норильский никель» это не просто вопрос имиджа. Способность привлекать и удерживать лучших инженеров, технологов, ИТ-специалистов и сильных управленцев прямо влияет на модернизацию активов, операционную эффективность и экологическую повестку. А в перспективе ближайших лет – и на место компании в глобальной цепочке «зеленой» трансформации. Сильный бренд работода-

теля – это способ превратить «экстремальность» в источник гордости и смысла для

тех, кто выбирает трудные задачи и умеет их решать.

Список источников

1. ПАО «ГМК «Норильский никель». [сайт]. URL: <https://nornickel.ru/>

2. Бородай В.А. Моделирование ценностного предложения сотруднику (EMPLOYEE VALUE PROPOSITION) при формировании HR-бренда компании // Экономика и социум. 2015. №3(16). С. 267–270.

3. Разумова Т.О., Шаповалова А.А. Бренд работодателя как фактор выбора работы молодыми специалистами // Социально трудовые исследования. 2025. №1. С. 178–188.

4. Деловая и карьерно-ориентированная профессиональная социальная сеть. [сайт]. URL: <http://linkedin.com/>

References

1. PJSC MMC Norilsk Nickel. [website]. URL: <https://nornickel.ru/>

2. Borodai V.A. Modeling the EMPLOYEE VALUE PROPOSITION in the formation of the company's HR brand. // *Economics and society*. 2015;3(16):267–270. (In Russ.).

3. Razumova T.O., Shapovalova A.A. The employer's brand as a factor in the choice of work by young specialists // *Social and labor research*. 2025;1:178–188. (In Russ.).

4. Business and career-oriented professional social network. [website]. URL: <http://linkedin.com/>

Научный вестник Арктики. 2026. №21. С. 75–82.
Scientific Bulletin of the Arctic. 2026;(21):75–82.

Социогуманитарные науки

Научная статья

УДК 332.1:331.108.2(571.51)

doi: 10.52978/25421220_2026_21_75–82

**ОТРАСЛЕВОЙ АНАЛИЗ ПРОБЛЕМ ФЕДЕРАЛЬНОГО И МУНИЦИПАЛЬНОГО
ОБЕСПЕЧЕНИЯ Г. НОРИЛЬСК КАК КОМПОНЕНТЫ УСПЕШНОГО
ПРИСУТСТВИЯ В АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЕ**

Анисимов Георгий Васильевич

Заполярный государственный университет им. Н.М. Федоровского, Норильск, Россия

E-mail: AnisimovGV@edu.norvuz.ru

Доменко Юрий Юрьевич

Заполярный государственный университет им. Н.М. Федоровского, Норильск, Россия

E-mail: DomenkoYY@norvuz.ru

Аннотация. Реальная и потенциальная стратегическая важность Арктического региона в XXI веке неоспоримо велика, она основывается на геостратегическом расположении региона, а также на возможности разработки значительных запасов углеводородов и иных природных ресурсов. В условиях столкновения интересов арктических государств, успешный контроль над арктическими территориями и акваториями определяется не только эффективной работой в рамках международно-правового поля, но и реальным государственным присутствием. Последнее проявляется в возможности развёртывания военных сил для обеспечения контроля над Арктикой, а также в гражданском государственном присутствии, обеспечивающем социально-экономическую базу государства.

В данной статье рассматривается именно второй тип присутствия, а точнее главная его компонента – кадровое обеспечение. На примере г. Норильска проводится отраслевой анализ кадровых проблем федеральных и муниципальных служб, формирующих базис устойчивого развития и государственного присутствия РФ в Арктической зоне. В работе проводится отраслевой анализ кадровых проблем, охватывающий ключевые федеральные, муниципальные службы, а также косвенно связанные с ними стратегические государственные компании (Почта России).

Ключевые слова: Арктика, государственное управление, муниципальное управление, устойчивое развитие, кадровое обеспечение, моногород, городское хозяйство, Норильск.

Для цитирования: Анисимов Г.В., Доменко Ю.Ю. Отраслевой анализ проблем федерального и муниципального обеспечения г. Норильска как компоненты успешного присутствия в Арктической зоне // Научный вестник Арктики. 2026. №21. С. 75–82. https://doi.org/10.52978/25421220_2026_21_75–82.

Natural sciences

Originalarticle

**SECTORAL ANALYSIS OF FEDERAL AND MUNICIPAL STAFFING ISSUES
IN NORILSK AS A COMPONENT OF SUCCESSFUL PRESENCE IN
THE ARCTIC ZONE**

Georgii V. Anisimov

Fedorovsky Polar State University, Norilsk, Russia

E-mail: AnisimovGV@edu.norvuz.ru

Yuri Y. Domenko

Fedorovsky Polar State University, Norilsk, Russia

E-mail: DomenkoYY@norvuz.ru

Abstract. The real and potential strategic importance of the Arctic region in the 21st century is undeniably great, it is based on the geostrategic location of the region, as well as the possibility of developing significant reserves of hydrocarbons and other natural resources. In the context of competing interests of the Arctic states, successful control over Arctic territories and waters is determined not only by effective work within the framework of the international legal framework, but also by a real state presence. The state presence is manifested in the possibility of deploying military forces to ensure control over the Arctic, as well as in a civilian state presence that provides the socio-economic base of the state.

This article focuses on the second type of state presence, specifically on its main component – staffing. Using the city of Norilsk as a case study, a sectoral analysis of the staffing issues in federal and municipal services is conducted, since these services form the basis for sustainable development and the state presence of the Russian Federation in the Arctic zone. The study provides a sectoral analysis of staffing issues, covering key federal and municipal services, as well as indirectly related strategic state-owned companies (Russian Post service).

Keywords: Arctic, public administration, municipal administration, sustainable development, staffing, single-industry city, municipal services, Norilsk.

For citation: Anisimov G.V., Domenko Y.Y. Sectoral analysis of federal and municipal staffing issues in Norilsk as a component of successful presence in the Arctic zone. *Scientific Bulletin of the Arctic*. 2026;(21):75–82. (In Russ.). https://doi.org/10.52978/25421220_2026_21_75-82.

Введение. Государственное управление является ключевым элементом в системе обеспечения национального суверенитета и устойчивого развития в стратегических регионах. Эффективность в данной сфере определяет не только установление безопасности и социально-правовой системы, но и саму возможность реализации крупных экономических и социальных проектов. Нигде эта истина не проявляется столь отчетливо, как в условиях Арктики, где экстремальная природная среда, логистическая удаленность и высокая стоимость жизни создают уникальный комплекс вызовов. Регион перспективен, но без осуществления грамотной и эффективной политики в сфере федерального и муниципального управления невозможен и контроль над Арктикой.

Актуальность исследования заключается в том, что в настоящее время, в государственной политике всё чаще фигурирует тренд на освоение восточных земель, в том числе Арктики и Дальнего Востока. Данное направление становится экзистенциальным для государства и является вектором государственной политики, представленным в стратегии пространственного развития страны на период до 2030 года. Дополнительную важность исследованию придаёт желание и возможность города Норильска стать опорной базой освоения российского севера.

Теоретическая база исследования. Проблематика данного исследования рассматривается также в трудах таких авторов, как Маркин В.В., Силин А.Н., Малинина К.О., Говорова Н.В. и др. [1]

Объектом исследования выступает система кадрового обеспечения государственного и муниципального управления в Арктической зоне Российской Федерации.

Предмет исследования – отраслевые особенности и проблемы комплектования кадрами ключевых федеральных и муниципальных служб в г. Норильск в контексте государственного присутствия в Арктике.

Цель исследования – выявить отраслевые проблемы кадрового обеспечения федеральных и муниципальных служб г. Норильск и выработать научно-практические рекомендации для их решения и укрепления государственного присутствия в Арктической зоне.

На основе поставленной цели необходимо решить ряд задач:

1) определить ключевые системные проблемы и специфику кадрового обеспечения г. Норильск и оценить риски для государственного присутствия в Арктике и устойчивого развития;

2) провести сравнительный отраслевой анализ кадровых проблем посредством изучения дефицита кадров в различных отраслевых секторах;

3) на основе проведенного анализа разработать комплекс мер, адресованных федеральным, региональным, муниципальным органам власти и отдельным ведомствам, направленных на решение кадровых проблем.

Научная новизна исследования заключается в комплексном характере отраслевого анализа различных сфер государственного управления с учётом региональной арктической специфики моногорода Норильск.

Материал и методология. Данное исследование проводится на основе официальных данных администрации города Норильска [2], данных местных и федеральных новостных ресурсов, исследовательских аналитических работах. Также анализируются актуальные вакансии на портале Headhunter и открытые источники центра занятости населения г. Норильск.

Методологическую основу исследования составляют такие методы научного познания, как анализ, синтез, индукция, дедукция, прогнозный метод и другие.

Для российской Арктики всегда актуальна проблема привлечения и удержания кадров. Эту проблему усложняет множество негативных факторов: неблагоприятная экологическая обстановка, сложные климатические условия, психологически сложные условия труда, нутриционные и солярно-вегетативные издержки организма, а также относительная культурно-социальная удалённость, ввиду которой Норильск даже в какой-то мере обладает своей монокультурой. Свою специфику накладывает также существование ПАО «ГМК «Норильский никель»» и его вспомогательные компании. При этом в городе реализуется также и мощный комплекс мер по стимуляции при-

тока кадров и подготовке кадров на месте, но эти меры не могут покрыть все потребности города. Такой кадровый дисбаланс создаёт риски провалов в муниципальной и федеральной политике. Обязанность этих государственных структур – обеспечение равных условий для реализации гражданами их конституционных прав и гарантий доступа к качественному уровню жизни. Именно эти структуры не могут укомплектоваться, что является проблемой. Отчасти, в кадровую структуру федеральных и муниципальных служб входят так называемые STEM-профессии, движущей инновационной экономики. Согласно исследованию Ассоциации Инновационных Регионов России (АИРР) от 2024 г., Красноярский край обладает высоким индексом востребованности STEM-кадров, он составляет 118% от среднего по стране [1]. Однако дефицит кадров преимущественно представлен не в этой категории. Ниже приведена табл. 1, преимущественно основанная на отчете Главы города Норильска о результатах его деятельности и деятельности Администрации города Норильска за 2024 г., помимо этого был рассмотрен ряд вакансий на портале hh.ru, что позволило оценить потребность отраслей в кадрах [2].

Таблица 1

**Оценка уровня дефицита кадров и негативных факторов кадрового обеспечения
федеральных и муниципальных отраслей г. Норильск**

Отрасли / ведомства	Оценка потребности в кадрах	Ключевые факторы кадровых дефицитов	Выводы
Силовые Ведомства (МВД, ФСИН)	Остро стоит вопрос нехватки кадров. В целом, по Красноярскому краю он оценивается в ~20%, но на Севере края диспропорция чуть выше. [3]. В основном не хватает базового личного состава (патрульных, офицеров), но также недостаёт и специалистов узкого профиля. ФСИН остро нуждается в младших инспекторах. В Норильске сравнительно хорошо работает полиция, и она скорее успешно покрывает потребность граждан в безопасности, пример Норильска также является показательным ввиду почти полного отсутствия межнациональных конфликтов. Также, в колониях ФСИН по всей стране снижается количество заключённых, но это не избавляет ведомство от системных проблем	Служба в силовых ведомствах, в целом, не привлекательна из-за низкой индексации зарплаты, психологических издержек и сложности работы в самих службах, льготы не нивелируют эти издержки	Хоть и создаётся впечатление, что силовых кадров достаточно, но уровень преступности в городе в среднем выше по Красноярскому краю. Когда в отрасли систематически не наблюдается приток «новой крови» и есть недостаток в базовой комплектровке кадров, то система не развивается, а стагнирует. Рост преступности маловероятен, но работники испытывают на себе дополнительную нагрузку ввиду недостатка кадров, особенно в сезонные периоды (например, нехватка оперативных сотрудников или патрульных ИПС в Новый год)

Отрасли/ведомства	Оценка потребности в кадрах	Ключевые факторы кадровых дефицитов	Выводы
Федеральные контрольно-разрешительные ведомства (ФТС, надзорные органы: Ростехнадзор, Роспотребнадзор и пр.)	Высокая нехватка кадров. Вопрос дефицита кадров менее актуален для таможенной службы, но крайне актуален для множества других надзорных органов	Государство проигрывает гонку за специалистов, они уходят в коммерческий сектор. Устаревание инфраструктуры повышает нагрузку в условиях нехватки кадров	Потенциальные радикальный фундаментализм и диверсионные операции недружественных государств представляют особую опасность для столь изолированного города, поэтому проблемы таможенной службы дополнительно выделяются особой важностью на фоне остальных отраслей. Также исключительно важными являются ведомства, контролирующие нормы застройки и инфраструктуры. В условиях отсутствия кадров также растёт риск возникновения коррупции
Муниципальное управление (Администрация)	Прием в Администрацию города Норильска, ее структурные подразделения ограничен до 31.12.2025., но это не значит, что администрация не нуждается в профессиональных кадрах	Администрация зачастую проигрывает компании ПАО «ГМК «НН» в сфере возможностей оплаты труда и карьерного роста. Также «утечка мозгов» происходит и в другие регионы, на муниципальном и федеральном уровне	От качества управленческих команд зависит качество жизни граждан, а также качество проведения государственной политики
Муниципальная сфера ЖКХ (различные МУП)	Острая нехватка кадров, в основном сантехников, слесарей, инженеров коммуникаций, электриков и прочих специалистов. На 01.10.2024 существовало 114 вакансий на слесарей аварийно-восстановительных работ, 183 вакансии инженеров, 38 мастеров (в том числе аварийно-восстановительных работ)	Устаревание инфраструктуры является главной причиной нехватки данных кадров. Также часть специалистов уходит в коммерческую сферу	Поскольку почти вся инфраструктура по стране имеет большой накопленный износ, любая транспортная операция до Норильска имеет большое логистическое плечо, а также наблюдается крупный дефицит кадров – повышается риск ЧС с колоссальным ущербом человеческому и экономическому капиталу
Отрасль здравоохранения	Критический дефицит кадров на системном уровне по всей стране. На 2024 г. было открыто 241 вакансия отрасли, проблема системна и она не может быть быстро решена, точно также дела обстоят и с образованием (но по программе приглашения специалистов было трудоустроено 26 чел.)	Отрасль находится в кризисе и преимущественно зависит от решений федерального центра	Доступ к качественному и своевременному медицинскому обслуживанию является одним из ключевых прав граждан, в условиях кризиса обеспечение этого права затрудняется

Отрасли/ведомства	Оценка потребности в кадрах	Ключевые факторы кадровых дефицитов	Выводы
Отрасль образования	Критический дефицит кадров на системном уровне по всей стране. По состоянию на 2024 г. было представлено 69 рядовых вакансий, также существует спрос на управленческие должности (например, советник директора по воспитанию и взаимодействию с детскими общественными объединениями). По муниципальной программе приглашения специалистов было трудоустроено 41 чел.	Отрасль находится в кризисе и преимущественно зависит от решений федерального центра	Образование является базой создания, развития и воспроизводства человеческого капитала, нарушение этой цепочки ставит под угрозу качество функционирования всех остальных общественных институтов
МЧС России	Относительная укомплектованность кадрами, но она достигнута за счёт ротации персонала. Это интересная и действенная практика, но она тоже имеет некоторые риски	Профессии сами по себе требуют многого от психологического и физиологического здоровья, но тут дополнительно накладывается сезонная специфика	При масштабных экологических или техногенных ЧС у организации могут возникнуть риски провала ликвидации ЧС
Почта России	Критическая нехватка кадров. Можно сказать, что почта переживает кадровую катастрофу, сотрудников очень мало, ввиду этого затрудняется сортировка посылок и ухудшается общее качество работы службы. В настоящее время жители Норильска массово около месяца не могут получить свои отправления	Вакансии имеют низкий уровень привлекательности для жителей города и «материка» ввиду малой оплаты труда относительно других профессий и личных потребностей. МРОТ в Норильске составляет 58.344 руб, тогда как нижняя планка зарплат рядовых должностей почты России составляет 63–68 тыс. руб. Также работа считается тяжёлой и не престижной	Когда почта России не справляется с грузовой нагрузкой, жители города предпочитают обращаться к частным логистическим компаниям. Так, почта рискует потерять целесообразность существования. Но при этом у неё есть свои функции и обязанности в рамках государственной системы, возникает риск их неисполнения. Также в условиях ограниченности финансирования повышается риск коррупции

Исходя из анализа табл. 1, можно сделать вывод о том, что негативные факторы в сфере кадрового обеспечения г. Норильска основаны не только на общенациональных проблемах государственного управления, но и на накладываются на них арктической специфике и характеру моногорода. Становятся видны межсекторальных проблемы, которые влияют на все отрасли одновременно или на несколько отдельных отраслей городской экономики. В основном, это вызвано проблемами экологии, недостатками финансирования, льгот, жилья, системными кризисами в отдельных отраслях (здравоохранение и образование). Межсекторальные проблемы можно решить только в рамках комплексной государственной политики. Это может

быть увеличение финансирования, введение системы ротации в иных государственных ведомствах, предоставление новых программ арктической ипотеки, введение подъёмных, новых пакетов арктической поддержки, дополнительных квот (целевое обучение, жилищные квоты и пр.), повышенных ставок (компенсирование билетов госслужащим, особые надбавки за совмещение должностей, повышенные отпускные ставки и дни отпуска) и прочие меры. В контексте человеческого капитала и его качества, ключевыми являются усилия в сфере улучшения образования и здравоохранения. Важным является также репрофилирование учебных программ образовательных учреждений под задачи государственного управления, а также открытие и

финансирование новых и действующих программ подготовки специфических кадров. В нашем случае авторов интересуют кадры для Арктики.

Местным органам власти также следует активнее пользоваться архитектурой, выстроенной системой национальных проектов России. На федеральном уровне будет целесообразно рассмотреть возможность разработки и принятия специального федерального закона «О государственной службе в Арктической зоне Российской Федерации», где законодательно были бы закреплены механизмы поддержки успешной деятельности госслужащих Арктики. Это позволит решать проблему комплексными мерами, а не только точечными государственными мерами поддержки.

Отдельно стоит затронуть проблему того, что при имплементации предложенных мер всегда будет сохраняться особый характер притока и оттока специалистов.

Причём, в целом, для арктической территории скорее характерен отрицательный миграционный отток населения [4]. Сама территория и её условия являются причиной того, что кадры зачастую не закрепляются надолго и не видят своё будущее здесь. Ключевым вопросом в воспроизводстве человеческого капитала становится видение людьми своего будущего на территории НПП, их «духовное здоровье» и социальная удовлетворённость средой и своей занимаемой социальной роли. Учесть эту особенность можно при изучении социокультурного контекста самой проблемы воспроизводства кадров [5].

Тем не менее, данная исследовательская работа ставит своей задачей выработку практических решений для сферы государственного управления в области кадрового обеспечения, поэтому далее авторами будут изложены эти предложения в формате табл. 2.

Таблица 2

Предложения государственным ведомствам по вопросу решения кадрового вопроса

Ведомства	Предложения, направленные на совершенствование в сфере кадрового управления
Силовые Ведомства	Необходимо снижать психологическую нагрузку на персонал. Также постепенно возвращаются ветераны СВО, в том числе нори́льчане, и многим из них требуется адаптационная помощь, этот поток может в будущем увеличиться. На основе этих данных имеет смысл задуматься о создании арктического адаптационного центра или комплекса оздоровительных предприятий для ветеранов и сотрудников силовых ведомств. Работа действительно нервная и опасная, люди не готовы на такие профессии, но данные меры могут положительно повлиять на отрасль. На базе центра также можно создать отдел изучения влияния арктической жизни на человека
Федеральные контрольно-разрешительные ведомства	Местным главам ведомств необходимо усиленно искать экспертов и рабочих по данному профилю, присматриваться к целевым программам в учебных заведениях по всей стране. Имеет смысл создание целевых групп специалистов, которые будут работать по системе ротации в различных арктических городах, помимо выполнения своих базовых функций, они будут заниматься обменом опытом. Также рациональным будет проведение государственных проверок эффективности и антикоррупционных экспертиз

Ведомства	Предложения, направленные на совершенствование в сфере кадрового управления
Муниципальное управление (администрация)	Имеет смысл оценить возможность создания новой ротационной системы в контексте арктических городов и моногородов. В рамках этой сферы возможно создание отдельных управленческо-аналитических проектных групп, которые могут быть командированы в арктические города (в том числе в Норильск), где они будут участвовать в решении критических проблем. Также, оценивая деятельность муниципальных властей, можно установить, что их деятельность является крайне профицитной. Город действительно развивается, преобразует свой облик, а также обладает стабильной и относительно комфортной средой, ввиду чего способен привлекать специалистов извне. В ведении муниципалитета имеются квартиры, которые используются для привлечения специалистов. Привлечение специалистов через частичное решение жилищного вопроса является одним из наиболее эффективных направлений, поэтому его необходимо совершенствовать. Муниципалитет также может выкупать новые квартиры, ремонтировать их и использовать в схеме привлечения специалистов. Внутреннюю часть населения города составляют пенсионеры (около 29%) [6]. Можно выкупать их квартиры и помогать им с переездом на «материк», однако такая мера уже практикуется в городе, но, тем не менее, это не уменьшает её эффективности
Муниципальная сфера ЖКХ	Эта сфера критически зависима от изнашивания инфраструктуры, которая сама по себе требует внушительных финансовых влияний. Отрасли может помочь перераспределение бюджетов от общей реновации государственной инфраструктуры. Также этой отрасли следует присматриваться к возможности создания кадров в рамках городского образования
Отрасль здравоохранения	Необходимо наращивать кооперацию в области образования. Нехватку кадров и технологических возможностей можно компенсировать посредством развития телемедицины, для этого необходимо усиливать кооперацию с региональным центром. Для этого также потребуются развитие государственной гражданской авиации, но в этой сфере возникают труднопреодолимые юридические, формальные и финансовые сложности
Отрасль образования	Требуются дополнительные вложения в учебную деятельность и техническое оснащение местного медицинского техникума для воспроизводства базовых медицинских специалистов. Также имеет смысл рассмотреть возможность укрепления связей с региональными медицинскими образовательными учреждениями. Также необходимо посмотреть какие результаты дадут новые изменения в законодательстве, которые ввели обязательные отработки для студентов-бюджетников медицинской сферы
МЧС России	Можно подключить МЧС к системе возможного адаптационного арктического центра. Профессии этой отрасли также являются опасными и психологически сложными
Почта России	Местной структуре Почты России следует провести внутренний комплексный кризис менеджмент. Главная задача – сохранение возможности выполнения своих государственных функций и обязанностей, второстепенная задача – налаживание адекватной работы в логистике гражданских отправок. Имеет смысл проведение государственных проверок эффективности и антикоррупционных экспертиз

Таким образом, анализ выявляет, что федеральное и муниципальное кадровое оснащение на самом деле является многоплановой задачей государственного управления. Одних лишь предложенных мер, при условии их имплементации, будет недостаточно для комплексного решения кадрового вопроса.

Вывод. Исходя из анализа рассмотренных проблем и предложенных решений,

можно сделать вывод, что для решения кадровых проблем требуется широкий комплекс мер на различных уровнях. Обеспечению оптимально эффективного кадрового состава отраслей жизнеобеспечения города Норильск препятствуют как отраслевые проблемы, так и межсекторальные и общенациональные проблемы. На фундаментальные и общенациональные кризисы в таких сферах, как здравоохранение и обра-

зование, накладывается эффекты арктической специфики и статуса моногорода, что многократно усиливает негативные последствия. Эффективное решение этих проблем требует консолидации в рамках управленческих центров отраслей, а также системного государственного подхода в контексте финансирования, законодательства, внедрения новых систем управления и контроля. Наравне с этими условиями развития необходимо также создать особое отношение власти к проблематике Арктики, ба-

зисом которого будет восприятие мер по созданию устойчивого воспроизводства и сохранения человеческого капитала в качестве стратегического вложения в будущее страны. От решения этих системных проблем кадрового обеспечения Норильска зависит будущее Российской Федерации в Арктике. Поскольку эти проблемы являются сдерживающим фактором в реализации арктической стратегии России, то они требуют безотлагательных решений и комплексной работы над их преодолением.

Список источников

1. Региональный индекс востребованности кадров для инновационной экономики / Ассоциация инновационных регионов России (АИРР). 2024. [сайт]. URL: https://i-regions.ru/upload/iblock/c31/1gdtm0asia82jfoahnmh0pi5bnooqdru/region_qq_index_april_2024.pdf (дата обращения: 24.11.2025).
2. Отчет Главы города Норильска о результатах его деятельности и деятельности Администрации города Норильска за 2024 год. [сайт]. URL: <https://xn--hlaecgfmjlg.xn> (дата обращения 24.11.2025).
3. «Некомплект почти 20%»: в Красноярском крае по-прежнему остро не хватает полицейских // Newslab.ru. 2024. [сайт]. URL: <https://newslab.ru/news/1367344> (дата обращения: 24.11.2025).
4. Говорова Наталья Викторовна Человеческий капитал – ключевой актив хозяйственного

освоения арктических территорий // АИС. 2018. №31. [сайт]. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/chelovecheskiy-kapital-klyuchevoy-aktiv-hozyay-stvennogo-osvoeniya-arkticheskikh-territoriy> (дата обращения: 26.11.2025).

5. Маркин В.В., Силин А.Н., Малинина К.О. Воспроизводство человеческого капитала в арктических регионах России: социокультурный контекст // Экономические и социальные перемены: факты, тенденции, прогноз. 2021. №5. [сайт]. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vosproiz-vodstvo-chelovecheskogo-kapitala-v-arkticheskikh-regionah-rossii-sotsiokulturnyy-kontekst> (дата обращения: 26.11.2025).

6. Численность населения Норильска // Информационный статистический веб-портал AWDB. [сайт]. URL: <https://norilsk.awdb.ru/> (дата обращения: 26.11.2025).

References

1. Regional index of demand for personnel for the innovative economy / Association of Innovative Regions of Russia (AIRR). 2024. [website]. URL: https://i-regions.ru/upload/iblock/c31/1gdtm0asia82jfoahnmh0pi5bnooqdru/region_qq_index_april_2024.pdf (date of publication: 11/24/2025).
2. Report of the Head of the city of Norilsk on the results of his activities and the activities of the Administration of the city of Norilsk for 2024. [website]. URL: <https://xn--hlaecgfmjlg.xn> (accessed 11/24/2025).
3. «Shortage of almost 20%»: there is still an acute shortage of police officers in the Krasnoyarsk Territory // Newslab.ru. 2024. [website]. URL: <https://newslab.ru/news/1367344> (date of appeal: 11/24/2025).
4. Govorova Natalia Viktorovna Human capital is a key asset in the economic development of

the Arctic territories // AiS. 2018. No. 31. [website]. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/chelovecheskiy-kapital-klyuchevoy-aktiv-hozyay-stvennogo-osvoeniya-arkticheskikh-territoriy> (accessed: 11/26/2025).

5. Markin V.V., Silin A.N., Malinina K.O. Reproduction of human capital in arctic regions of Russia: socio-cultural context // Economic and social changes: facts, trends, forecast. 2021. No. 5. [website]. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vosproiz-vodstvo-chelovecheskogo-kapitala-v-arkticheskikh-regionah-rossii-sotsiokulturnyy-kontekst> (accessed: 11/26/2025).

6. Population of Norilsk // Information statistical web portal AWDB. [website]. URL: <https://norilsk.awdb.ru/> (date of request: 11/26/2025).

Научный вестник Арктики. 2026. №21. С. 83–87.
Scientific Bulletin of the Arctic. 2026;(21):83–87.

Социогуманитарные науки

Научная статья

УДК 378.14

doi: 10.52978/25421220_2026_21_83–87

АДАПТАЦИЯ ПЕРВОКУРСНИКОВ ТЕХНИЧЕСКОГО ВУЗА

Лушникова Галина Анатольевна

Московский государственный технический университет гражданской авиации, Москва, Россия

E-mail: lulev55@yandex.ru

Илларионова Ольга Германовна

Московский государственный технический университет гражданской авиации, Москва, Россия

E-mail: o.illarionova@mstuca.aero

Аннотация. В статье рассмотрены некоторые этапы, традиции, сюжеты, факторы, определяющие теоретические и методические основы профессиональной подготовки студентов высшей технической школы, позитивные и негативные аспекты использования образовательных ресурсов. Развитие личности может успешно осуществляться в самых разных формах и на разных уровнях, при этом основной направляющий вектор – техническое благополучие страны.

Ключевые слова: адаптация профессиональной школы, традиции, возможности, промышленный потенциал, обучение в профессионально-ориентированной среде, мотивация и возможность восприятия знаний, компетентность будущего специалиста.

Для цитирования: Лушникова Г.А., Илларионова О.Г. Адаптация первокурсников технического вуза // Научный вестник Арктики. 2026. №21. С. 83–87. https://doi.org/10.52978/25421220_2026_21_83–87.

Natural sciences

Original article

ADAPTATION OF FIRST-YEAR STUDENTS OF TECHNICAL UNIVERSITY

Galina A. Lushnikova

Moscow State Technical University of Civil Aviation, Moscow, Russia

E-mail: lulev55@yandex.ru

Olga G. Illarionova

Moscow State Technica University of Civil Aviation, Moscow, Russia

E-mail: o.illarionova@mstuca.aero

Abstract. The article discusses some stages, traditions, plots, factors that determine the theoretical and methodological foundations of professional training of a specialist, positive and negative aspects of the use of educational resources, personality development can be successfully carried out in various forms and at different levels, while the main guiding vector is the technical well-being of the country.

Keywords: adaptation of professional school, traditions, opportunities, industrial potential, training in a professional-oriented environment, motivation and ability to perceive knowledge, competence of the future specialist.

For citation: Lushnikova G.A., Illarionova O.G. Adaptation of first-year students of technical university. *Scientific Bulletin of the Arctic*. 2026;(21):83–87. (In Russ.). https://doi.org/10.52978/25421220_2026_21_83–87.

Математика важна как аппарат, используемый в технических дисциплинах. Курс математики является, пожалуй, одной из немногих изучаемых студентами дисциплин,

которая приучает точно выражать свои мысли.

Обучение в высшей технической школе не просто способствует мотивации активного восприятия знаний, но также определяет

компетентность будущего специалиста. Каким образом должно быть построено преподавание математики, чтобы в его результате студенты, например, стали способны к самостоятельному изучению различных математических приложений в инженерной науке?

История отечественного образования свидетельствует, что подготовка специалиста может успешно осуществляться в самых разных формах и на разных уровнях, при этом основной направляющий вектор – техническое благополучие страны. Крупнейший ученый Европы Лейбниц, сказал однажды Петру I: «Полунебездны не могут принести пользу стране, Ваше Величество будет иметь со временем из Вашего собственного народа таких же отличных ученых, и даже лучших, чем где-либо в Европе».

Когда в космос взвились первые советские искусственные спутники Земли, во всех уголках мира люди заговорили о достижениях советской науки, о советской системе народного образования, которая подготовила высококвалифицированные кадры ученых и инженеров. Действительно, народное образование в СССР было поставлено несравненно лучше, чем в большинстве стран мира, существует ли путь восстановить своё лидерство?

Важно, чтобы мотивы учения сочетались с активным интересом к тому, что изучается, имели в основе познавательную потребность и чувство ответственности за приобретение знаний, умений и навыков специалиста. Интерес и мотивы для учебного процесса являются основой, на которой возникают, закрепляются и развиваются знания, навыки и практический опыт студентов.

Логика науки, интересы, цели в последнее время при завершении школьного образования несколько сместились. В этом авторы убеждаются, проводя опрос студентов первого курса. Приведём сгруппированные наиболее частые ответы:

1. Готовились к ЕГЭ большую часть времени, отведённого на предмет.
2. Учитель заявлял, что не обязан готовить к ЕГЭ, у него есть программа, по которой он работает, нанимайте репетиторов.
3. Главная задача и стремление не понимать логику предмета, а сдать ЕГЭ и угодить его шаблону.

Вопросы тестов адресуются к деталям, к какой-то казуистике. В результате школьников натаскивают на знание нюансов, а основополагающие вещи и фундаментальные знания уходят на второй план.

Прагматическая цель обучения – сдать ЕГЭ, остальное не существенно. Это соответствует философии прагматизма: важен результат. Мы ускоренными темпами движемся к формированию поколения без логики науки. Идеологи ЕГЭ утверждают, что борются с коррупцией. Это не поможет, тут нужны правильные законы и честная судебная система. Пока нарушители остаются безнаказанными, коррупция будет процветать. Это относится к любым областям жизни. ЕГЭ не убрал никакую коррупционную составляющую, она переместилась в другие ниши.

По поводу того, что школьникам из глубинки образование, якобы, стало доступнее. Это ложный посыл, что без ЕГЭ из глубинки нельзя было поступить в вузы. Посмотрите на наших известных учёных, например ректор Садовничий В.А. с Донбаса приехал в МГУ и поступил. В Советском союзе такой проблемы не существовало. Эти аргументы от лукавого.

Авторы не претендуют на безусловную истинность своего взгляда, однако, посвятив делу образования жизнь, пытаются аргументировать своё беспокойство очевидной тенденцией снижения уровня знаний и интереса первокурсников технических вузов к изучению математики. Где наши ведущие инженеры, ученые с мировым именем, конструкторы, создающие самые лучшие самолеты? Система ЕГЭ отупляет школьников, мало того, они находятся в постоянном стрессе и вместо интереса к науке чаще всего испытывают неприязнь и даже ненависть.

Все свелось к подготовке к однотипным задачам. Успешность школ и учителей привязана к ЕГЭ, что делает всю картину искусственной. Каждый родитель знает, чтобы успешно сдать ЕГЭ необходимо нанять репетитора. Много лет один из авторов статьи готовил школьников для ЕГЭ, они набирали нужные баллы, но знания нужных кусочков и частностей нельзя считать знанием предмета. Эту работу можно назвать зомбированием, натаскиванием на определённый шаблон. И результат известен: когда в беседах со студентами задаём

вопрос о любви и интересе к своему предмету, то в ответ слышим: «устал, надоело». И эти чувства понятны, им пришлось два или три года упорно (в стрессе) «зубрить» шаблон для ЕГЭ. А красота науки остаётся за бортом, выигрывает тот, кто освоил казуистику шаблона.

ЕГЭ в России оказалось больше чем ЕГЭ. Постоянное общение с репетиторами по предметам наносит непоправимый вред студентам. Они не готовы воспринимать обучение в вузе, лекции, аудиторские занятия. Рассуждения такие: если в аудитории 100 человек, то преподаватель рассказывает что-то новое не мне, а им. Студент привык, что всё важное и значимое репетитор рассказывает ему одному и только в такой ситуации включается внимание и желание понимать.

Одному из авторов совершенно случайно пришлось участвовать в эксперименте. Опишем его. Студент в первом семестре, посещая занятия, ничего не понимал и не усваивал из нового материала. На практическом занятии вызывают его к доске, где отказывается, что он ничего не знает. Но ведь 5 минут назад разбирали такой пример, что же ты не спрашивал? А Вы расскажите мне? Всю большую перемену (60 минут) автор рассказывал этому студенту тот метод, который был на лекции, и вот парадокс, студент всё прекрасно понял и далее на всех занятиях рвался к доске решать и объяснять метод однокурсникам. Репетитор один на один всё рассказывает, а воспринимать лекцию в потоке студенты не готовы. Эту ситуацию мы с ребятами

назвали «парадокс Артура», по имени студента. Проблема в том, что в потоке 120 чел., а на практическом занятии 25 чел. и каждому один на один рассказать не получится. При всём своём уважении к преподавателю, современные «отрепетиторованные» студенты лекцию адекватно воспринимать не могут.

Ни для кого не секрет, что в большинстве технических вузов в современных условиях вынуждены вводить дополнительные адаптационные занятия по элементарной математике и физики. Связано это с тем плачевным состоянием обученности (необученности) первокурсников алгебраическим преобразованиям, которые просто необходимы для дальнейшего понимания специальных предметов.

Как оценить тот факт, что в вузе приходится заново проходить материал средней школы? Сделать вид, что это нормально? Первокурсники честно сдали ЕГЭ, набрали необходимые баллы для поступления, логично на основе школьных знаний продолжать обучение, но часто это невозможно, вот и придумывают в вузах различные дополнительные курсы, факультативы и подобные занятия для обучения необходимым навыкам элементарной математики. Логика науки как-то стирается и меркнет перед необходимостью соблюдения шаблонов единого тестирования, правильного оформления, и прочих формальностей казуистики ЕГЭ.

Оценки экспертов, работающих с первокурсниками, впечатляют (табл. 1).

Таблица 1

**Отзывы экспертов о навыках элементарной математики у студентов первого курса
технического вуза (по 5 бальной оценке)**

Вопрос	2	3	4	5	Мнение экспертов о навыках студентов
Владение навыками алгебраических преобразований		+			Возможность студентов воспринимать высшую математику в начале обучения крайне низкая, что связано отсутствием навыков алгебраических преобразований
Навык восприятия материала лекции	+				Для подготовки к ЕГЭ большая часть студентов пользовалась услугами репетиторов, поэтому воспринимать потоковые лекции им психологически сложно
Навык логических выводов	+				Навык логических выводов крайне низкий, так как основное время обучения было потрачено на выполнения шаблонов ЕГЭ
Обучаемость		+			Логика науки остаётся за бортом подготовки к ЕГЭ, все старания набрать соответствующие баллы, чаще всего связаны с «натаскиванием» на решение шаблонных примеров

«Пробуксовка», слабые навыки элементарной школьной математики не способствуют эффективности и качеству технического образования. А пока в вузе вынужденно восстанавливают навыки, которые до эры ЕГЭ давало школьное образование.

Наиболее приемлемым для авторов является подход, основанный на личном опыте. Рене Декарт как-то сказал: «Никто не может утверждать, что я хочу предложить метод, которому должен следовать каждый, чтобы правильно осуществлять деятельность разума; я хочу только разъяснить тот, которому я сам следовал». Авторы много лет добросовестно обучали студентов технического вуза и пришли к выводу, что достигнуть успехов в трудном деле обучения высшей математике возможно на основе интереса. Как открыть этот интерес, если все силы и старания были направлены на успешные баллы ЕГЭ, а в результате нет элементарных навыков и логически стройной системы математических преобразований.

Анкетирование студентов первого курса показывает, что баллы ЕГЭ, предъявленные при поступлении в вуз, совсем не плохие, то есть требования единого тестирования школьники выполнили. Получили законное право на поступление и были зачислены. Приведём на первой диаграмме (рис. 1) замечательную картину, вполне достойных баллов ЕГЭ по математике, а затем посмотрим на результат входного контроля (рис. 2). Всего треть первокурсников свободно владеет необходимыми для обучения навыками.

Остальные затрудняются в освоении программы, которая осуществляется на основе знаний, умений и навыков, полученных в средней школе. Проверка пройдена, баллы получены, школьники проверены единым тестированием, но приступить к плодотворному освоению предмета не могут. Парадокс.

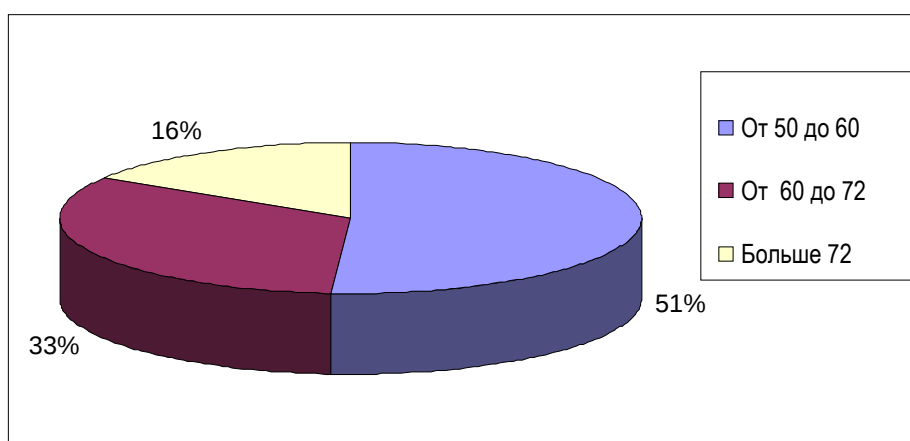


Рис. 1. Баллы ЕГЭ, предъявленные при поступлении
(составлено авторами по итогам собственного исследования)

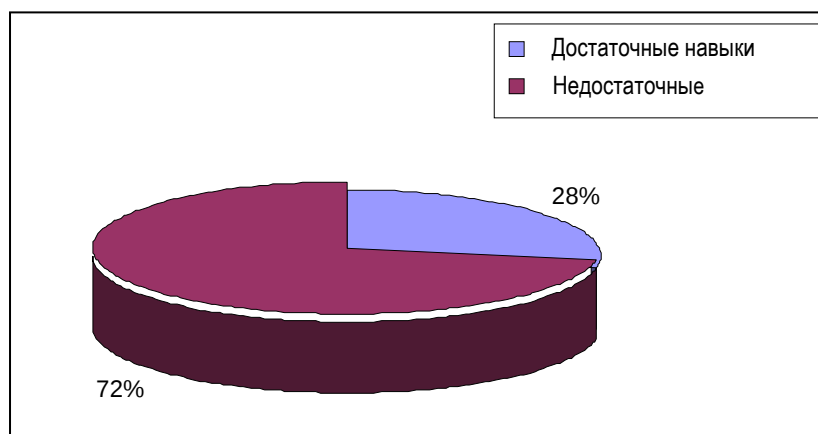


Рис. 2. Оценки входного контроля в начале обучения
(составлено авторами по итогам собственного исследования)

Конечно, вузовские преподаватели организуют адаптационные курсы, факультативы по элементарной математике, затратят немало часов, чтобы приступить к курсу высшей математики и достойно освоить его. По мнению авторов, эта «пробуксовка» очень негативно отражается и на студентах, и логике науки. Возможно, не следует бесконечно проверять и добиваться баллов, возможно пора вернуться к логическому обучению элементарной математике в школе?

Применительно к высшей технической школе математический курс не только является базой технического высшего образования, но и способствует развитию логического мышления, что крайне важно для современного инженера. Кроме того, обучение высшей математике совпадает с началом обучения в вузе, поэтому следует организовать процесс обучения, помочь студенту с первых дней активизировать познавательную деятельность, обрести уверенность и добиться успеха.

Список источников

1. Лушникова Г.А. Система математической подготовки студентов вузов: сборник научных трудов. Материалы междисциплинарной научной конференции аспирантов и соискателей АПК и ПРО // Минобразования России. М.: ПАИМС, 2001. 16 с.
2. Лушникова Г.А. Размышления о приоритетах профессионального образования, традиции и возможности // Научный вестник Арктики. 2017. №2 С. 50–54.
3. Лушникова Г.А. Система организации самостоятельной математической подготовки студентов вуза: Всероссийская конференция «Математика и общество. Математическое образование на рубеже веков». М.: МЦНМО, 2000. С. 467–569.
4. Лушникова Г.А. Аспекты целостности общего и профессионального образования: сборник трудов по материалам III Национальной

- научно-практической конференции; редколл.: Е.П. Масюткин [и др.]. Керчь, 2022. С. 250–256.
5. Садовничий В.А. Математическое образование: настоящее и будущее / Доклад на Всероссийской конференции «Математика и общество. Математическое образование на рубеже веков». М.: Изд-во МГУ, 2000. С. 23.
6. Дементьев Ю.И., Лушникова Г.А. Важные аспекты целостности процесса общего и профессионального образования // Научные исследования XXI века. 2022. №5(19).
7. Дементьев Ю.И., Лушникова Г.А. Образовательная среда технического вуза // Научные исследования XXI века. 2023. №1(21).
8. Лушникова Г.А. Интегративный подход к преподаванию математики для экономистов // Научный вестник Арктики. 2023. №15. С. 101–107.

References

1. Lushnikova G.A. The system of mathematical training of university students: a collection of scientific papers. Materials of the interdisciplinary scientific conference of graduate students and applicants for agriculture and missile defense // Ministry of Education of Russia. Moscow: PAIMS, 2001. 16 p.
2. Lushnikova G.A. Reflections on the priorities of professional education, traditions and opportunities // *Scientific Bulletin of the Arctic*. 2017;2:50–54. (In Russ.).
3. Lushnikova G.A. The system of organizing independent mathematical training of university students: The All-Russian Conference «Mathematics and Society. Mathematical education at the turn of the century». Moscow: ICNMO, 2000. Pp. 467–569.
4. Lushnikova G.A. Aspects of the integrity of general and professional education: collection of works based on the materials of the III National Scientific and Practical Conference; editorial

- board: E.P. Masyutkin [et al.]. Kerch, 2022. Pp. 250–256.
5. Sadovnichy V.A. Mathematical education: present and future / Report at the All-Russian Conference «Mathematics and Society. Mathematical education at the turn of the century». Moscow: MSU Publishing House, 2000. P. 23.
6. Dementiev Yu.I., Lushnikova G.A. Important aspects of the integrity of the process of general and professional education // *Scientific research of the XXI century*. 2022;5(19). (In Russ.).
7. Dementyev Yu.I., Lushnikova G.A. Educational environment of a technical university // *Scientific research of the XXI century*. 2023;1(21). (In Russ.).
8. Lushnikova G.A. Integrative approach to teaching mathematics for economists // *Scientific Bulletin of the Arctic*. 2023;15:101–107. (In Russ.).

Научный вестник Арктики. 2026. №21. С. 88–92.
Scientific Bulletin of the Arctic. 2026;(21):88–92.

Социогуманитарные науки

Научная статья
УДК 005.5:303.72
doi: 10.52978/25421220_2026_21_88–92

**РОЛЬ БИЗНЕС-АНАЛИТИКИ В ПОВЫШЕНИИ ЭФФЕКТИВНОСТИ
БИЗНЕС-ПЛАНИРОВАНИЯ МАЛОГО БИЗНЕСА**

Костин Егор Артемович

Заполярный государственный университет им. Н.М. Федоровского, Норильск, Россия
E-mail:urchi4me@gmail.com

Доменко Юрий Юрьевич

Заполярный государственный университет им. Н.М. Федоровского, Норильск, Россия
E-mail: DomenkoYY@norvuz.ru

Аннотация. В статье рассматривается роль бизнес-аналитики в повышении эффективности бизнес-планирования малого бизнеса. Проанализированы особенности применения аналитических инструментов в условиях ограниченных ресурсов и высокой неопределённости внешней среды. Показано, что использование бизнес-аналитики позволяет повысить гибкость бизнес-планирования, улучшить контроль ключевых показателей деятельности и снизить предпринимательские риски. Сделан вывод о целесообразности применения бизнес-аналитики как инструмента повышения устойчивости малого бизнеса.

Ключевые слова: малый бизнес, бизнес-планирование, бизнес-аналитика, управленческие решения, эффективность, анализ данных, стратегическое планирование.

Для цитирования: Костин Е.А., Доменко Ю.Ю. Роль бизнес-аналитики в повышении эффективности бизнес-планирования малого бизнеса // Научный Вестник Арктики. 2026. №21. С. 88–92. https://doi.org/10.52978/25421220_2026_21_88–92.

Humanities sciences

Original article

**THE ROLE OF BUSINESS ANALYTICS IN IMPROVING THE EFFICIENCY
OF SMALL BUSINESS BUSINESS PLANNING**

Egor A. Kostin

Fedorovsky Polar State University, Norilsk, Russia
E-mail:urchi4me@gmail.com

Yuri Y. Domenko

Fedorovsky Polar State University, Norilsk, Russia
E-mail: DomenkoYY@norvuz.ru

Abstract. The article examines the role of business analytics in improving the effectiveness of business planning in small businesses. The use of analytical tools under conditions of limited resources and high external uncertainty is analyzed. It is shown that business analytics enhances planning flexibility, improves control over key performance indicators, and reduces entrepreneurial risks. The study concludes that business analytics is an effective tool for strengthening the sustainability of small businesses.

Keywords: small business, business planning, business analytics, managerial decisions, efficiency, data analysis, strategic planning.

For citation: Kostin E.A., Domenko Y.Y. The role of business analytics in improving the efficiency of small business business planning. *Scientific Bulletin of the Arctic*. 2026;(21):88–92. (In Russ.). https://doi.org/10.52978/25421220_2026_21_88-92.

Введение. В условиях ограниченности ресурсов и высокой неопределённости внешней среды эффективность деятельности малого бизнеса во многом определяется качеством планирования и обоснованностью управленческих решений. Для малых предприятий ошибки, допущенные на этапе планирования, могут иметь критические последствия, поскольку они не обладают значительным запасом финансовой и организационной устойчивости.

Одним из ключевых инструментов управления развитием предприятия является бизнес-планирование. В научной и учебной литературе бизнес-планирование рассматривается как процесс разработки бизнес-плана, включающий формирование целей деятельности, определение необходимых ресурсов и расчёт плановых показателей, отражающих ожидаемые результаты функционирования организации [1].

Для малого бизнеса бизнес-планирование имеет особое значение, поскольку в большинстве случаев бизнес-план используется как универсальный инструмент управления, совмещающий элементы стратегического, финансового и оперативного планирования. При этом на практике бизнес-планирование в малом бизнесе нередко основывается на упрощённых расчётах и субъективных оценках, что затрудняет учёт изменений рыночной среды и внутренних ограничений предприятия.

В современной управленческой практике всё большее значение приобретает использование данных и аналитических методов. В учебной литературе бизнес-аналитика определяется как применение данных, информационных технологий и количественных методов анализа для поддержки управленческих решений и повышения эффективности деятельности организации [2].

Бизнес-аналитика позволяет анализировать показатели деятельности предприятия, отслеживать изменения внешней и внутренней среды и своевременно корректировать планы. В научных исследованиях подчёркивается, что использование аналитических инструментов способствует более точному прогнозированию показателей и

улучшению качества управленческих решений на различных уровнях управления [3].

Таким образом, использование бизнес-аналитики в процессе бизнес-планирования позволяет сделать планирование более гибким и адаптивным, а также повысить эффективность управления деятельностью малого бизнеса в условиях нестабильной внешней среды.

В рамках данного исследования рассматривается роль бизнес-аналитики в повышении эффективности бизнес-планирования малого бизнеса.

Основной материал. В рамках бизнес-аналитики в процессе бизнес-планирования малого бизнеса осуществляется анализ совокупности данных, отражающих результаты деятельности предприятия и условия его функционирования. В качестве основных объектов анализа выступают финансовые показатели (выручка, структура затрат, прибыль, рентабельность), показатели операционной деятельности (объёмы продаж, производительность, оборачиваемость ресурсов), а также параметры внешней среды, характеризующие состояние рынка, динамику спроса и уровень конкуренции. Анализ данных проводится с использованием базовых методов экономического и управленческого анализа, включая сравнение плановых и фактических показателей, анализ динамики, факторный анализ и визуализацию данных, что позволяет выявлять тенденции и отклонения, значимые для принятия управленческих решений.

Практическое применение бизнес-аналитики в малом бизнесе, как правило, осуществляется с использованием доступных цифровых инструментов и программных продуктов. Наиболее распространёнными являются электронные таблицы, системы управленческого учёта и программные решения для визуализации и обработки данных, такие как Power BI и аналогичные аналитические платформы. Использование данных инструментов позволяет систематизировать информацию, наглядно представлять ключевые показатели деятельности и повышать обоснован-

ность управленческих решений при минимальных затратах ресурсов.

Бизнес-планирование в малом бизнесе выступает важнейшим управленческим инструментом, позволяющим формировать направления развития предприятия и координировать использование ограниченных ресурсов. В работах российских авторов подчёркивается, что для малых предприятий бизнес-план является не только стратегическим документом, но и основой для текущего управления, поскольку в условиях отсутствия сложных систем планирования именно бизнес-план задаёт логику принятия управленческих решений [1].

Специфика бизнес-планирования в малом бизнесе обусловлена ограниченностью финансовых, кадровых и информационных ресурсов. Как отмечают отечественные исследователи, предприниматель в малом бизнесе зачастую совмещает функции собственника, менеджера и аналитика, что приводит к упрощённому подходу к планированию и снижению глубины анализа [4]. В результате бизнес-планы нередко разрабатываются на короткий период и быстро теряют актуальность, не выполняя функцию инструмента адаптации к изменяющимся условиям внешней среды.

Современные условия хозяйствования характеризуются ростом неопределённости, усилением конкурентного давления и повышенной чувствительностью малого бизнеса к изменениям спроса и макроэкономическим факторам. В этой связи в научных публикациях всё чаще подчёркивается необходимость перехода от интуитивного планирования к аналитическому подходу, основанному на использовании данных и систематическом анализе показателей деятельности [5]. Именно в этом контексте возрастает роль бизнес-аналитики в системе управления малым бизнесом.

Бизнес-аналитика в управленческой практике рассматривается как совокупность методов анализа данных, направленных на поддержку управленческих решений и повышение эффективности деятельности организации. Российские авторы отмечают, что бизнес-аналитика позволяет формировать более целостное представление о состоянии предприятия, выявлять

тенденции развития и своевременно реагировать на отклонения от запланированных показателей [6]. В системе бизнес-планирования малого бизнеса аналитика становится связующим элементом между плановыми расчётами и фактическими результатами деятельности.

Практическая польза бизнес-аналитики проявляется на ключевых этапах бизнес-планирования. Анализ внешней среды позволяет оценивать динамику рынка, изменения потребительского спроса и уровень конкуренции. Анализ внутренней среды направлен на оценку структуры затрат, эффективности использования ресурсов и финансовых показателей предприятия. Применение аналитических инструментов на этих этапах способствует повышению гибкости бизнес-планирования и позволяет корректировать планы до возникновения критических проблем [7].

Для систематизации преимуществ и ограничений применения бизнес-аналитики в бизнес-планировании малого бизнеса целесообразно использовать SWOT-анализ, позволяющий оценить внутренние и внешние факторы, влияющие на эффективность использования аналитических инструментов (табл. 1).

Проведённый SWOT-анализ показывает, что применение бизнес-аналитики в бизнес-планировании малого бизнеса обладает значительным потенциалом. Сильные стороны и возможности в большей степени связаны с повышением гибкости планирования, улучшением контроля за показателями деятельности и снижением рисков, что особенно важно в условиях ограниченности ресурсов.

Выявленные слабые стороны и угрозы носят преимущественно организационный и кадровый характер и не являются критическими. Они могут быть нивелированы за счёт постепенного внедрения аналитических инструментов, использования базовых методов анализа и повышения управленческих компетенций. В целом, результаты SWOT-анализа подтверждают целесообразность использования бизнес-аналитики как инструмента повышения эффективности бизнес-планирования малого бизнеса.

Таблица 1

SWOT-анализ применения бизнес-аналитики в бизнес-планировании малого бизнеса

Сильные стороны	Слабые стороны
1. Повышение качества плановых расчётов за счёт использования данных. 2. Возможность регулярного мониторинга ключевых показателей деятельности. 3. Повышение гибкости бизнес-планирования и оперативной корректировки планов. 4. Снижение вероятности ошибок, связанных с интуитивными управленческими решениями. 5. Улучшение контроля за использованием ресурсов и затратами	1. Ограниченный уровень аналитических компетенций у предпринимателей. 2. Недостаток систематизированных и достоверных данных. 3. Дополнительные временные затраты на сбор и анализ информации. 4. Ограниченные финансовые возможности для внедрения аналитических инструментов
Возможности	Угрозы
1. Повышение устойчивости малого бизнеса. 2. Снижение предпринимательских и финансовых рисков. 3. Повышение эффективности использования ресурсов. 4. Улучшение качества управления. 5. Возможность постепенного внедрения аналитики	1. Сопротивление изменениям. 2. Ошибочные выводы при использовании некорректных данных. 3. Избыточная ориентация на количественные показатели. 4. Быстрое устаревание данных. 5. Ложное ощущение контроля

Таким образом, бизнес-аналитика выступает необходимым элементом современного бизнес-планирования малого бизнеса. Её применение позволяет превратить бизнес-план из формального документа в инструмент постоянного управления, обеспечивающий повышение эффективности и устойчивости развития малого предприятия.

Заключение. В ходе исследования установлено, что эффективность бизнес-планирования малого бизнеса в значительной степени зависит от использования аналитических инструментов. В условиях нестабильной внешней среды и ограниченных ресурсов традиционные интуитивные подходы к планированию не позволяют своевременно учитывать изменения рынка и внутренние ограничения предприятия.

Применение бизнес-аналитики в процессе бизнес-планирования повышает гибкость планов, улучшает контроль ключевых показателей деятельности и позволяет оперативно корректировать управленческие решения. Результаты SWOT-анализа показали, что преимущества и возможности использования бизнес-аналитики в малом бизнесе превышают существующие ограничения. Таким образом, бизнес-аналитика является необходимым инструментом повышения эффективности бизнес-планирования малого бизнеса и способствует более устойчивому развитию предприятий в условиях неопределённости.

Список источников

1. Лопарева А.М. Бизнес-планирование: учебник для вузов; 3-е изд., перераб. и доп. М.: Издательство Юрайт, 2020.
2. Эванс Дж.Р. Бизнес-аналитика: учебник / 3-е изд. (Global Edition). Харлоу (Harlow): Pearson Education Limited, 2020.
3. Лю Ш., Лю О., Чэнь Ц. Обзор бизнес-аналитики: определения, методы, области применения и проблемы // Mathematics. 2023. Т. 11. №4.
4. Кузнецов А.Н. Управление малым бизнесом: учеб. пособие. М.: Инфра-М, 2021.
5. Романов А.Н., Одинцов С.А. Управленческие решения в условиях неопределённости: монография. М.: Юрайт, 2022.
6. Киселёва Н.А. Бизнес-аналитика в системе управления организацией // Экономика и управление. 2021. №6.
7. Смирнов В.В. Аналитические инструменты в бизнес-планировании предприятий малого бизнеса // Вестник предпринимательства. 2022. №4.

References

1. Lopareva A.M. Business planning: a textbook for universities; 3rd ed., revised. Moscow: Yurait Publishing House, 2020.
2. Evans J.R. Business Analytics: Textbook / 3rd ed. (Global Edition). Harlow: Pearson Education Limited, 2020.
3. Liu Sh., Liu O., Chen C. Review of business analytics: definitions, methods, areas of application and problems // *Mathematics*. 2023;11(4). (In Russ.).
4. Kuznetsov A.N. Small business management: textbook. manual. Moscow: Infra-M, 2021.
5. Romanov A.N., Odintsovo S.A. Managerial decisions in conditions of uncertainty: a monograph. Moscow: Yurait, 2022.
6. Kiseleva N.A. Business analytics in the management system of an organization // *Economics and management*. 2021;6. (In Russ.).
7. Smirnov V.V. Analytical tools in business planning of small businesses // *Bulletin of Entrepreneurship*. 2022;4. (In Russ.).

Научный вестник Арктики. 2026. №21. С. 93–96.
Scientific Bulletin of the Arctic. 2026;(21): 93–96.

Социогуманитарные науки

Научная статья

УДК 33.334.01

doi: 10.52978/25421220_2026_21_93–96

**ЭНДАУМЕНТ-ФОНД КАК ИНСТРУМЕНТ ЭФФЕКТИВНОГО
ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ
И СУБЪЕКТОВ МАЛОГО БИЗНЕСА**

Земзюлина Наталья Геннадьевна

Заполярный государственный университет им. Н.М. Федоровского, Норильск, Россия

E-mail: ZemzyulinaNG@norvuz.ru

Доменко Юрий Юрьевич

Заполярный государственный университет им. Н.М. Федоровского, Норильск, Россия

E-mail: DomenkoYY@norvuz.ru

Глубокова Людмила Геннадьевна

Заполярный государственный университет им. Н.М. Федоровского, Норильск, Россия

E-mail: GlubokovaLG@norvuz.ru

Аннотация. В рамках данного исследования рассматривается неклассическая форма использования целевого капитала в разрезе взаимодействия высших учебных заведений и субъектов малого бизнеса. Определены возможные модели взаимодействия высших учебных заведений и субъектов малого бизнеса на базе эндаумент-фондов, такие как: образовательная модель; инфраструктурная модель; модель формирования человеческого капитала; научная модель; научно-прикладная модель.

Ключевые слова: эндаумент-фонд, маркетинговая деятельность, малый бизнес, высшие учебные заведения, пожертвования.

Для цитирования: Земзюлина Н.Г., Доменко Ю.Ю., Глубокова Л.Г. Эндаумент-фонд как инструмент эффективного взаимодействия высших учебных заведений и субъектов малого бизнеса // Научный вестник Арктики. 2026. №21. С. 93–96. https://doi.org/10.52978/25421220_2026_21_93–96.

Humanities sciences

Original article

**ENDOWMENT FUNDS AS A TOOL FOR EFFECTIVE INTERACTION
BETWEEN HIGHER EDUCATION INSTITUTIONS
AND SMALL BUSINESSES**

Natalia G. Zemzyulina

Fedorovsky Polar State University, Norilsk, Russia

E-mail: ZemzyulinaNG@norvuz.ru

Yuri Y. Domenko

Fedorovsky Polar State University, Norilsk, Russia

E-mail: DomenkoYY@norvuz.ru

Lyudmila G. Glubokova

Fedorovsky Polar State University, Norilsk, Russia

E-mail: GlubokovaLG@norvuz.ru

Abstract. Within the framework of this study, a non-classical form of using endowment capital is considered in the context of interaction between higher education institutions and small businesses. Possible models of interaction between higher education institutions and small businesses based on endowment funds are identified, such as: educational model; infrastructure model; model of human capital formation; scientific model; scientific and applied model.

Keywords: endowment fund, marketing activities, small business, higher education institutions, donations.

For citation: Zemzyulina N.G., Domenko Y.Y., Glubokova L.G. Endowment funds as a tool for effective interaction between higher education institutions and small businesses. *Scientific Bulletin of the Arctic*. 2026;(21):93–96. (In Russ.). https://doi.org/10.52978/25421220_2026_21_93-96.

Введение. На сегодняшний день бизнес-сообщество не может существовать автономно от внешней среды. Ключевыми аспектами последней выступают формы взаимодействия с различными акторами как самой коммерческой среды, так и среды некоммерческой.

Некоммерческий сегмент взаимодействия с бизнесом выражен в форме различных некоммерческих организаций, а именно автономных организаций, союзов, ассоциаций, образовательных учреждений и др.

В данном исследовании рассматривается такая комбинация взаимодействия акторов, как высшие учебные заведения и субъекты малого бизнеса.

Именно эта комбинация является актуальной, так как субъекты малого бизнеса занимают важную роль в обеспечении граждан рабочими местами и создании через свою деятельность части ВВП, а высшие учебные заведения на базе своего образовательного и научного потенциала способны привнести в деятельность субъектов малого бизнеса большую эффективность, что, в свою очередь, позволит улучшить локальную среду и инфраструктуру.

Одним из инструментов взаимодействия малого бизнеса и высших учебных заведений могут выступать эндаумент-фонды.

Основная часть. Вопрос сотрудничества науки и бизнеса имеет исторический характер и сопровождает человечество на протяжении всего его существования, а генезис лежит в полярности мнений: с одной стороны, существует мнение, что наука является теоретической субстанцией, и ее реальное сотрудничество с бизнесом практически невозможно, с другой – научно-технический прогресс человечества был бы невозможен без достижений науки и тех представителей интеллектуальной элиты, которые, в силу своего стремления к познанию нового и обогащения человечества новыми знаниями, совершали открытия и делали изобретения [2].

С таким утверждением нельзя не согласиться, так как сегодня не только высокотехнологичное и наукоемкое производство требует новых научных подходов и знаний, но и привычные формы ведения бизнеса, такие как продажи, консалтинг, логистика и другие направления, также требуют инновационных подходов, которые могут формироваться не только из практического опыта, но и по результатам научных изысканий и экспериментов.

На сегодняшний день институциональное взаимодействие бизнеса и высших учебных заведений сводится преимущественно к формату «Высшие учебные заведения – крупный бизнес». Такой формат включает в себя разработку и реализацию совместных образовательных программ, организацию площадок стажировок и практик, партнерство в научно-исследовательской деятельности, организацию подготовки кадров и профессиональной переподготовки, благотворительную деятельность, проведение совместных профессиональных конкурсов, профориентационных мероприятий и многое другое.

В рамках межсубъектного взаимодействия «Высшие учебные заведения – крупный бизнес» сформировались и устоялись институциональные связи и формы взаимодействия, что сложно сказать о межсубъектном взаимодействии в форме «Высшие учебные заведения – малый бизнес».

Институционализация связей возможна через формально определенные инструменты взаимодействия. В данном исследовании таким инструментом выступает эндаумент-фонд.

Согласно ФЗ от 30.12.2006 № 275-ФЗ, целевой капитал некоммерческой организации – часть имущества некоммерческой организации, которая формируется и пополняется за счет пожертвований, внесенных в порядке и целях, которые предусмотрены Федеральным законом, и (или) за счет имущества, полученного по завеща-

нию, а также за счет неиспользованного дохода от доверительного управления указанным имуществом и передана некоммерческой организацией в доверительное управление управляющей компании в целях получения дохода, используемого для финансирования уставной деятельности такой некоммерческой организации или иных некоммерческих организаций, в порядке, установленном Федеральным законом [1].

Необходимо отметить, что цели использования целевого капитала четко определены Федеральным законом и направлены на такие сферы, как: образование, наука, здравоохранение, культура, физическая культура и спорт (за исключением профессионального спорта), искусство, архивное

дело, социальная помощь (поддержка), охрана окружающей среды, оказание гражданам бесплатной юридической помощи и осуществление их правового просвещения, функционирование общероссийского обязательного общедоступного телеканала общественного телевидения.

На основе определённых законодательством целей нормативно разрешено и формально допустимо рассматривать взаимодействие малого бизнеса и высших учебных заведений на базе эндаумент-фондов (использование целевого капитала).

В рамках данного исследования предлагаем модели взаимодействия высших учебных заведений и субъектов малого бизнеса на базе эндаумент-фондов (табл. 1).

Таблица 1*

№	Модель	Характеристика модели	Синергетический эффект
1	Инфраструктурная модель	Пожертвование со стороны малого бизнеса происходит с целью модернизации инфраструктуры высших учебных заведений	Повышение качества инфраструктуры вуза. Возможность малого бизнеса пользоваться инфраструктурой вуза для реализации своих законных целей. Проведение совместных мероприятий, направленных на усиление локального бренда субъектов малого бизнеса и формирование социально-ориентированной бренд-позиции
2	Образовательная модель	Пожертвование со стороны малого бизнеса происходит с целью разработки и реализации образовательных программ под целевой запрос со стороны субъектов малого бизнеса	Разработка и реализация целевых образовательных программ. Подготовка узкоспециализированных специалистов с уникальными компетенциями. Увеличение контингента обучающихся. Усиление практико-ориентированного подхода в обучении
3	Модель формирования человеческого капитала	Пожертвование со стороны малого бизнеса происходит с целью поддержки и развития человеческого капитала и профессионального уровня обучающихся. Пожертвования не обязательно являются целевыми и не заточены под специфику своей деятельности и сферы	Дополнительное стимулирование обучающихся. Популяризация достижений в области образования. Повышение качества локального бренда субъектов малого бизнеса и формирование социально-ориентированной бренд-позиции
4	Научная модель	Пожертвование со стороны малого бизнеса происходит с целью проведения разработок в области наукоемких технологий	Повышение качества научных изысканий. Повышение качества локального бренда субъектов малого бизнеса и формирование наукоемкой и инновационной бренд-позиции
5	Научно-прикладная модель	Пожертвование со стороны малого бизнеса происходит с целью проведения разработок в области прикладных исследований необходимых для непосредственной деятельности субъектов малого бизнеса, в том числе и операционной	Повышение качества научно-прикладных изысканий. Повышение качества локального бренда субъектов малого бизнеса и формирование практико-ориентированной (прикладной) бренд-позиции

*Составлено авторами.

Заключение. На сегодняшний день бизнес взаимодействует с множеством акторов из разных сфер и сегментов. Взаимодействие происходит не только в рамках коммерческой сферы, но и сферы некоммерческой. В рамках исследования рассмотрена форма взаимодействия субъектов малого бизнеса и высших учебных заведений на базе эндаумент-фондов, как возможного эффективного инструмента.

На основе целей взаимодействия выделены такие модели как: образовательная модель; инфраструктурная модель; модель

формирования человеческого капитала; научная модель; научно-прикладная модель. При построении моделей для вовлечения субъектов малого бизнеса в формирование целевого капитала необходима трансляция опыта, в том числе и крупного бизнеса, а также определение полезных прямых эффектов для субъектов малого бизнеса. Только такой подход способен выстроить эффективные и взаимовыгодные отношения между высшими учебными заведениями и субъектами малого бизнеса.

Список литературы

1. Федеральный закон от 30.12.2006 №275–ФЗ (ред. от 25.10.2024) «О порядке формирования и использования целевого капитала некоммерческих организаций». [сайт]. URL: [https:// www.consultant.ru/](https://www.consultant.ru/)

2. Отечественный и зарубежный опыт интеграции бизнеса и науки: новые возможности и угрозы в эпоху Индустрии 4.0 / Е.А. Погребинская, В.Н. Сидоренко, Е.И. Сухова // Вопросы инновационной экономики. 2021. Т. 11, №4. С. 1573–1594.

References

1. Federal Law No. 275–FZ of 12/30/2006 (as amended on 10/25/2024) «On the Procedure for Forming and Using the Endowment Capital of Non-commercial Organizations». [website]. URL: [https:// www.consultant.ru/](https://www.consultant.ru/)

2. Domestic and foreign experience of business and science integration: new opportunities and threats in the era of Industry 4.0 / E.A. Pogrebinskaya, V.N. Sidorenko, E.I. Sukhova // *Issues of innovative economics*. 2021;11(4):1573–1594. (In Russ.).

УВАЖАЕМЫЕ КОЛЛЕГИ!

ФГБОУВО «Заполярный государственный университет им. Н.М. Федоровского» приступил к формированию очередного номера научно-практического журнала «Научный вестник Арктики», ISSN 2542–1220.

Целью издания журнала является широкое освещение положительного опыта интеграции теоретических и прикладных исследований актуальных проблем развития современного образования, науки и производства, информационно-методическое обеспечение в системе подготовки будущих специалистов.

Тематика журнала включает следующие направления:

- технические науки;
- естественно-научные дисциплины;
- социогуманитарные науки.

Приглашаем Вас принять участие в выпуске журнала.

Материалы просим представить до **15.02** и **15.10** текущего года в соответствии с прилагаемыми требованиями для прохождения рецензирования.

Статьи, полученные редакцией позже указанного срока, будут рассматриваться для публикации в следующем номере журнала.

Представленные статьи проходят проверку в программе «Антиплагиат».

ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ПУБЛИКАЦИЙ

1. Автор высылает в редакцию электронную версию статьи по электронной почте с указанием тематического направления. Статья должна быть подписана автором.

Каждый из авторов заключает лицензионный договор на право использования результата интеллектуальной деятельности. Для иногородних авторов образец договора присылается на адрес электронной почты (сканированная копия договора, подписанная автором, пересылается на адрес электронной почты редакции).

2. К статье обязательно прилагаются ее название, Ф.И.О. авторов, аннотация (не более 5–6 строк), ключевые слова (не более 10 слов), пристатейный библиографический список.

3. Сведения об авторах должны включать: фамилия, имя, отчество, место работы, должность, ученая степень, звание, домашний и служебный адрес, телефоны, электронный адрес. Если авторов несколько, указать, с кем из них вести переписку.

4. Информация на английском языке: Ф.И.О. автора, название статьи, аннотация, ключевые слова, список источников, место работы, должность, ученая степень, звание.

5. Объем статьи не должен превышать 16 страниц текста формата А4, включая таблицы и рисунки, список литературы. Шрифт – Times New Roman, размер шрифта 14, интервал – полуторный.

6. Статья должна содержать лишь самые необходимые формулы, набранные в редакторе формул. Нумеруются только те формулы, на которые имеются ссылки.

7. Иллюстрационный материал должен быть выполнен четко, в формате, обеспечивающем ясность передачи всех деталей, и быть пригодным для прямого воспроизведения.

Таблицы должны иметь заголовки. Допускаются только общепринятые сокращения.

8. Библиографический список приводится в конце статьи в порядке упоминания. В тексте должны быть ссылки на литературу в квадратных скобках. Библиография должна быть оформлена согласно ГОСТ Р 7.05–2008.

9. Редакция оставляет за собой право в случае необходимости редактировать и сокращать статьи.

Материалы публикуются на безгонорарной основе. Плата за публикацию статей с авторов не взимается.

Адрес редакции:

663310, г. Норильск, ул. 50 лет Октября, 7,

ФГБОУ ВО «Заполярный государственный университет им. Н.М. Федоровского».

Тел. 8(3919) 45-70-41, доб. 144

E-mail: ProzurNA@norvuz.ru

DEAR COLLEAGUES!

State Higher Educational Establishment «Fedorovsky Polar State University» is delighted to announce that it has started to form the next issue of the scientific journal «Scientific Bulletin of the Arctic». ISSN 2542–1220.

The purpose of the publication is to widely highlight the positive experience of integrating theoretical and applied research on topical problems in the development of modern education, science and practices, information and methodological support in the system of future specialists' training.

«Scientific Bulletin of the Arctic» publishes papers concerning the following aspects:

- technical sciences;
- natural sciences;
- humanities sciences.

You are invited to submit scientific contributions for the journal.

All correspondence concerning manuscripts should reach the Editorial Board 15.02 and 15.10 current year at the latest. The papers should meet the style requirements, otherwise they will not be considered. The submitted papers are not sent back.

The manuscripts received later will be considered for publication in the next issue.

REQUIREMENTS FOR FORMING MATERIALS FOR PUBLICATIONS

1. The author sends to the editorial office a printed copy of the article and an identical version on disk or an electronic version of the article by e-mail indicating the thematic direction. The article must be signed by the author.

Every author enters into a license contract for the right of the use of his intellectual activity. For authors from other cities, a sample contract is sent to the email address (a scanned copy of the contract, signed by the author, is sent to the editorial email address).

2. The article must be accompanied by its title, full names of the authors, abstract (no more than 5-6 lines), key words (no more than 10 words), bibliographic list.

3. Information about the authors should include: surname, name, patronymic, place of work, position, academic degree, scientific title, home and business address, phone numbers, email address. If there are several authors, indicate with which of them to correspond.

4. Information in English should include: full name of the author, article title, abstract, key words, list of references, place of work, position, academic degree, scientific title.

5. The size of articles should not exceed 16 A4 format pages of manuscript, including tables (not more than 3), drawing figures (not more than 5), references (not more than 10-15 sources). The manuscripts should be printed in size 14 font (Times New Roman), one-and-a-half spacing.

6. The article should contain the most necessary formulas. Only formulas with references are numbered.

7. Illustrative material should be convenient; all the details are clearly seen. Charts go with the titles. Only generally accepted abbreviations are allowed.

8. The bibliographic list is given at the end of the article in the order of mention. The text should contain references to the literature in square brackets. The bibliography must be formatted in accordance with National State Standard R7.05-2008.

9. The manuscript must be proofread by the author. The editors reserve the right, if necessary, to edit and shorten the articles.

Dear authors, if the above requirements are not met, the article will not be published!

Materials are published on a free basis. Authors are not charged for publishing articles.

Editorial Board,
Fedorovsky Polar State University.
50 Let Oktyabrya, 7
Norilsk, 663310
Krasnoyarsky Region, Russia
Phone: 8(3919) 45-70-41, доб. 144
E-mail: ProzurNA@norvuz.ru

Научное издание

НАУЧНЫЙ ВЕСТНИК АРКТИКИ

Подписано в печать 29.06.2026.

Бум. для копир.-мн.ап.

Гарнитура *Century*. Печать плоская.

Тираж 100 экз. Зак. 2.

663310, Норильск, ул. 50 лет Октября, 7.

E-mail: rio@norvuz.ru