

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РФ

**Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования**

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

НАУЧНЫЙ ВЕСТНИК АРКТИКИ

№20

Норильск 2026

НАУЧНЫЙ ВЕСТНИК АРКТИКИ

НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

№20

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 ВИНТИ

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, доцент кафедры 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 теплогазовоснабжения 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 металлургии, машин и оборудования Заполярного государственного университета им. Н.М. Федоровского

Федотова Ольга Дмитриевна – доктор педагогических наук, профессор, заведующий кафедрой «Образование и педагогические науки» 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

Шигалугов Станислав Хазретович – доктор физико-математических наук, доцент, заведующий кафедрой физико-математических дисциплин Заполярного государственного университета им. Н.М. Федоровского

Щадов Геннадий Иванович – кандидат экономических наук, доцент, заведующий кафедрой разработки месторождений полезных ископаемых Заполярного государственного университета им. Н.М. Федоровского

СОДЕРЖАНИЕ / CONTENTS

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

TECHNICAL SCIENCES

Санаев Р.С., Елесин М.А.

Гидротехнический бетон: от традиционных решений к интеграции интеллектуальных композитов для арктических шлейфов

Sanaev R.S., Elesin M.A.

Hydraulic engineering concrete: from traditional solutions to the integration of intelligent composites for Arctic plumes

5

Бойко В.Г.

Цементы с низким содержанием клинкерной составляющей

Boiko V.G.

Low-clinker cements

12

Туртыгина Н.А., Стебляно И.О.**Глинский А.В., Прокофьева Н.З.**

Современные подходы ведения буровзрывных работ при добыче медно-никелевых руд

Turtygina N.A., Steblyanko I.O.**Glinsky A.V., Prokofieva N.Z.**

Modern approaches to drilling and blasting operations in copper-nickel ore mining

19

Еремеева Е.А., Елесин М.А.

Закономерности влияния структуры и свойств строительных материалов в условиях Крайнего Севера (на примере города Норильска)

Eremeeva E.A., Elesin M.A.

Patterns of influence of the structure and properties of construction materials in the conditions of the far north (on the example of Norilsk)

28

Туртыгина Н.А., Шевченко П.Р.**Самосенко И.В., Кичигина В.Д.**

Характеризация применения программного обеспечения в решении геомеханических задач

Turtygina N.A., Shevchenko P.R.**Samosenko I.V., Kichigina V.D.**

Characterization of the use of software in solving geomechanical problems

33

Самплина В.Р., Поляков Н.В., Киселев И.М.

Интеллектуальная система мониторинга и прогнозирования движения общественного транспорта в условиях Арктики

Samplina V.R., Polyakov N.V., Kiselev I.M.

Intelligent system for monitoring and forecasting public transport movement in Arctic conditions

43

Мозгунов Д.В.

Система учета и обработки данных тепловых сетей

Mozgunov D.V.

Data accounting and processing system for heat networks

49

ЕСТЕСТВЕННО-НАУЧНЫЕ

ДИСЦИПЛИНЫ

NATURAL SCIENCES

Лушникова Г.А., Дементьев Ю.И.

Оптимизация портфеля двух ценных бумаг.

Коэффициент корреляции случайных величин

Lushnikova G.A., Dementyev Y.I.

Optimization of the portfolio of two securities.

Correlation coefficient of random variables

58

Боровицкая А.О.

Параметрическая оценка функции интенсивности маркированного пуассоновского поля

Borovitskaya A.O.

Parametric estimation of the intensity function of a marked poisson field

63

СОЦИОГУМАНИТАРНЫЕ НАУКИ

HUMANITIES SCIENCES

Доменко Ю.Ю., Глубокова Л.Г., Чередниченко В.Ф.

Междисциплинарная проектная деятельность как инструмент повышения профессиональной подготовки обучающихся

Domenko Yu.Y., Glubokova L.G., Cherednichenko V.F.

Interdisciplinary project activity as a tool for enhancement of students' professional training

70

Демченко И.В.

Динамика мотивов выбора профессии студентов технических направлений подготовки вуза

Demchenko I.V.

The dynamics of professional choice motives of students in technical fields of study

76

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

Маркетинг взаимоотношений на основе отдельных элементов модели 4R в разрезе взаимодействия высших учебных заведений и субъектов малого бизнеса

Zemzyulina N.G., Domenko Yu.Y., Glubokova L.G.

Relationship marketing based on individual elements of the 4R model in the context of interactions between higher education institutions and small businesses

86

Доменко Ю.Ю., Газизова Ю.И., Лепт И.Н., Хамица А.С.

Управление человеческими ресурсами в Арктической зоне: кадровые стратегии в экстремальных условиях

Domenko Yu.Y., Gazizova Yu.I., Letr I.I., Khamitsa A.S.

Human resource management in the Arctic zone: personnel strategies in extreme conditions

91

Научный вестник Арктики. 2026. №20. С. 5–11.
Scientific Bulletin of the Arctic. 2026;(20):5–11.

Технические науки

Научная статья

УДК 691.3:66.97.033.3(98)

doi: 10.52978/25421220_2026_20_5–11

**ГИДРОТЕХНИЧЕСКИЙ БЕТОН: ОТ ТРАДИЦИОННЫХ РЕШЕНИЙ
К ИНТЕГРАЦИИ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ КОМПОЗИТОВ
ДЛЯ АРКТИЧЕСКИХ ШЛЕЙФОВ**

Санаев Роман Сергеевич

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

E-mail: SanaevRS@edu.norvuz.ru

Елесин Михаил Анатольевич

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

E-mail: elesinma@norvuz.ru

Аннотация. Представлен комплексный анализ эволюции, современного состояния и перспектив развития гидротехнического бетона. Особое внимание уделено вопросам проектирования составов для экстремальных условий Арктической зоны. Предложены перспективные направления создания самовосстанавливающихся и многофункциональных композитов.

Ключевые слова: гидротехнический бетон, арктическое строительство, химические модификаторы, долговечность, морозостойкость, суперпластификаторы.

Для цитирования: Санаев, Р.С., Елесин, М.А. Гидротехнический бетон: от традиционных решений к интеграции интеллектуальных композитов для арктических шлейфов // Научный вестник Арктики. 2026. №20. С. 5–11. https://doi.org/10.52978/25421220_2026_20_5–11.

Technical sciences

Original article

**HYDRAULIC ENGINEERING CONCRETE: FROM TRADITIONAL
SOLUTIONS TO THE INTEGRATION OF INTELLIGENT COMPOSITES
FOR ARCTIC PLUMES**

Roman S. Sanaev

Fedorovsky Polar State University, Norilsk, Russia

E-mail: SanaevRS@edu.norvuz.ru

Mikhail A. Elesin

Fedorovsky Polar State University, Norilsk, Russia

E-mail: elesinma@norvuz.ru

Abstract. Presents a comprehensive analysis of the evolution, current state, and development prospects of hydraulic engineering concrete. Special attention is paid to the design of mix compositions for the extreme conditions of the Arctic zone. Promising directions for creating self-healing and multifunctional composites are proposed.

Keywords: hydraulic engineering concrete, arctic construction, chemical modifiers, durability, frost resistance, superplasticizers.

For citation: Sanaev R.S., Elesin M.A. Hydraulic engineering concrete: from traditional solutions to the integration of intelligent composites for Arctic plumes. *Scientific Bulletin of the Arctic*. 2026;(20):5–11. (In Russ.). https://doi.org/10.52978/25421220_2026_20_5–11.

Введение. Современный этап освоения арктических регионов характеризуется интенсивным развитием портовой инфраструктуры, строительством гидротехнических сооружений для обеспечения работы Северного морского пути и объектов добычи углеводородных ресурсов на шельфе. В этих условиях к материалам, в частности к гидротехническому бетону, предъявляются требования, значительно превышающие традиционные нормативы.

Особенностью арктической среды является комплекс агрессивных факторов, которые в своем сочетании создают уникальные условия эксплуатации, не имеющие аналогов в умеренных широтах. В течение года конструкции подвергаются воздействию температур до $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$, при этом количество циклов замораживания-оттаивания может достигать 500. Ледовые нагрузки в прибрежной зоне создают дополнительные напряжения, а постоянное присутствие морской воды с высокой концентрацией солей вызывает комплексную химико-физическую коррозию.

Согласно данным многолетнего мониторинга, проводимого научно-исследовательскими институтами на объектах арктического побережья, стандартные бетоны теряют до 40% своей проектной прочности уже через 10–15 лет эксплуатации. Наиболее серьезные повреждения наблюдаются в зоне переменного уровня воды, где сочетаются все виды разрушающих воздействий. Это требует разработки принципиально новых решений и совершенствования нормативной базы.

Историческая ретроспектива и современные вызовы. История гидротехнического бетона насчитывает более 2000 лет. Римские строители эмпирическим путем обнаружили эффективность пуццолановых добавок и создали составы, которые демонстрируют поразительную долговечность даже в условиях морской воды. При строительстве порта в Коса (Греция, 300 г. до н.э.) использовались смеси извести с вулканическим пеплом, которые в результате гидратации образовывали стабильные гидросиликатные фазы. Эти сооружения сохранились до наших дней, что свидетельствует о высокой устойчивости к коррозии.

Настоящий прорыв в развитии гидротехнического бетона произошел в XX веке с развитием химии строительных материалов (табл. 1). В 1930–1950-х гг. началось активное применение пластификаторов на основе сульфитно-спиртовой барды (ССБ), что позволило улучшить удобоукладываемость бетонных смесей при строительстве таких масштабных объектов, как плотина Гувера в США. В 1970–1990-х гг. появились первые суперпластификаторы на основе нафталина и меламина (НФ/МФ), которые значительно повысили плотность и прочность бетонов, используемых при возведении Саяно-Шушенской ГЭС.

Современный этап, начавшийся в 2000-х гг., характеризуется внедрением поликарбоксилатных эфиров и комплексным подходом к модифицированию структуры бетона. Эти разработки нашли применение при строительстве порта Сабетта в Арктике, где требования к материалам особенно высоки [1–3].

Таблица 1

Основные вехи развития гидротехнического бетона

Период	Ключевые инновации	Примеры сооружений	Особенности состава
Античность	Пуццолановые добавки	Порт в Коса (Греция)	Известь + вулканический пепел
1930–1950 гг.	Пластификаторы ССБ	Плотина Гувера (США)	Портландцемент + ССБ
1970–1990 гг.	Суперпластификаторы НФ/МФ	Саяно-Шушенская ГЭС	Цемент + НФ/МФ + микрокремнезем
2000–2020 гг.	Поликарбоксилатные эфиры	Порт Сабетта (Арктика)	Композитное вяжущее + ПКЭ

Для арктической зоны характерны уникальные сочетания деградационных факторов, которые в своем синергетическом воздействии значительно ускоряют процесс разрушения бетонных конструкций. Глубинное промораживание приводит к объемному расширению воды в порах и капиллярах, создавая значительные внутренние напряжения. Кристаллизация солей в поровом пространстве дополнительно усиливает эти напряжения, приводя к образованию микротрещин.

В ходе полевых исследований, проведенных на побережье Карского моря, было установлено, что в течение года конструкции подвергаются до 500 циклов замораживания-оттаивания. При этом в зоне переменного уровня воды каждый цикл сопровождается насыщением бетона морской водой с последующим замерзанием. Комбинированное воздействие солей и низких температур создает условия для интенсивного поверхностного отслоения и шелушения [4].

Натурные наблюдения за причальными сооружениями в порту Дудинка показали, что через 12 лет эксплуатации глубина разрушения бетона в зоне переменного уровня достигает 50–60 мм, при этом потеря массы после 100 циклов замораживания-оттаивания в лабораторных

условиях составила 1,5–2,0 кг/м³ при норме 0,5 кг/м³.

Классификация и нормативные требования для Арктических условий. Согласно ГОСТ 26633–2015 [1], гидротехнические бетоны классифицируются по нескольким ключевым признакам, учитывающим условия эксплуатации и требования к долговечности. Для арктических регионов особое значение приобретает классификация по зонам эксплуатации, поскольку каждая зона характеризуется специфическим сочетанием разрушающих факторов (табл. 2).

В подводной зоне, где бетон постоянно находится в воде, основными требованиями являются высокая водонепроницаемость (W8–W12) и стойкость к выщелачиванию. Однако в условиях Арктики даже в этой зоне присутствует риск промерзания, поэтому требования к морозостойкости повышаются до F100–F200.

Наиболее жесткие условия характерны для зоны переменного уровня, где бетон подвергается циклическому замораживанию-оттаиванию в насыщенном состоянии. Здесь требуются марки по водонепроницаемости W12–W16 и морозостойкости F300–F400. «Комплексное применение суперпластификаторов и микрокремнезема позволяет достигать W20 и F600» [5].

Таблица 2

Классификация по условиям эксплуатации

Тип бетона	Марка по водонепроницаемости	Марка морозостойкости	Особые требования
Подводный	W8–W12	F100–F200	Стойкость к выщелачиванию
Зона переменного уровня	W12–W16	F300–F400	Повышенная морозостойкость
Арктический	W16–W20	F500–F800	Стойкость к криогенному воздействию

Основными нормативными документами, регламентирующими требования к гидротехническому бетону, являются ГОСТ 26633–2015 «Бетоны тяжелые и мелкозернистые», СП 28.13330.2017 «Защита от коррозии» и ГОСТ 24211–2008 «Добавки для бетонов» [1–3].

В настоящее время ведутся работы по разработке специальных технических условий для арктического строительства, которые предусматривают введение дополнительных требований. В частности, предлагается установить минимальную марку по морозостойкости F400 для всех

зон эксплуатации и F600 – для зоны переменного уровня. Также рассматривается вопрос о введении специальных показателей стойкости к ледовым нагрузкам и абразивному износу [6].

Суперпластификаторы на основе поликарбоксилатных эфиров. Современные поликарбоксилатные эфиры (ПКЭ) представляют собой высокоэффективные пластифицирующие добавки, механизм действия которых основан на стерическом отталкивании (табл. 3). В отличие от традиционных суперпластификаторов на основе нафталина и меламина (НФ/МФ), работающих по принципу электростатического отталкивания, ПКЭ образуют на поверхности цементных частиц «гребешковые» структуры, которые создают пространственные барьеры.

Проведенные исследования показали, что применение ПКЭ позволяет достигать значительного снижения водопотребности бетонных смесей [7]. При дозировке 0,8–1,5% от массы цемента удается снизить В/Ц до 0,30–0,35, что невозможно при использовании традиционных добавок. Это обеспечивает получение высоких марок по водонепроницаемости (W18–W22) и классов прочности (B60–B80).

В ходе производственных испытаний на бетонном заводе в Мурманске было установлено, что бетоны с ПКЭ сохраняют удобоукладываемость в течение 2–3 часов, что особенно важно в условиях арктического строительства, где возможны перерывы в укладке из-за погодных условий.

Таблица 3

Сравнительный анализ эффективности пластификаторов

Параметры	ПКЭ	НФ/МФ	Традиционные
Снижение В/Ц, %	25–35	15–20	5–10
Сохранение подвижности, ч	2–3	1–1,5	0,5–1
Предел прочности, МПа	70–90	50–70	30–50
Марка по водонепроницаемости	W18–W22	W12–W16	W4–W8

Для арктических условий критически важными являются параметры поровой структуры бетона, которые определяются эффективностью воздухововлекающих добавок. Исследования, проведенные в условиях научной лаборатории МГСУ, показали, что для обеспечения морозостойкости F500–F800 необходимо создание системы замкнутых пор с определенными характеристиками.

Оптимальными параметрами являются: объем вовлеченного воздуха 5–7%, расстояние между пора́ми не более 0,2 мм и удельная поверхность не менее 24 мм⁻¹.

Такая структура обеспечивает эффективное снятие внутренних напряжений при замерзании воды и предотвращает развитие микротрещин.

На строительной площадке порта Врандей был проведен эксперимент по сравнению эффективности различных воздухововлекающих добавок. Лучшие результаты показали добавки на основе нейтрализованного воздухововлекающего

вещества (НВВ), которые обеспечили стабильность поровой структуры в течение всего процесса транспортировки и укладки бетонной смеси.

Перспективным направлением является создание добавок, сочетающих несколько функций. В НИИЖБ разработана композиция «Арктика–М», которая одновременно обладает пластифицирующими, воздухововлекающими, гидрофобизирующими и противоморозными свойствами.

Испытания, проведенные в климатической камере при температуре –45 °С, показали, что бетоны с добавкой «Арктика–М» набирают критическую прочность за 72 часа, в то время как традиционные составы требуют не менее 120 часов. Это позволяет значительно сократить сроки строительства в условиях короткого арктического лета [8].

Лабораторные испытания модифицированных составов. В лабораторных условиях были проведены комплексные ис-

пытания различных составов гидротехнического бетона. Исследования включали определение физико-механических характеристик, испытания на морозостойкость и водонепроницаемость, а также микроструктурный анализ.

Для испытаний были приготовлены три серии образцов 9 (табл. 4): традиционный состав с В/Ц = 0,45, состав с поликарбоксилатным суперпластификатором (В/Ц = 0,33) и состав с комбинацией ПКЭ и микрокремнезема (В/Ц = 0,30). Все образцы подвергались циклическому замораживанию-оттаиванию в 5% растворе NaCl с последующим определением поте-

ри массы и прочности. Поликарбоксилатные эфиры позволяли снизить В/Ц до 0,30–0,35 при сохранении реологических свойств смеси.

Результаты испытаний показали значительное преимущество модифицированных составов. После 500 циклов замораживания-оттаивания традиционный бетон потерял 45% прочности, в то время как состав с ПКЭ – только 15%, а состав с ПКЭ и микрокремнеземом – 8%. Микроструктурный анализ выявил более плотную и однородную структуру в модифицированных образцах.

Таблица 4

Результаты испытаний модифицированных бетонов

Состав	В/Ц	Марка W	Марка F	Прочность, МПа	Потеря прочности после 500 циклов, %
Традиционный	0,45	W8	F200	35,2	45
С ПКЭ	0,33	W18	F500	78,5	15
С ПКЭ+микрокремнезем	0,30	W22	F700	92,3	8

Мониторинг сооружений в порту Барандей, построенных с применением модифицированных бетонов, ведется с 2018 г. Для оценки состояния конструкций используются современные методы неразрушающего контроля, включая ультразвуковое тестирование, измерение скорости коррозии и определение глубины проникновения хлоридов.

За пятилетний период наблюдений зафиксировано снижение глубины проникновения хлоридов на 60% по сравнению с конструкциями из традиционного бетона. Марка бетона по морозостойкости F500 означает сохранение прочности после 500 циклов замораживания-оттаивания. Ультразвуковые исследования показали отсутствие значительных микротрещин даже в зоне переменного уровня. После 200 циклов замораживания-оттаивания видимые повреждения поверхности отсутствуют, что свидетельствует о сохранении проектных характеристик.

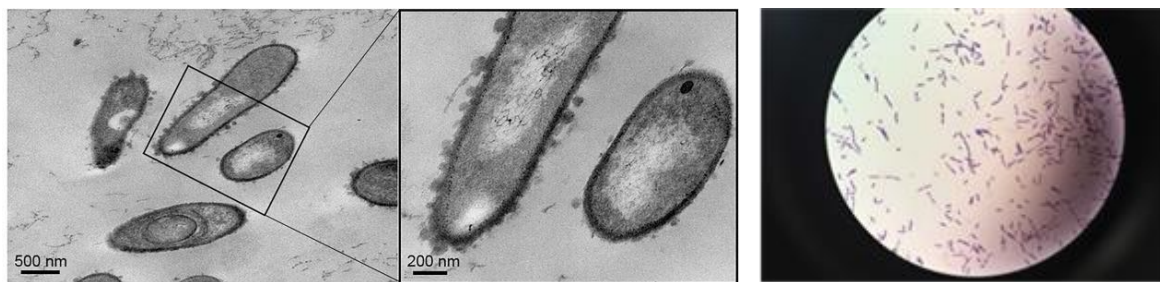
Особый интерес представляют данные по температурному режиму конструкций. Установлено, что бетоны с оптимальной поровой структурой демонстрируют более равномерное температурное поле при

циклическом замораживании-оттаивании, что снижает термические напряжения.

Перспективные направления развития и инновационные решения. Одним из наиболее перспективных направлений является создание самовосстанавливающихся бетонов. В лабораторных условиях ведутся исследования двух основных подходов: использование бактериальных культур и микрокапсулированных полимеров [9].

Бактерии рода *Bacillus cohnii* (рис. 1), помещенные в пористое состояние, при попадании воды в трещины активируются и начинают продуцировать карбонат кальция, который заполняет трещины шириной до 0,5–0,8 мм. Бактерии *Bacillus cohnii* способны залечивать трещины шириной до 0,8 мм. Испытания показали, что такая система способна восстанавливать до 80% первоначальной прочности.

Альтернативный подход предполагает использование микрокапсул с полимерным составом, которые разрушаются при образовании трещин и выделяют герметизирующее вещество. Этот метод эффективен для трещин шириной до 0,3 мм.

Рис. 1. Бактерии рода *Bacillus cohnii*

Многофункциональные композиты с улучшенными характеристиками. Разработка многофункциональных композитов включает внедрение фазово-переходных материалов, электропроводящих добавок и наномодификаторов. Фазово-переходные материалы на основе микрокапсулированного парафина позволяют снизить термические напряжения за счет аккумуляции тепла [10].

Электропроводящие добавки, такие как углеродные нанотрубки, не только повышают прочностные характеристики, но и позволяют использовать методы электрохимической реабилитации для удаления хлоридов из зоны арматуры.

Заключение и выводы. Для арктических условий необходимы бетоны с повышенными показателями морозостойкости (F500–F800) и водонепроницаемости (W16–W22), что требует принципиально нового подхода к проектированию составов. Состав с содержанием микрокремнезема 8–10% обеспечивает морозостойкость F700.

Достижение требуемых показателей возможно только при использовании поликарбоксилатных суперпластификато-

ров в сочетании с оптимизированными воздухововлекающими добавками. Лабораторные испытания подтвердили, что такие составы демонстрируют потерю прочности не более 15% после 500 циклов замораживания-оттаивания.

Натурные наблюдения в порту Варандей показали высокую эффективность модифицированных бетонов в реальных условиях эксплуатации. За пятилетний период зафиксировано снижение глубины проникания хлоридов на 60% и отсутствие значительных повреждений поверхности.

Перспективным направлением является создание интеллектуальных материалов с функциями самодиагностики и самовосстановления. Лабораторные испытания бактериальных систем демонстрируют возможность восстановления до 80% первоначальной прочности.

Необходимо совершенствование нормативной базы с учетом экстремальных условий Арктики, включая введение дополнительных требований к стойкости против ледовых нагрузок и абразивного износа.

Список источников

1. ГОСТ 26633–2015. Бетоны тяжелые и мелкозернистые. Технические условия.
2. СП 28.13330.2017. Защита строительных конструкций от коррозии. Актуализированная редакция СНиП 2.03.11–85.
3. ГОСТ 24211–2008. Добавки для бетонов и строительных растворов. Общие технические условия.
4. СП 357.1325800.2017. Сооружения портовые гидротехнические. Правила проектирования бетонных и железобетонных конструкций.
5. Баженов Ю.М. Модифицированные высококачественные бетоны. М.: АСВ, 2007. 368 с.
6. Калашников В.И. Высокопрочные бетоны на композиционных вяжущих. М.: ДАС, 2010. 280 с.
7. Войтович В.В., Чупраков С.В. Гидротехнический бетон в экстремальных условиях Крайнего Севера. Новосибирск: НГАСУ, 2018. 212 с.
8. Шейкин А.Е. Структура и свойства цементных бетонов. Киев, 1979. 344 с.

9. Чупраков С.В., Лесовик В.В. Повышение долговечности бетона в условиях сульфатной и морской агрессии // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2019. №5. С. 34–42.
10. Яковлев Г.И. Влияние нанодисперсных кремнеземов на структуру и свойства бетона для арктического строительства // Строительные материалы. 2020. №8. С. 44–51
11. Richardson A. Freeze/thaw durability of concrete with synthetic fibre additions // Cold Regions Science and Technology. 2017. Vol. 136. P. 1–6
12. Aïtcin P.-C. Binders for Durable and Sustainable Concrete. London: Taylor & Francis, 2003. 500 p.
13. Mehta P.K., Monteiro P.J.M. Concrete: Microstructure, Properties, and Materials. McGraw-Hill Education, 2014. 659 p.
14. Pigeon M., Pleau R. Durability of Concrete in Cold Climates. E & FN Spon, 1995. 244 p.
15. De Schutter G. Durability of Concrete in Cold Climates. RILEM, CRC Press, 2018. 298 p.
16. Отчет о натурных обследованиях бетонных конструкций порта Варандей. НИИЖБ, 2023. 145 с.
17. Исследование морозостойкости бетонов в условиях Арктики. МГСУ, 2022. 98 с.
18. Разработка составов гидротехнического бетона для объектов Арктической зоны. НИИЖБ, 2021. 167 с.
19. Патент РФ №2651700. Состав для гидротехнического бетона / Иванов А.С., Петров В.К. 2018.
20. Официальный сайт Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии [сайт]. URL: <https://www.gost.ru>
21. База данных научных публикаций eLIBRARY.RU [сайт]. URL: <https://elibrary.ru>

References

1. GOST 26633–2015. Concrete is heavy and fine-grained. Technical specifications.
2. SP 28.13330.2017. Protection of building structures from corrosion. Updated edition of SNiP 2.03.11–85.
3. GOST 24211–2008. Additives for concrete and mortar. General technical conditions.
4. SP 357.1325800.2017. Port hydraulic structures. Rules for designing concrete and reinforced concrete structures.
5. Bazhenov Yu.M. Modified high-quality concretes. Moscow: DIA, 2007. 368 p.
6. Kalashnikov V.I. High-strength concretes based on composite binders. Moscow: DAS, 2010. 280 p.
7. Voitovich V.V., Chuprakov S.V. Hydro-technical concrete in extreme conditions of the Far North. Novosibirsk: NGASU, 2018. 212 p.
8. Sheikin A.E. Structure and properties of cement concretes. Kiev, 1979. 344 p.
9. Chuprakov S.V., Lesovik V.V. Improving the durability of concrete in conditions of sulfate and marine aggression // *Bulletin of the BSTU named after V.G. Shukhov*. 2019;(5):34–42. (In Russ.).
10. Yakovlev G.I. Influence of nanodisperse silica on the structure and properties of concrete for Arctic construction // *Building materials*. 2020;(8):44–51. (In Russ.).
11. Richardson A. Freeze/thaw durability of concrete with synthetic fibre additions // Cold Regions Science and Technology. 2017. Vol. 136. P. 1–6
12. Aïtcin P.-C. Binders for Durable and Sustainable Concrete. London: Taylor & Francis, 2003. 500 p.
13. Mehta P.K., Monteiro P.J.M. Concrete: Microstructure, Properties, and Materials. McGraw-Hill Education, 2014. 659 p.
14. Pigeon M., Pleau R. Durability of Concrete in Cold Climates. E & FN Spon, 1995. 244 p.
15. De Schutter G. Durability of Concrete in Cold Climates. RILEM, CRC Press, 2018. 298 p.
16. Report on field surveys of concrete structures of Varandey port. NIIZHB, 2023. 145 p.
17. Study of frost resistance of concrete in Arctic conditions. MGSU, 2022. 98 p.
18. Development of hydraulic engineering concrete compositions for Arctic zone facilities. NIIZHB, 2021. 167 p.
19. Patent of the Russian Federation No. 2651700. Composition for hydraulic engineering concrete / Ivanov A.S., Petrov V.K. 2018.
20. Official website of the Federal Agency for Technical Regulation and Metrology [website]. URL: <https://www.gost.ru>
21. Database of scientific publications eLibrary.RU [website]. URL: <https://elibrary.ru>

Научный вестник Арктики. 2026. №20. С. 12–18.
Scientific Bulletin of the Arctic. 2026;(20):12–18.

Технические науки

Научная статья
УДК 664.94:691.54+502.194.1
doi: 10.52978/25421220_2026_20_12–18

ЦЕМЕНТЫ С НИЗКИМ СОДЕРЖАНИЕМ КЛИНКЕРНОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ

Бойко Владислав Геннадьевич

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

Аннотация. Проанализированы основные проблемы цементной отрасли в РФ; рассмотрены способы повышения эффективности производства, в том числе за счет вовлечения в состав цементов минеральных добавок. Представлены существующие классификации минеральных добавок и их влияние на свойства цемента и композитов на его основе. Рассмотрены вторичные продукты добывающей и металлургической промышленности Норильского промышленного района, их применимость для создания цементных систем, актуальных для местных условий эксплуатации.

Ключевые слова: цемент, коррозия, минеральная добавка, отходы, прочность, морозостойкость, долговечность.

Для цитирования: Бойко В.Г. Цементы с низким содержанием клинкерной составляющей // Научный вестник Арктики. 2026. №20. С. 12–18. https://doi.org/10.52978/25421220_2026_20_12–18.

Technical sciences

Original article

LOW-CLINKER CEMENTS

Vladislav G. Boiko

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

Abstract. This paper analyzes the main problems facing the cement industry in the Russian Federation and discusses ways to improve production efficiency, including by incorporating mineral additives into cement formulations. It presents existing classifications of mineral additives and their impact on the properties of cement and cement-based composites. It also examines secondary products from the mining and metallurgical industries of the Norilsk industrial region and their applicability for creating cement systems suitable for local operating conditions.

Keywords: cement, corrosion, mineral additive, waste, strength, frost resistance, durability.

For citation: Boiko V.G. Low-clinker cements. *Scientific Bulletin of the Arctic*. 2026;(20):12–18. (In Russ.). https://doi.org/10.52978/25421220_2026_20_12–18.

Основные проблемы производства и применения цементов в РФ

Низкая энергоэффективность применяемых технологий. Традиционным в России и единственным в Норильске способом производства клинкера является мокрый способ [5]. Процесс предполагает обжиг во вращающейся печи суспензии высокой влажности (порядка 40%), кото-

рую производят измельчением сырья вместе с большим количеством воды. Данный способ позволяет увеличить марочную прочность цементного композита за счет высокой гомогенности суспензии, однако при этом существенно повышаются расходы энергоносителей. Так в сравнении с сухим способом производства на процесс обжига затрачивается до 100%

больше топлива – 110 кг против 200 кг в пересчете на условную тонну готового продукта [7].

Низкая экологичность технологии.

Как известно, цементная отрасль отличается высокой эмиссией углекислого газа CO_2 , при этом на нагрев сырья до температуры химических преобразований приходится до 40% теплотрат [8]. Основная доля выбросов является результатом процесса декарбонизации исходного сырья (известняка) в процессе обжига. Следовательно, изменение способа производства с мокрого на сухой – не решит экологических проблем производства клинкера.

Процесс высокотемпературной обработки суспензии и вращения рабочей зоны также сопровождается высоким пылеуносом в отходящих газах, достигающим 825% к весу сухого сырья и эмиссией токсичных газов в атмосферу, таких как оксид азота NO_2 и оксид серы SO_2 [8]. Хотя эти компоненты могут эффективно улавливаться аспирационными системами, фильтрами и пылеуловителями, являющимися неотъемлемой частью производства с использованием мельниц, клинкерных холодильников и вращающихся печей, эмиссия углекислого газа остается неизбежной проблемой производства.

Экономические и логистические проблемы производства. Очевидно, что объемы строительства находятся в прямой зависимости от экономического состояния государства, поэтому в периоды кризисов и рецессий может наблюдаться перепроизводство, вызванное высокой инерционностью отрасли, которое приводит к падению спроса, цены на товар и сопутствующим материальным убыткам.

Стоит учитывать и сезонность спроса на цемент. Так, в летний период потребление существенно опережает темпы по производству цемента, а в зимний – портландцементный клинкер, как правило, отправляется на склад, что сопряжено с потерей его марочной прочности. Таким образом, разница между максимальным и минимальным месячным потреблением в течение одного календарного года может варьироваться в пределах 3,5 раз. При этом стоит отметить, что общая мощ-

ность в годовом выражении цементных предприятий (по состоянию на 01.01.2022) превышает их фактическое производство более чем на 25% [9].

Все эти факторы в совокупности приводят одну из основополагающих отраслей производства строительных материалов к определенным юридическим трудностям, связанным с экологической повесткой [8], и уменьшают инвестиционный потенциал как новых, так и уже существующих предприятий, ставя под вопрос их способность к самовоспроизводству и генерации прибыли.

Использование минеральных добавок в цементной отрасли

На данный момент существует и активно развивается нормативная база, направленная на актуализацию технологических процессов и призванная добиться наилучших показателей производства в определенных сферах деятельности [11].

Для цементной отрасли в соответствии с положениями вышеупомянутых государственных стандартов был также подготовлен информационно-технический справочник наилучших доступных технологий [9], устанавливающий требования технологических показателей НДТ и описывающий современные технологические решения по снижению негативного влияния на окружающую среду и рациональному использованию ресурсов.

В данном документе предлагается целый перечень направлений повышения эффективности и экологичности производства цемента, например:

- использование более технологичного оборудования;
- использование альтернативных видов топлива;
- использование тепла отходящих газов для выработки электроэнергии;
- использование новых способов производства цемента;
- использование «нетрадиционных» сырьевых компонентов;
- снижение доли клинкера в цементе.

По мнению автора, наиболее перспективным являются последние представ-

ленные направления, так как они могут позволить кардинально сократить энергозатраты на производство и эмиссию парникового газа за счет уменьшения количества материала, проходящего термохимические преобразования.

Как упоминалось ранее, главным сырьевым компонентом для производства клинкера и одновременно причиной больших выбросов CO_2 – является известняк – CaCO_3 . Однако корректировка его содержания в сырьевой смеси и уж тем более его исключение не представляется возможным, так как он выступает основой для образования силикатных, алюминатных и алюмоферритных фаз, получаемых в процессе обжига и придающих вяжущие свойства цементу.

Хорошим приемом в данном случае является оптимизация компонентного состава вяжущего и уход от традиционного варианта – цемента в чистом виде (типа ЦЕМ I).

Модификация состава цементов возможна и, более того, целесообразна благодаря положительному влиянию добавок на свойства композиции. Марочная прочность получившегося модифицированного цемента с пониженным содержанием клинкерной составляющей может не уступать прочности бездобавочного цемента, полученного из того же клинкера. Это справедливо и для целого комплекса других потребительских свойств, таких как скорость схватывания, морозостойкость, изменение объема, тепловыделение и т.д.

Модификаторами в данном случае могут выступать минеральные добавки (МД), которые способны влиять на свойства затворенной смеси и затвердевшего цементного камня. МД в зависимости от их вовлеченности в процесс химической реакции твердения разделяются на активные и инертные. И те и другие в правильной пропорции оказывают полифункциональное воздействие на свойства композиции и позволяют управлять микроструктурой цементного камня – улучшая, таким образом, его эксплуатационные характеристики.

Введение МД позволит не только увеличить объем выпуска гидравлических вяжущих за счет снижения доли клинкерной составляющей, но и скорость схватывания и твердения, водонепроницаемость, морозостойкость, долговечность и т.д. [3; 6].

Развитие российских предприятий цементной отрасли в этом направлении значительно отстает от их западных конкурентов. В то время как содержание МД в цементах, производимых за рубежом, достигает до 91% [4], в России все еще преобладает чистый, бездобавочный вариант.

Классификация МД

Минеральными добавками могут выступать различные дисперсные неорганические вещества естественного и техногенного происхождения. В зависимости от химических свойств, проявляемых после затворения цементной смеси, они могут подразделяться на инертные и активные. Существует множество классификаций МД.

Классификация добавок-компонентов с точки зрения химических свойств представлена в [12], где МД подразделяют на 2 типа, при этом II тип (активные МД) дополнительно подразделяют на пуццоланические и вяжущие (рис. 1).

Классификация, выделенная комитетом 73–SBC RILEM, позволяет более эффективно, чем предыдущая, оценить влияние добавок на характеристики цементной смеси. Это возможно за счет сопоставления пуццоланических и вяжущих свойств добавок, отличающихся химическим, минералогическим составами и степенью измельчения.

Классификация, разработанная представителями БГТУ им. В.Г. Шухова, дополнительно подразделяет МД по генетическому происхождению на техногенные и природные (рис. 2), а в качестве критерия оценки эффективности применения добавки предлагается коэффициент, отражающий изменение прочности состава на 1% вводимой добавки [6].

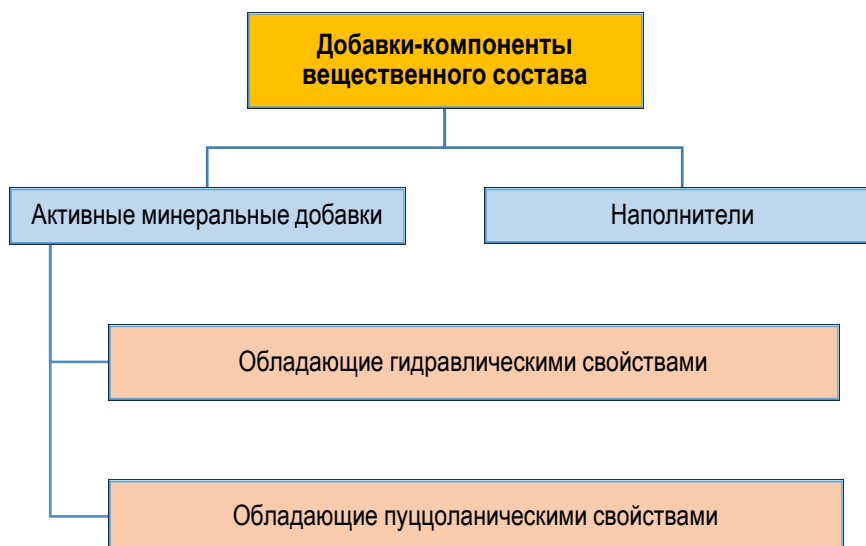


Рис. 1. Классификация МД по [12]

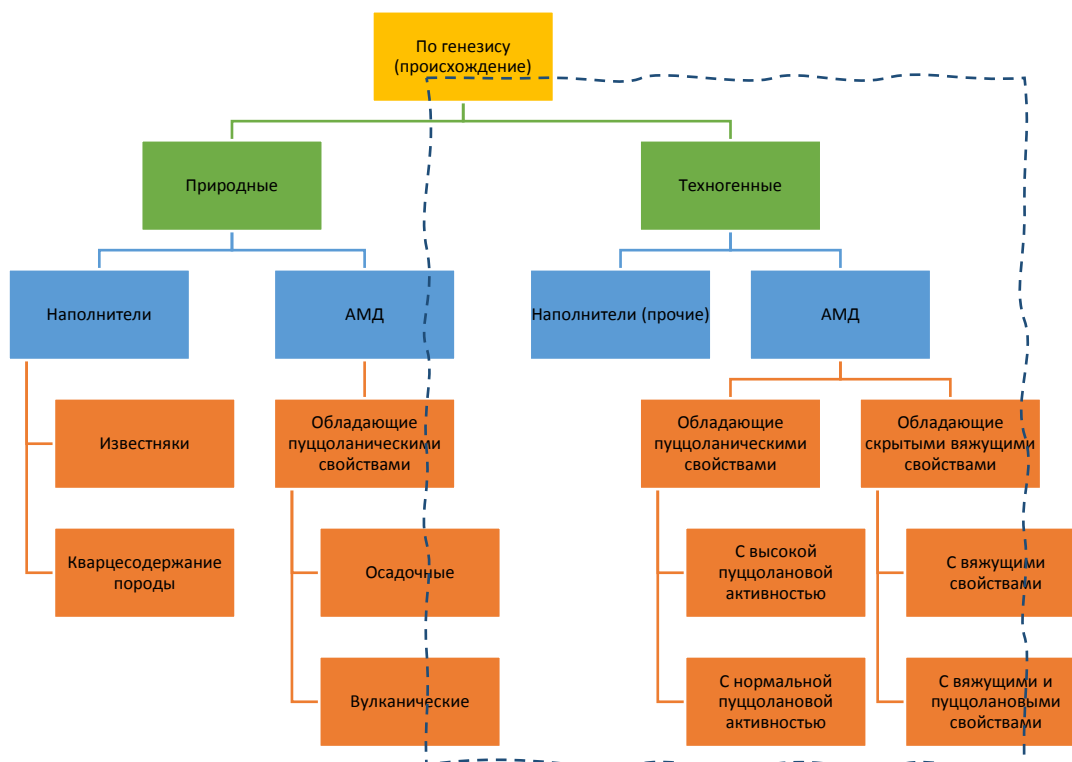


Рис. 2. Классификация минеральных добавок: пунктирной линией обозначена классификация комитета 73–SBC RILEM для минеральных добавок техногенного происхождения [6]

Среди МД наибольшим потенциалом обладают именно активные минеральные добавки. Как правило, такие добавки уже подверглись естественной или искусственной активации и способны проявлять гидравлическую активность в составе смесей. Под активацией понимается увеличение количества дефектов кристаллической решетки

и площади поверхности материала соответственно.

Такие добавки могут проявлять пуццоланические свойства, благодаря которым повышается антикоррозионная защита цементного камня, что было бы очень актуально для промышленных зданий Норильска, эксплуатируемых в условиях повышенной влажности и агрессивности среды. Антикор-

розионная защита I рода в данном случае заключается в связывании кристаллов $\text{Ca}(\text{OH})_2$ в устойчивые нерастворимые соединения не подверженные вымыванию.

Это позволяет бетону эффективно сопротивляться выщелачиванию и сохранять целостность структуры, не распадаясь до аморфных рыхлых гидратов.

Применимость отходов добычи и производства в качестве добавок к цементам с пониженным содержанием клинкерной составляющей

Промышленная база НПР обладает большим нереализованным потенциалом в плане выработки отходов и, соответственно, использования их как вторичного сырья. В настоящее время используется 11 основных видов природных камен-

ных материалов: алевролит, известняк, доломит, габбро-диабаз, долерит, гипсовый камень, ангидрит, песчаник, мраморированный известняк, глина, гранит. Основные физико-химические свойства представлены в табл. 1 [5].

Кроме природных каменных материалов, имеются большие запасы побочных продуктов – пород, добываемых при извлечении и обогащении полезных ископаемых (руд и угля), а также промышленных отходов (базальт, туфоаргиллит, аргиллит, вскрышные породы угольного разреза, «хвосты» обогатительных фабрик, шлаки и сера металлургического производства, золы ТЭЦ, отходы лесопиления и деревообработки, железистые кеки никелевого производства) (табл. 2).

Таблица 1

Показатели	Известняк	Гипсовый камень	Ангидрит	Песчаник	Алевролит	Долерит	Габбро-диабаз	Доломит
Средняя плотность, кг/м ³	2500	2450	2700	2400	2450	2900	2750	2600
Прочность на сжатие, МПа	60–80	15–20	30–40	20–40	–	120–350	40–60	20–30
Химический состав, %	SiO_2				48–60	44–50	2–3	0,5–1
	Al_2O_3				22	16		
	Fe_2O_3				8–12	8–13	0,5–1,5	0,5–0,8
	CaO				2–4	8–12	25–30	30–34
	MgO				1–3	8–12	16–21	17–21
	SO_3				0,5–1,5	0,2–1,5	0,2–0,5	0,1–0,3

Таблица 2

Показатели	Аргиллит	Шлаки гранулированные	Золы ТЭЦ	«Хвосты» обогатительных фабрик	Туфо-аргиллит	Железистые кеки
Средняя плотность, кг/м ³	2300	1850–1450	0,8	1,8	2,45	1,1
Прочность на сжатие, МПа	10–20	7–10	–	–	20–40	–
Химический состав, %						
SiO_2	53,41	39	56,3	49,7	57	11,7
Al_2O_3	16,23	8	24,37	20,25	16,85	–
Fe_2O_3	3,48	38	–	11,04	13	69
CaO	1,92	6	7,3	9,42	1,19	–
MgO	1,67	6	1,81	3,09	1,23	–
SO_3	0,38	–	0,93	1,39	0,05	0,03
$\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$	3,3	–	8,35	3,01	1,23	0,03
$\text{Ni}+\text{Cu}+\text{Co}$	–	–	–	–	–	0,2
SO	–	–	–	–	–	10,3

Из представленных выше вариантов наиболее часто в качестве МД применяются известняк, золы ТЭЦ, гранулированные шлаки.

Ограниченно применимыми являются долерит, габбродиабаз, доломит ввиду ограничений по содержанию MgO.

Большим потенциалом с точки зрения пуццоланической активности обладает местная зола ТЭЦ, так как соединения в большом количестве входящие в ее состав способны образовывать с $\text{Ca}(\text{OH})_2$ устойчивые гидроалюминаты кальция типа $n\text{CaO} \cdot m\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot k\text{H}_2\text{O}$.

Вывод. Модифицированные цементы активными МД являются перспективным

направлением развития цементной отрасли. Их производство и использование поможет не только сократить материальные расходы и выбросы в атмосферу, но и расширят ассортимент продукции, привнеся множество полезных эксплуатационных свойств, которых лишены бездобавочные цементы.

Норильский промышленный район обладает большой номенклатурой и запасами побочных ресурсов, остающихся от добычи и переработки металлургического производства, которые могут являться качественными сырьевыми компонентами для использования в составе цементов.

Список источников

1. Анализ рынка цемента в России в 2018–2022 гг., прогноз на 2023–2027 гг. в условиях санкций / Официальный сайт РБК. [сайт]. URL: <https://marketing.rbc.ru/articles/14025/> (дата обращения: 30.10.2023).

2. Информация о состоянии цементной отрасли и ее роли в строительном комплексе Российской Федерации // Круглый стол – Цементная отрасль сибирского федерального округа в строительном сезоне – 2022: проблемы и решения в новых экономических условиях.

3. Коровкин М.О., Гринцов Д.М., Ерошкина Н.А. Рациональное применение инертных минеральных добавок в технологии бетона // Инженерный вестник Дона. 2017. №3.

4. Кройчук Л.А. Цементы с пониженным содержанием клинкера в мировой цементной промышленности // Строительные материалы. 2006. №9. С. 45–47.

5. Кухаренко Л.В. Использование промышленных отходов цветной металлургии в производстве строительных материалов:

учеб. пособие / Норильский индустр. ин-т. Норильск, 2000. 92 с.

6. Лесовик В.С. Классификация активных минеральных добавок для композиционных вяжущих с учетом генезиса / Шахова Л.Д., Кучеров Д.Э. // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова, 2012. №3. С. 10–15.

7. Одамов У.О., Тагаев Б.К. Результаты обследования вращающейся печи на предприятии производства клинкера по сухому способу АО «БЕКOBODSEMENT» // Sciences of Europe. 2029. №40. С. 52–56.

8. Чомаева М.Н. // Экология производства цемента // International Journal of Humanities and Natural Sciences. №.2–1. С. 9–10.

9. Бюро НДТ. [сайт]. URL: <https://burondt.ru/itc> (дата обращения 18.11.2024).

10. Скороход А.М. Внедрение наилучших доступных технологий при производстве цемента // Экономика и предпринимательство. 2023. №7(156). С. 1124–1126.

11. ГОСТ Р 56828.15–2016. Наилучшие доступные технологии. Термины и определения. Введ. 01.01.2021.

12. ГОСТ 24640–91. Добавки для цементов. Классификация. Введ. 01.04.2021.

References

1. Analysis of the cement market in Russia in 2018–2022, forecast for 2023–2027 under sanctions / Official website of RBC. [website]. URL: <https://marketing.rbc.ru/articles/14025/> (accessed: 10/30/2023).

2. Information on the state of the cement industry and its role in the construction complex of the Russian Federation // Round table –

Cement industry of the Siberian Federal District in the construction season – 2022: problems and solutions in the new economic conditions.

3. Korovkin M.O., Grintsov D.M., Eroshkina N.A. Rational use of inert mineral additives in concrete technology // *Engineering Bulletin of the Don*. 2017;(3). (In Russ.).

4. Kroychuk L.A. Cements with a reduced clinker content in the global cement industry // *Building materials*. 2006;(9):45–47. (In Russ.).
5. Kukhareno L.V. The use of industrial waste from non-ferrous metallurgy in the production of building materials: textbook. manual / Norilsk industrie. in-t. Norilsk, 2000. 92 p.
6. Lesovik V.S. Classification of active mineral additives for composite binders taking into account genesis / Shakhova L.D., Kucharov D.E. // *Bulletin of the BSTU named after V.G. Shukhov*. 2012;(3):10–15. (In Russ.).
7. Odamov U.O., Tagaev B.K. The results of the examination of the rotary kiln on the acceptance of the production of clinker by the dry method of JSC «BEKOBODCEMENT» // *Sciences of Europe*. 2029;(40):52–56. (In Russ.).
8. Chomaeva M.N. // Ecology of cement production // *International Journal of Humanities and Natural Sciences*. №.2–1. pp. 9–10. (In Russ.).
9. Bureau NDT. [website]. URL: <https://bu-rondt.ru/itc> (accessed 18.11.2024).
10. Skorokhod A.M. Introduction of the best available technologies in cement production // *Economics and entrepreneurship*. 2023;7(156):1124–1126. (In Russ.).
11. GOST R 56828.15–2016. The best available technologies. Terms and definitions. Introduction. 01.01.2021.
12. GOST 24640–91. Additives for cements. Classification. Introduction. 01.04.2021.

Научный вестник Арктики. 2026. №20. С. 19–27.
Scientific Bulletin of the Arctic. 2026;(20):19–27.

Технические науки

Научная статья

УДК 622.235

doi: 10.52978/25421220_2026_20_19–27

**СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ ВЕДЕНИЯ БУРОВЗРЫВНЫХ РАБОТ
ПРИ ДОБЫЧЕ МЕДНО-НИКЕЛЕВЫХ РУД**

Туртыгина Наталья Александровна

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

E-mail: natyrtigina@mail.ru

Стеблянко Илья Олегович

ЗФ ПАО «ГМК Норильский никель», Норильск, Россия

E-mail: ilya5601@mail.ru

Глинский Алексей Валерьевич

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

E-mail: glinskij.ru@gmail.com

Прокофьева Наталья Загитовна

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

E-mail: nata1822ha@mail.ru

Аннотация. Введение взрывных работ – это сложный и опасный процесс ведения горных работ, который требует значительных затрат. Взрывчатые вещества имеют риск самодетонации и выделяют большое количество ядовитых газов. Однако использование современных взрывчатых веществ, включая эмульсионные, может значительно снизить себестоимость товарной руды, отказавшись от дорогостоящего и опасного тротилсодержащего аммонита, который также является экологически вредным. Современные подходы ведения буровзрывных работ с использованием более безопасных и эффективных эмульсионных взрывчатых веществ с применением автоматизированных зарядных машин и программ для проектирования и оптимизации схем заряжания, позволяют улучшить качество дробления горной массы, снизить трудозатраты и вредное воздействие на человека, повысив тем самым безопасность ведения горных работ, а также минимизируют негативное воздействие на окружающую среду.

Ключевые слова: моделирование и автоматизация буровзрывных работ, эмульсия, экология, безопасность ведения горных работ, экономический эффект.

Для цитирования: Туртыгина Н.А., Стеблянко И.О., Глинский А.В., Прокофьева Н.З. Современные подходы ведения буровзрывных работ при добыче медно-никелевых руд // Научный вестник Арктики. 2026. №20. С. 19–27. https://doi.org/10.52978/25421220_2026_20_19–27.

Technical sciences

Original article

**MODERN APPROACHES TO DRILLING AND BLASTING OPERATIONS
IN COPPER-NICKEL ORE MINING**

Natalia A. Turtygina

Polar State University, Norilsk, Russia

E-mail: natyrtigina@mail.ru

Ilya O. Steblyanko

MMC Norilsk Nickel, Norilsk, Russia

E-mail: ilya5601@mail.ru

Alexey V. Glinsky

Polar State University, Norilsk, Russia

E-mail: glinskij.ru@gmail.com

Natalia Z. Prokofieva

Polar State University, Norilsk, Russia

E-mail: nata1822ha@mail.ru

Abstract. Blasting is a complex and dangerous mining process that requires significant investment. Explosives pose a risk of self-detonation and emit large quantities of toxic gases. However, the use of modern explosives, including emulsion explosives, can significantly reduce the cost of commercial ore by eliminating the need for expensive and dangerous TNT-containing ammonite, which is also environmentally harmful. Modern approaches to drilling and blasting operations using safer and more efficient emulsion explosives with the use of automated charging machines and software for designing and optimizing charging schemes, improve the quality of rock crushing, reduce labor costs and harmful effects on humans, thereby increasing the safety of mining operations, and minimize the negative impact on the environment.

Keywords: modeling and automation of drilling and blasting operations, emulsion, ecology, mining safety, economic effect.

For citation: Turtygina N.A., Steblyanko I.O., Glinsky A.V., Prokofieva N.Z. Modern approaches to drilling and blasting operations in copper-nickel ore mining. *Scientific Bulletin of the Arctic*. 2026;(20):19–27. (In Russ.). https://doi.org/10.52978/25421220_2026_20_19-27.

В настоящее время на горнодобывающих предприятиях Норильского промышленного района при разработке месторождений медно-никелевых руд широко используется особый тип взрывчатого вещества – патронированный Аммонит 6ЖВ. Он отличается от других взрывчатых веществ своим составом, где основную долю занимает тротил (21%), аммиачная селитра составляет 79%. Следует отметить, что тротил, присутствующий в составе Аммонита 6ЖВ, классифицируется как высокоопасное вещество (2-й класс опасности), имеющее пагубное воздействие на организм человека и требующее намного большей осторожности и внимательности при использовании [1].

Для обеспечения безопасности и эффективности взрывных работ в сухих шпурах было разработано новое взрывчатое вещество – гранулит АС–8. Оно отличается высокой степенью безопасности, возможностью изготовления на месте, экономичностью и возможностью плотного заряжания с использованием пневмозарядчиков. Гранулит АС–8 не обладает недостатками других взрывчатых веществ, таких как пыление и негативное влияние на организм человека. Он также характеризуется высокой стабильностью и не подвержен самопроизвольному

взрыванию при механическом воздействии [2].

Одним из путей улучшения параметров буровзрывных работ является применение инновационных составов эмульсионных взрывчатых веществ. Например, в качестве альтернативы Аммониту 6ЖВ и Гранулиту АЗ–АС8 можно рассмотреть составы эмульсионных взрывчатых веществ. «Например, взрывная отбойка в начале производственного процесса добычи напрямую физически воздействует на рудный массив, превращая его в сыпучую рудную массу» [3, с. 38]. В зависимости от выбранного взрывчатого вещества, процесс заряжания становится более сложным, скорость выполнения проходческих и очистных работ может меняться, а также появляется потенциальная опасность для экологии и людей.

Внедрение эмульсионных взрывчатых веществ позволит оптимизировать процессы добычи и повысить эффективность работы в горнодобывающей промышленности. Это ведет к увеличению производительности, снижению затрат на добычу и минимизации негативного воздействия на окружающую среду. Более того, такой подход способствует улучшению условий труда и обеспечению безопасности работников в данной отрасли. Эмульсионные

взрывчатые вещества (ЭВВ) представляют собой двухфазные системы, которые состоят из окислительной и топливной фаз. Окислительная фаза обычно состоит из раствора неорганических солей, таких как аммиачная селитра, нитрат аммония и хлорат натрия. Топливная фаза может состоять из различных органических соединений, включая углеводороды, спирты, эфиры и альдегиды [4].

Основными элементами ЭВВ являются: окислительная фаза, которая состоит из высококонцентрированного раствора аммиачной селитры (более 80%) и других компонентов, таких как нитрат натрия и хлорид натрия; топливная фаза, состоящая из жидкого углеводородного топлива, поверхностно-активных веществ (ПАВ) и сенсibilизаторов. При этом ПАВ, снижают межфазное поверхностное натяжение между окислительной и топливной фазами, что позволяет получить и сохранить эмульсию, а сенсibilизаторы, повышают чувствительность ЭВВ к взрывным импульсам. В свою очередь специальные добавки, улучшают свойства ЭВВ, такие как текучесть, вязкость и устойчивость к детонации.

ЭВВ имеют много преимуществ перед традиционными взрывчатыми веществами: они менее чувствительны к механическим воздействиям, более безопасны, экологичны, и эффективны. ЭВВ широко применяются в горной, строительной и нефтяной отраслях, а также в военном деле, включая взрывные работы и производство боеприпасов.

Процесс создания эмульсий включает дробления дисперсной среды, что может выполняться с помощью различных промышленных устройств эмульгирования, такие как коллоидные мельницы, гомогенизаторы и различные смесители с лопастным, турбинным и пропеллерным типами. Однако наиболее энергоэффективным методом является использование смесителей с лопастным, турбинным и пропеллерным типами, которые широко применяются для создания эмульсий в процессе эмульсификации [15]. Дисперсность эмульсии и размер частиц, влияет на её стабильность и скорость детонации:

меньшие частицы способствуют лучшему контакту с иницирующими частицами.

Однако снижение размера частиц снижает температуру кристаллизации эмульсии. Это может привести к ухудшению стабильности и реологических свойств эмульсии при низких температурах.

Важно предоставить оборудованию безопасность от различных механических и тепловых воздействий, а также возможность контроля взрывоопасных свойств, водоустойчивость, избирательную чувствительность при иницировании, полную механизацию процесса зарядания скважин при взрывных работах и т.д.

Жидкие смеси могут быть классифицированы по различным критериям, и в разных источниках может быть предложена разная классификация (рис. 1).

Качество окислителя, горючего вещества и эмульгатора имеет прямое влияние на стабильность эмульсии. Наличие примесей может затруднить процесс получения стабильной эмульсии и привести к её неустойчивости. Следует отметить, что эффективность эмульгатора напрямую влияет на его потребность в процессе получения стабильной эмульсии. Для придания детонационных свойств эмульсии используются сенсibilизаторы, которые способствуют образованию локальных областей сильного разогрева («горячих точек») и возникновению детонационных явлений.

Существуют следующие виды эмульсионных взрывчатых веществ: *твердые ЭВВ* содержат много окислителя, что делает их менее чувствительными к механическим воздействиям. В основном их используют для создания детонаторов и патронов для подземных горных пород; *пастообразные ЭВВ* обладают лучшей текучестью и применяются для разрушения сложных геологических преград и разрушения сульфидных пород и руды; *льющиеся ЭВВ* имеют сравнительно низкую плотность и хорошо проникают в трещины и поры горных пород, что делает их эффективными при взрывных работах в труднодоступных местах.

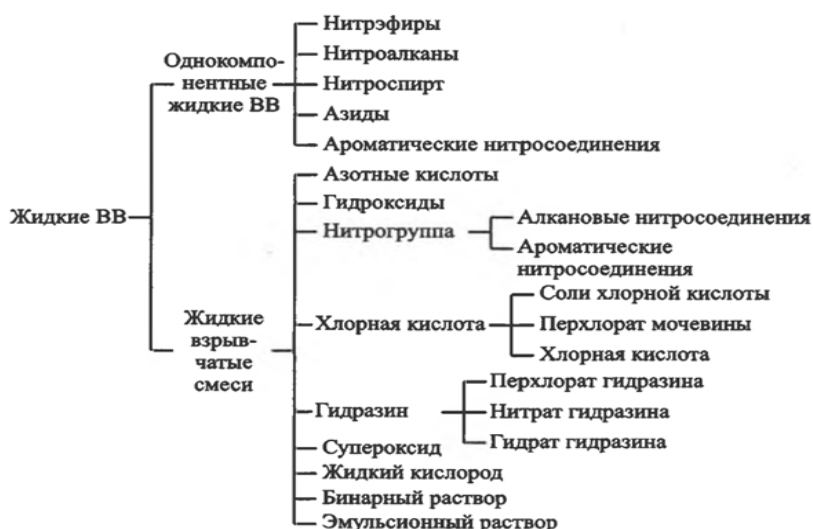


Рис. 1. Схема классификации ЭВВ

Технологические схемы по производству и патронированию ЭВВ включают в себя различные этапы, такие как смешивание ингредиентов, формовка и упаковка взрывчатых материалов. Эти схемы обеспечивают эффективное и безопасное производство и использование различных видов ЭВВ в горной промышленности. К примеру, с 2020 г. на руднике «Заполярный», разрабатывающим комбинированным способом месторождения Норильск–1 добыча медно-никелевых вкрапленных руд осуществляется с применением ЭВВ. Эксперты Компании НАО «Нипигормаш» полностью реализовали проект модульной конструкции по изготовлению невзрывчатых компонентов ЭВВ.

В 2022 г. на руднике «Комсомольский», разрабатывающем Октябрьское и Талнахское месторождения медно-никелевых руд подземным способом были проведены опытно-промышленные испытания нового типа ЭВВ на камере 01–613–1 (рис. 2) со следующими типами боевиков и конструкцией зарядов (рис. 3).

Для изготовления ЭВВ типа «НИГМ–П–II–У» была применена следующая технологическая схема. Заряды «НПГМ–П–II–У» готовились в зарядной машине МЗП–4МЗМ. В качестве окислителя использовали газообразный кислород или сжатый воздух, а в качестве горючего – дизельное топливо, керосин или легкое печное топливо. В свою очередь заряды доставлялись к месту работ в автоцистер-

нах объемом 8–12 м³, которые были оборудованы насосом для перекачки заряда, емкостью для раствора газогенератора и системой подогрева заряда. Зарядка скважин (шпуров) производилась с помощью поршневого насоса «МСЗП–МЗ». Зарядный шланг подсоединялся к штуцеру насоса и опускался в скважину (шпур). Затем включался насос, далее заряд подавался в скважину (шпур) под давлением. В результате заряд заполнял скважину (шпур) на длину 0,5–1,0 м. После заполнения скважины (шпура) «НПГМ–П–I–У» на длину 0,5–1,0 м включали шланговращатель, который извлекал зарядный шланг из скважины (шпура).

Одновременно с извлечением шланга происходило уплотнение заряда с помощью специального тампона [5]. Необходимо отметить, что машина типа МСЗП–6Т в целом предназначена для механизированной подачи гранулированных, патронированных и текучих (водосодержащих) взрывчатых веществ в зарядные плоскости скважин и шпуров в ходе ведения буровзрывных работ. Ее работа основана на дозировании поршневыми насосами компонентов взрывчатого вещества, смешивании их в определенной пропорции, подачи через зарядный рукав и зарядке скважины приготовленным ЭВВ. Модуль позволяет производить ЭВВ, смешивая компоненты по логике эмульсия (ЭМ) + газогенерирующая добавка (ГГД).

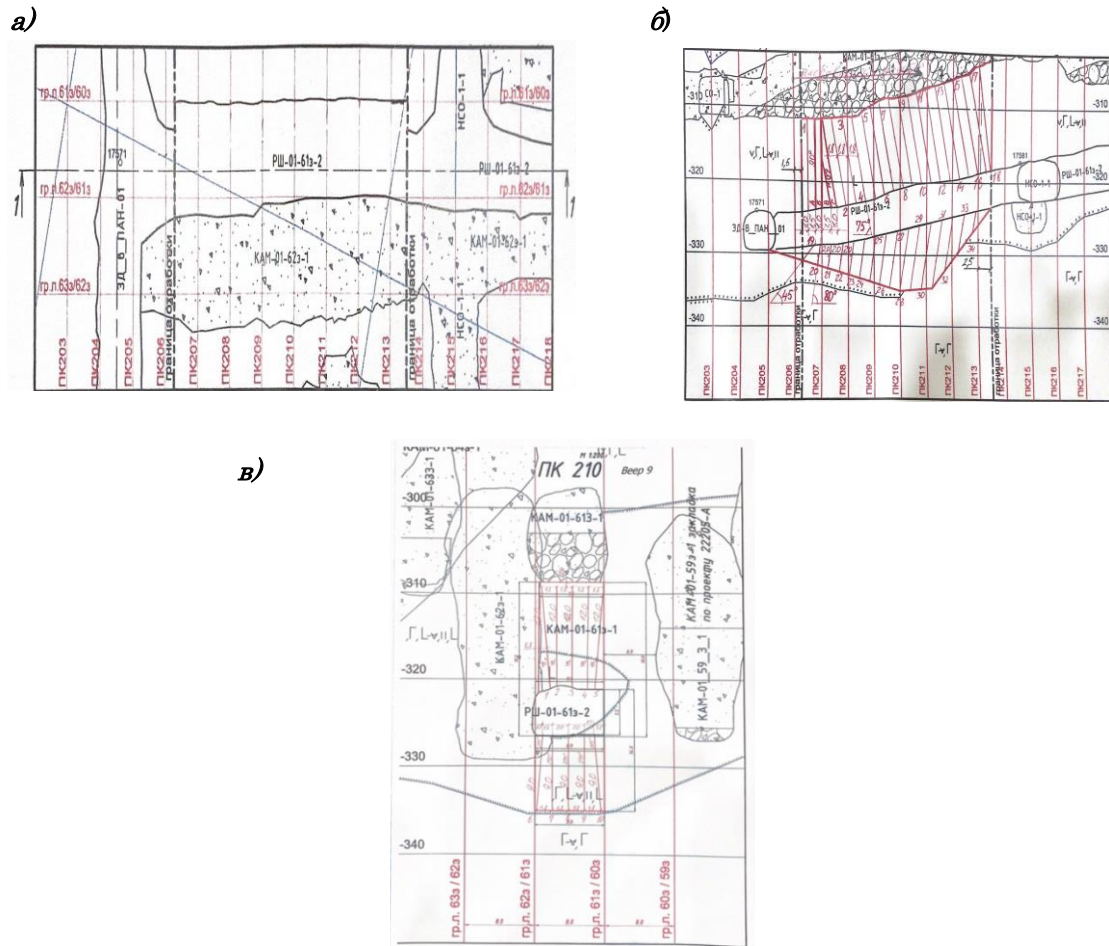


Рис. 2. Проект ведения горных работ в камере 01-613-1 на руднике «Комсомольский»: а – разрез по очистной камере; б – план ведения горных работ по почве камеры; в – разрез по пикету

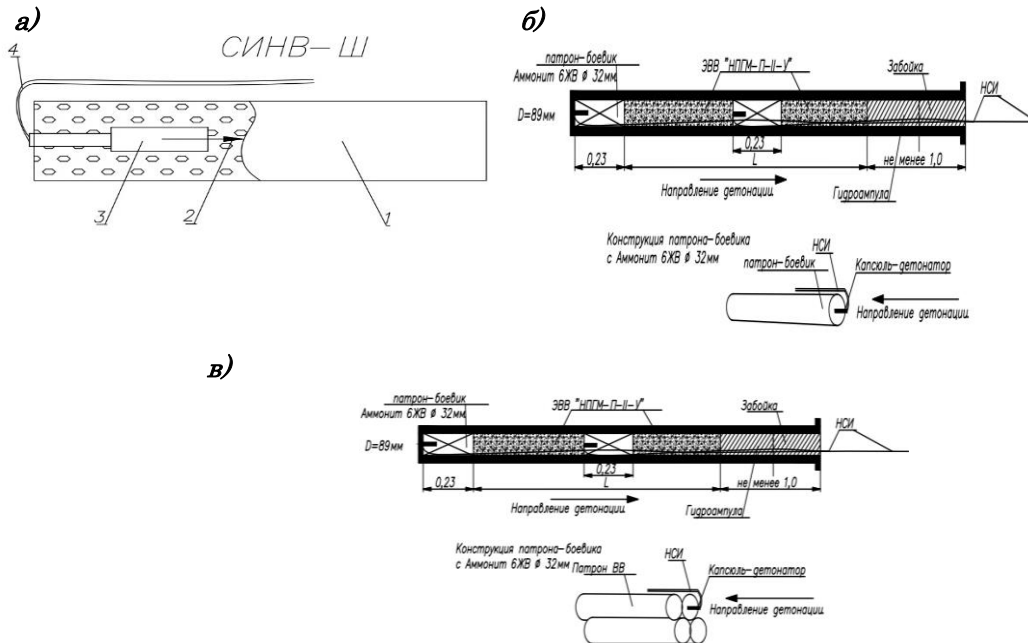


Рис. 3. Схема конструкций зарядов скважин различными ВВ для ведения буровзрывных работ в очистной камере: а – конструкция заряда СИНВ-III: 1 – патрон взрывчатого вещества (ВВ); 2 – направление детонации; 3 – капсуль детонатор не электрического средства инициации (НЕС), 4 – ударно-волновая трубка (УВТ); б – конструкция заряда скважин 01-613; в – конструкция заряда скважин 01-613-1

Внедрение эмульсионного взрывчатого вещества в промышленность приводит к ряду положительных эффектов.

Во-первых, это повышение качества и скорости проходки, что является важным параметром для горнодобывающих предприятий. В частности, благодаря применению инновационному способу заряжания достигается улучшение характеристик взрывного дела. Шпур, заполненный эмульсионным взрывчатым веществом, обеспечивает наилучшее наполнение и приводит к увеличению отрыва горной массы за весь цикл. Кроме того, количество шпурометров на кубический метр существенно снижается по сравнению с использованием гранулита [1]. Увеличение расстояния между шпурами (скважинами) при использовании ЭВВ обеспечивает дополнительный финансовый эффект снижения расходов на буровзрывные работы за счет экономии бурения вспомогательных скважин. Например, результаты производственных испытаний на руднике «Комсомольский» показали, что значение коэффициента использования шпура (КИШ) при применении ЭВВ увеличивается с 0,94 до 0,98 по сравнению с ГВВ.

Во-вторых, экологическая нагрузка на окружающую среду минимизируется, так как эмульсионные взрывчатые вещества менее опасны и обладают более высокой устойчивостью по сравнению с тротилосодержащими взрывчатыми веществами. Кроме того, применение эмульсионного взрывчатого вещества приводит к ряду дополнительных преимуществ. Применение новых взрывчатых веществ также позволяет автоматизировать процесс заряжания и исключить человеческий фактор в работе. Нет необходимости использовать несколько видов взрывчатых веществ в забое, что приводит к значительному снижению контурного разрушения и вывалов горной массы, а также увеличению безопасности работ.

В-третьих, эмульсия обладает такой специфичностью, что для его детонации необходимо смешивать два компонента. Это означает, что склады с ЭВВ можно безопасно размещать под землей, что позво-

ляет сэкономить место на поверхности. Компоненты ЭВВ относятся к уровню угрозы 5.1, что уменьшает потери во время транспортировки предоставленного ВВ, повышает производительность работы благодаря механизации процесса заряжания, и устраняет необходимость вручную заряжать отводные скважины патронами Аммонит 6ЖВ.

В-четвертых, ЭВВ обладает свойством эффективного дробления горной массы благодаря высокой скорости детонации. «Средний размер кусков отбитых руд определяет кусковатость, а, следовательно, фракционный состав рудной массы. В частности, размер кусков и их соотношение представляется определяющей причиной, которая влияет на степень взаимопроникновения сыпучих масс, т.е. чем фракция меньше и больше разница в размерах соседних рудных кусков, тем лучше происходит взаимное перемещение и, соответственно, перемешивание рудной массы» [6, с. 98]. Достигается улучшение качества дробления горной массы за счёт скорости детонации – 5,2 км/с, против 3,4–3,8 км/с – для гранулита. Это значительно уменьшает наличие нитратов в шахтном водоотливе, а также газовыделение во время взрыва, что может быть опасным. Возможность проветривания требует меньше времени, так как газовыделение ЭВВ вдвое ниже, чем у гранулита. Подрывание ЭВВ не приводит к пылевыведению и вероятности растворения водоёма во взрывных скважинах.

При зарядке ЭВВ не подвержено самовозгоранию при трении или ударе, что обеспечивает его высокую защищённость по сравнению с зарядкой гранулированного взрывчатого вещества.

В целом, применение эмульсионного взрывчатого вещества имеет ряд значительных преимуществ, включая повышение качества и скорости проходки, улучшение характеристик взрывного дела, снижение экологической нагрузки и повышение безопасности работ.

Инновационные методы ведения буровзрывных работ для добычи медно-никелевых руд на горнодобывающих предприятиях минерально-сырьевого

комплекса Норильска направлены на повышение эффективности, безопасности и снижение разубоживания и включают применение специализированного программного средства для проектирования буровых и взрывных работ. В ходе проведения комплексных опытно-промышленных испытаний рудник «Комсомольский» с июня 2025 года перешел на системное проектирование очистных буровзрывных работ в программном обеспечении (ПО) «Blast Maker», которое позволяет посредством точного моделирования осуществлять имитацию воздействия взрыва на закладочный массив. Так, в процессе проектирования буровзрывных работ на отработку очистных единиц, отработываемых в присечку с закладочным массивом, появляется возможность предусматривать допустимые расстояния от заряда ВВ до закладочного массива, что обеспечивает полную отбойку руды без нарушения искусственных обнажений и приводит к снижению разубоживания

[7; 8]. Моделирование в программном продукте дает возможность спроектировать индивидуальный контур каждого веера скважин (рис. 4). Выполнить индивидуальное проектирование скважин по каждому вееру внутри пикета обеспечит, таким образом, для каждого веера индивидуальные параметры глубины и угла скважин. Расчет глубин и углов каждой скважины веера выполняется с высокой точностью, а сам расчет проекта взрывных работ занимает менее одной минуты. Автоматическое проектирование электронных паспортов для бурения происходит в формате «Iredes». В целом, работы по проектированию, моделированию и анализу результатов БВР происходят со всеми используемыми на руднике форматами данных в одной программе. Результаты БВР (р. «Комсомольский») по проектам, спроектированным в «Blast Maker», показывают высокую точность и соответствие проектному контуру.

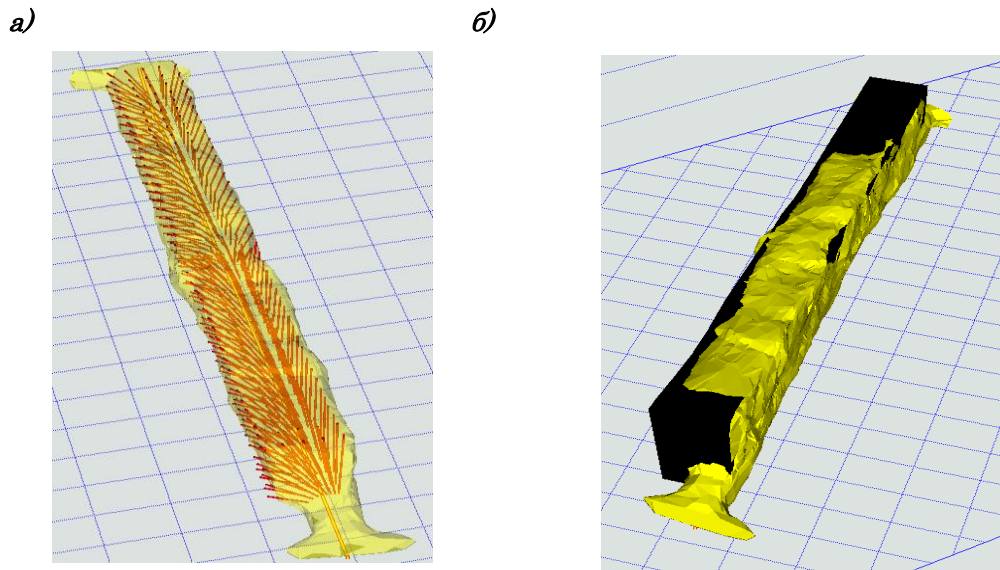


Рис. 4. Цифровая модель контура очистной камеры, спроектированная в ПО «Blast Maker»:
а – индивидуальный контур каждого веера скважин контур в очистной камере;
б – фактический контур очистной камеры после проведения буровзрывных работ

Результаты экспериментальных данных после перехода при проектировании буровзрывных работ в системе автоматизированного проектирования рудников (САПР) AutoCAD на моделирование в программном обеспечении «Blast Maker» демонстрируют положительный тренд снижения фактических значений по разубоживанию при ведении очистных

работ на руднике. Решение «Blast Maker» позволяет снизить количество ошибок при проектировании буровзрывных работ, а также повысить эффективность данных работ. В перспективе переход и повсеместное применение программного ПО «Blast Maker» позволит не просто сократить затраты на БВР, но и повысить качество ведения взрывных работ, а так-

же обеспечить оперативность управления оборудованием и технологическими процессами на рудниках Норильска [9].

Выбор инновационных методов бурения и технологий взрывания при добыче руд медно-никелевых месторождений Норильска определяются целями и сложными горно-геологическими условиями глубоко залегающих рудных залежей. В этой связи комплексный подход к приме-

нению современных технологий ведения буровзрывных работ становится ключевым аспектом для повышения эффективности, безопасности и устойчивости горнодобывающего производства, что в свою очередь минимизирует негативное воздействие на окружающую среду и будет способствовать прогрессу в управлении качеством медно-никелевых руд при их добыче.

Список источников

1. Сакерин А.С., Константинов Д.О. Эмульсионные взрывчатые вещества, зарядное оборудование и взрывные технологии для подземных горных работ // Горный журнал. №10. 2014. С. 38–41.
2. Ефремовцев Н.Н. Создание роботизированных технологий формирования детонационных систем для добычи полезных ископаемых. Проблемы и перспективы комплексного освоения и сохранения земных недр / под ред. К.Н. Трубецкого // сост.: А.З. Вартаков, А.Г. Красавин, Н.А. Милетенко. М., 2018. С. 23–25.
3. Туртыгина Н.А., Елизарьева А.П., Шаров С.А. Исследования взрывоселекции рудо-породного массива с позиции стабилизации качества руд при добыче // Научный вестник Арктики. 2022. №13. С. 94–100.
4. Способ повышения качества подготовки пород к выемке при использовании эмульсионных взрывчатых веществ на карьерах с высокими уступами / Пыталев И.А., Доможиров Д.В., Швабенланд Е.Е., Прохоров А.А., Пронин В.В. // Горная промышленность. 2021. №6. С. 62–67.

5. Модульные заводы по производству эмульсионных ВВ. Экосистема услуг по буровзрывным работам для открытых и подземных работ // НАО «Нипигормаш. [сайт]. URL: <https://npgm.ru/product-catalog/modulnye-tekhnologicheskie-linii.html>
6. Туртыгина Н.А., Охрименко А.В., Фролов Н.А. Классификация способов стабилизации качества рудопотока при подземной добыче // Рациональное освоение недр. 2023. №4. С. 32–40.
7. РТПП–03–2019. Регламент технологических производственных процессов по ведению очистных работ на рудниках ЗФ ПАО «ГМК «Норильский никель». Норильск, 2019.
8. Долгушев В.Г. Система автоматизированного проектирования буровзрывных работ на карьерах Blast Maker // Горный журнал Казахстана. 2013. №11. С. 28–32.
9. Коваленко В.А., Умрихин Э.А., Райымкулов М.А. Цифровая технология подготовки производства ПТК Blast Maker в условиях Михайловского ГОКа // Глобус. 2020. №3(62). С. 146–151.

References

1. Sakerin A.S., Konstantinov D.O. Emulsion Explosives, Charging Equipment and Blasting Technologies for Underground Mining Operations. *Gorny Zhurnal*. 2014;(10):38–41. (In Russ.).
2. Efremovtsev N.N. Development of robotic technologies for the formation of detonation systems for the extraction of minerals. Problems and prospects for the integrated development and conservation of the earth's interior / Edited by K.N. Trubetskoy // Authors: A.Z. Vartanov, A.G. Krasavin, N.A. Militenko. M., 2018. P. 23–25;
3. Turtygina N.A., Elizaryeva A.P., Sharov S.A. Research on explosion selection of ore-rock

- mass from the standpoint of stabilizing the quality of ores during mining // *Scientific Bulletin of the Arctic*. 2022;(13):94–100. (In Russ.).
4. Method for improving the quality of rock preparation for excavation using emulsion explosives in quarries with high benches / Pytalev I.A., Domozhirov D.V., Shvabenland E.E., Prokhorov A.A., Pronin V.V. // *Mining industry*. 2021;(6):62–67. (In Russ.).
5. Modular plants for the production of emulsion explosives. Ecosystem of services for drilling and blasting operations for open and underground mining // Official website of NAO Nipigormash. [website]. URL:

<https://npgm.ru/product-catalog/modulnye-tekhnologicheskie-linii.html>

6. Turtygina N.A., Okhrimenko A.V., Frolov N.A. Classification of methods for stabilizing the quality of ore flow in underground mining // *Rational development of subsoil*. 2023;(4):32–40. (In Russ.).

7. RTPP–03–2019. Regulations on technological production processes for conducting cleaning operations at the mines of the Polar Division of PJSC MMC Norilsk Nickel. Norilsk, 2019.

8. Dolgushev V.G. Automated design system for drilling and blasting operations in quarries Blast Maker // *Mining Journal of Kazakhstan*. 2013;(11):28–32. In Russ.).

9. Kovalenko V.A., Umrikhin E.A., Raimkulov M.A. Digital technology for preparing the production of the Blast Maker PTK in the conditions of the Mikhailovsky Mining and Processing Plant // *Globus*. 2020;3(62):146–151. (In Russ.).

Научный вестник Арктики. 2026. №20. С. 28–32.
Scientific Bulletin of the Arctic. 2026;(20):28–32.

Технические науки

Научная статья
УДК 691(571.51)
doi: 10.52978/25421220_2026_20_28–32

**ЗАКОНОМЕРНОСТИ ВЛИЯНИЯ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ
СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ В УСЛОВИЯХ КРАЙНЕГО СЕВЕРА
(НА ПРИМЕРЕ ГОРОДА НОРИЛЬСК)**

Еремеева Екатерина Андреевна

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

Елесин Михаил Анатольевич

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

Аннотация. Представлен комплексный анализ закономерностей изменения структуры и эксплуатационных свойств строительных материалов под воздействием экстремальных климатических условий Крайнего Севера на примере города Норильск. Предложены перспективные направления создания адаптивных материалов с повышенным ресурсом работы в условиях Норильского промышленного района.

Ключевые слова: строительные материалы, Крайний Север, Норильск, долговечность, морозостойкость, деградация, криогенное выветривание, химическая агрессия, модификаторы.

Для цитирования: Еремеева Е.А., Елесин М.А. Закономерности влияния структуры и свойств строительных материалов в условиях Крайнего Севера (на примере города Норильска) // Научный вестник Арктики. 2026. №20. С. 28–32. https://doi.org/10.52978/25421220_2026_20_28–32.

Technical sciences

Original article

**PATTERNS OF INFLUENCE OF THE STRUCTURE AND PROPERTIES
OF CONSTRUCTION MATERIALS IN THE CONDITIONS
OF THE FAR NORTH (ON THE EXAMPLE OF NORILSK)**

Ekaterina A. Eremeeva

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

Mikhail A. Elesin

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

Abstract. This paper presents a comprehensive analysis of the patterns of changes in the structure and performance properties of construction materials under the influence of the extreme climatic conditions of the Far North, using the city of Norilsk as an example. Promising directions for creating adaptive materials with an increased service life in the conditions of the Norilsk industrial region are proposed.

Keywords: construction materials, Far North, Norilsk, durability, frost resistance, degradation, cryogenic weathering, chemical aggression, modifiers.

For citation: Eremeeva E.A., Elesin M.A. Patterns of influence of the structure and properties of construction materials in the conditions of the far north (on the example of Norilsk). *Scientific Bulletin of the Arctic*. 2026;(20):28–32. (In Russ.). https://doi.org/10.52978/25421220_2026_20_28-32.

Введение. Норильский промышленный район представляет собой уникальную территорию с исключительно суровыми природно-климатическими и техногенными условиями. Низкие среднегодовые температуры воздуха (до $-9,6\text{ }^{\circ}\text{C}$), продолжительная зима (свыше 280 дней), наличие многолетнемерзлых пород и экстремальная ветровая нагрузка создают комплекс агрессивных факторов для строительных конструкций. Особенностью города Норильск является мощное техногенное воздействие, связанное с деятельностью горно-металлургического комбината, приводящее к повышенным концентрациям в атмосфере диоксида серы (SO_2), тяжелых металлов и других химических соединений, провоцирующих ускоренную коррозию.

Современный этап реновации жилищного фонда и промышленных объектов города Норильск в рамках государственной программы требует принципиально новых решений в области применения строительных материалов. Данные мониторинга состояния зданий показывают, что традиционные строительные материалы теряют свои проектные характеристики в 2–3 раза быстрее, чем в средней полосе России. Наиболее уязвимыми являются фасадные системы, несущие конструкции в зоне переменной

температуры воздуха и фундаменты на мерзлых грунтах. Это обуславливает необходимость выявления четких закономерностей «структура–свойство–долговечность» для материалов, работающих в условиях, не имеющих аналогов в мировой практике.

Климат города Норильск характеризуется как резко континентальный арктический. Количество циклов замораживания-оттаивания достигает 150–200 циклов в год, при этом амплитуда суточных температур воздуха даже зимой может превышать $15\text{--}20\text{ }^{\circ}\text{C}$. Вышеуказанные факторы приводят к следующему (табл. 1):

- **для бетонов:** ускоренному поверхностному шелушению, образованию микротрещин из-за внутренних напряжений от замерзающей влаги и кристаллизации солей;

- **для металлоконструкций:** низкотемпературной хрупкости, усилению коррозионных процессов под влиянием промышленных выбросов (кислотные дожди);

- **для полимерных и композитных материалов:** потери эластичности и растрескиванию при температурах воздуха ниже $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$, фотохимической деструкции под воздействием УФ-излучения.

Таблица 1

Основные деградационные факторы города Норильск и их влияние на материалы

Фактор	Влияние на бетон	Влияние на металлы	Влияние на полимеры
Низкие температуры воздуха (до $-55\text{ }^{\circ}\text{C}$)	Снижение прочности, хрупкое разрушение	Низкотемпературная хрупкость	Потеря эластичности, растрескивание
Многократные замораживания-оттаивания (до 200 циклов/год)	Шелушение, потеря массы	Усталостные микротрещины в покрытиях	Накопление повреждений структуры
Химическая агрессия (SO_2 , тяжелые металлы)	Сульфатная коррозия, выщелачивание	Ускоренная химическая коррозия	Набухание, гидrolитическая деструкция
Высокая солнечная радиация	—	—	Фотоокислительная деструкция, выцветание
Криогенное выветривание	Абразивный износ поверхности	Эрозия защитных покрытий	Абразивный износ

Исследования микроструктуры бетона после 10 лет эксплуатации показали:

- увеличение общей пористости на 30–40% по сравнению с проектными значениями, в связи с физическим воздействием за счет многократного замораживания и оттаивания воды в порах бетона (при замерзании вода расширяется, создавая внутренне давление, которое разрушает структуру цементного камня и увеличивает количество и размер пор), а также химическим воздействием за счет вступления сульфатов и хлоридов в реакции с компонентами цементного камня (продукты этих реакций имеют большой объем, что также приводит к внутренним напряжениям, растрескиванию и, как следствие, к росту пористости) – данные воздействия (процессы) усиливают друг друга (синергетический эффект), что и приводит к значительной деградации структуры бетона;

- образование сети микротрещин по границе «цементный камень–заполнитель»;

- наличие в порах кристаллов гипса и этtringита – продуктов сульфатной коррозии.

Для обеспечения долговечности необходимы бетоны с маркой по морозостойкости не ниже F400–F500 и по водонепроницаемости W16–W20. Достижение этих показателей возможно при комплексном модифицировании (табл. 2):

1. Применение поликарбоксилатных эфиров (ПКЭ) для снижения В/Ц до 0,30–0,35 и получения высокоплотной мелкопористой структуры.

2. Введение микрокремнезема и метакрилатов для уплотнения структуры цементного камня и связывания свободной извести, повышающей стойкость к сульфатной агрессии.

3. Оптимизация воздухововлекающих добавок для создания системы замкнутых резервных пор с шагом не более 0,2 мм, что снимает внутренние напряжения при замерзании.

Таблица 2

Сравнительные характеристики бетонов для условий города Норильск

Состав бетона	В/Ц	Марка по морозостойкости (F)	Марка по водонепроницаемости (W)	Прочность на сжатие в возрасте 360 сут., МПа
Традиционный (без добавок)	0,45	F200	W8	35,0 (снижение на 25%)
С ПКЭ	0,33	F400	W16	68,5 (снижение на 8%)
С ПКЭ + микрокремнезем	0,30	F600	W20	85,2 (снижение на 3%)

Особенности поведения металлических и полимерных конструкций. Для металлоконструкций ключевой закономерностью является резкое снижение ударной вязкости при температурах воздуха ниже –40 °С. Для арматуры и несущих стальных элементов необходимо применение низколегированных сталей марок, устойчивых к хладноломкости (например, 09Г2С). Обязательным является нанесение многослойных защитных покрытий: цинкование или алюмоцинкование в качестве грунта и полиуретановые или эпоксидные покрытия в качестве

финишного слоя, устойчивые к УФ-излучению и химической агрессии.

Полимерные материалы (ПВХ, полипропилен, композиты на основе стеклопластика и базальтопластика) склонны к накоплению повреждений при циклическом термоударе (рис. 1). Закономерностью является необходимость применения специальных северных марок полимеров с низкотемпературными пластификаторами и УФ-стабилизаторами. Наибольшей стойкостью в условиях города Норильск обладают армированные стеклопластики (ФАП) и полиэтилен низкого давления (ПНД) специальных марок.

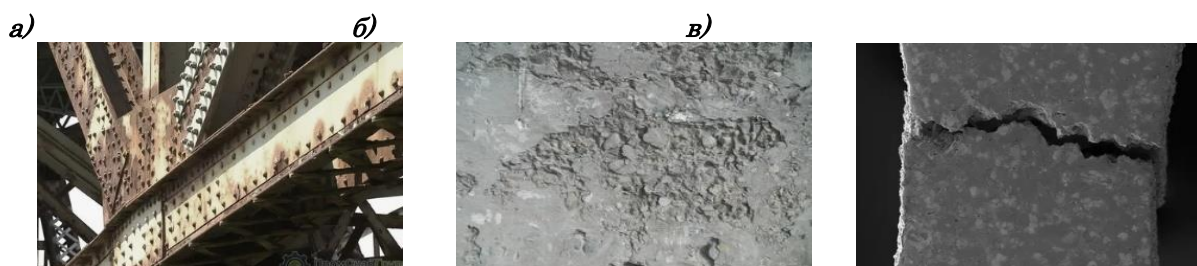


Рис. 1. Характерные виды повреждений строительных материалов в городе Норильск:
а – коррозия металлоконструкций; *б* – поверхностное шелушение бетона;
в – хрупкое разрушение полимерного фасадного элемента

Перспективные направления и инновационные решения (рис. 2):

1. Разработка «норильских» рецептур бетонов. Создание регионально-адаптированных составов на основе местных заполнителей с обязательным введением комплексных добавок, сочетающих свойства суперпластификатора, воздухововлечателя и ингибитора коррозии.

2. Применение интеллектуальных защитных покрытий. Внедрение покрытий с фазово-переходными материалами, способными нивелировать термические напряжения, и покрытий с индикаторными свойствами, меняющими цвет при критическом износе.

3. Использование композитной арматуры. Замена стальной арматуры на неметаллическую (стеклопластиковую и базальтопластиковую) в элементах, наиболее подверженных коррозии (фундаменты, цокольные этажи).

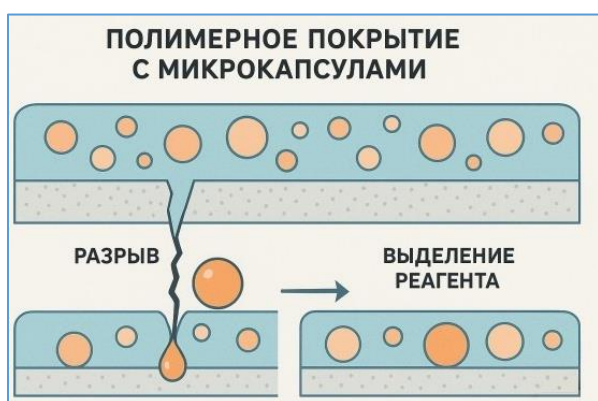


Рис. 2. Принципиальная схема работы самовосстанавливающегося материала с микрокапсулированным агентом

1. Внедрение систем мониторинга в реальном времени. Оснащение критиче-

ски важных конструкций датчиками для контроля влажности, температуры, появления трещин и скорости коррозии.

Заключение и выводы. Проведенный анализ позволил выявить следующие ключевые закономерности влияния структуры и свойств строительных материалов в условиях города Норильск:

1. Долговечность материалов в условиях города Норильск определяется их стойкостью к синергетическому воздействию низких температур воздуха, многократных циклов замораживания–оттаивания и химической агрессии техногенной атмосферы.

2. Для бетонов основным путем повышения долговечности является создание высокоплотной мелкопористой структуры за счет применения ПКЭ и микрокремнезема, что позволяет достигать марок F600 и W20.

3. Для металлоконструкций критически важным является применение хладостойких сталей и многослойных химически стойких покрытий.

4. Использование полимерных материалов требует тщательного отбора марок, адаптированных к экстремально низким температурам воздуха и высокому УФ-излучению.

5. Перспективным является переход к проектированию не просто конструкций, а материало-адаптивных систем с учетом специфических закономерностей деградации в Норильском промышленном районе.

Список источников

1. ГОСТ 26633–2015. Бетоны тяжелые и мелкозернистые. Технические условия.
2. СП 28.13330.2017. Защита строительных конструкций от коррозии. Актуализированная редакция СНиП 2.03.11–85.
3. СП 357.1325800.2017. Сооружения портовые гидротехнические. Правила проектирования бетонных и железобетонных конструкций.
4. Баженов Ю.М. Теория и технология бетона: учебник для вузов. М., 2011. 512 с.
5. Калашников В.И. Высокопрочные бетоны на композиционных вяжущих. М., 2009. 276 с.
6. Бетоны для условий Крайнего Севера / под ред. В.И. Соломатова. М.: Стройиздат, 1973. 184 с.
7. Чупраков С.В., Лесовик В.В. Повышение долговечности бетона в условиях сульфатной агрессии // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2019. №5. С. 34–42.
8. Влияние нанодисперсных кремнеземов на структуру и свойства цементных композитов / Яковлев Г.И., Пономарев Д.С., Гордиенко П.С. // Строительные материалы. 2020. №8. С. 44–51.
9. Aitchin P.-C. Binders for Durable and Sustainable Concrete. London, 2003. 500 p.
10. Bentur A., Mindess S. Fibre Reinforced Cementitious Composites (2nd ed.). London: Taylor & Francis, 2006.
11. De Schutter G., Audenaert K., Folliard K. (Eds.). Durability of Concrete in Cold Climates. RILEM, CRC Press. 2018.
12. Fagerlund G. A service life model for internal frost damage in concrete. Report TVBM–3119, Lund University, Sweden. 2004.
13. Farnam Y., & Weiss, J. The Influence of Cryogenic Temperatures on the Mechanical Properties and Durability of Concrete. Cement and Concrete Composites. 2019. №104.
14. Hooton R.D., Bickley J.A. Design for durability: The key to improving concrete sustainability. Construction and Building Materials. 2014. №67. Pp 422–430.

References

1. GOST 26633–2015. Concrete is heavy and fine-grained. Technical specifications.
2. SP 28.13330.2017. Protection of building structures from corrosion. Updated version of SNiP 2.03.11–85.
3. SP 357.1325800.2017. Port hydraulic structures. Rules for the design of concrete and reinforced concrete structures.
4. Bazhenov Yu.M. Theory and technology of concrete: a textbook for universities. M., 2011. 512 p.
5. Kalashnikov V.I. High-strength concrete on composite binders. M., 2009. 276 p.
6. Concretes for the conditions of the Far North / edited by V.I. Solomatov. M.: Stroyizdat, 1973. 184 p.
7. Chuprakov S.V., Lesovik V.V. Increasing the durability of concrete in conditions of sulfate aggression // *Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov*. 2019;(5):34–42. (In Russ.).
8. Influence of nanodisperse silicones on the structure and properties of cement composites / Yakovlev G.I., Ponomarev D.S., Gordienko P.S. // *Building materials*. 2020;(8):44–51. (In Russ.).
9. Aitchin P.-S. Binders for durable and eco-friendly concrete. London, 2003. 500 p.
10. Bentour A., Mindess S. Binder composites based on fibrous fibers (2nd ed.). London: Taylor & Francis, 2006.
11. De Schutter G., Oudenaert K., Folliard K. (eds.). Durability of concrete in cold climates. RILEM, CRC Press, 2018.
12. Fagerlund G. Model of concrete service life in case of internal damage from freezing. Report TVBM–3119, Lund University, Sweden, 2004.
13. Farnam Y., Weiss J. The effect of cryogenic temperatures on the mechanical properties and durability of concrete. Cement and Concrete Composites. 2019, No. 104.
14. Hooton R.D., Bickley J.A. Design that ensures durability: the key to improving the stability of concrete. Construction and Building Materials. 2014;(67):422–430. (In Russ.).

Научный вестник Арктики. 2026. №20. С. 33–42.
Scientific Bulletin of the Arctic. 2026;(20):33–42.

Технические науки

Научная статья

УДК 622.831

doi: 10.52978/25421220_2026_20_33–42

**ХАРАКТЕРИЗАЦИЯ ПРИМЕНЕНИЯ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ
В РЕШЕНИИ ГЕОМЕХАНИЧЕСКИХ ЗАДАЧ**

Туртыгина Наталья Александровна

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

E-mail: natyrtigina@mail.ru

Шевченко Павел Романович

ЗФ ПАО «ГМК «Норильский никель»

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

E-mail: ShevchenkoPR@norvuz.ru

Самосенко Иван Викторович

ЗФ ПАО «ГМК «Норильский никель»

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

E-mail: SamosenkoIV1@norvuz.ru

Кичигина Валерия Дмитриевна

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

E-mail: KichiginaVD@norvuz.ru

Аннотация. Разработка полезных ископаемых на рудниках Талнаха сопряжена с серьезными геомеханическими задачами. Эти трудности вызваны сложными горно-геологическими характеристиками, высокой степенью тектонической раздробленности пород и напряженно-деформированного состояния массива. В таких условиях безопасность и продуктивность горных работ напрямую зависят от грамотного подбора типов и параметров крепления подземных выработок.

Эффективность крепления и управление кровлей горизонтальных и наклонных горных выработок, которые были пройдены механизированным и буровзрывным способом зависит от адаптации существующих методик к изменяющимся условиям горной добычи и внедрению современного оборудования.

Ключевые слова: рейтинговые системы, напряженно-деформированное состояние массива, оценка нарушения массива, горная крепь, численное моделирование, сравнительный анализ.

Для цитирования: Туртыгина Н.А., Шевченко П.Р., Самосенко И.В., Кичигина В.Д. Характеризация применения программного обеспечения в решении геомеханических задач // Научный вестник Арктики. 2026. №20. С. 33–42. https://doi.org/10.52978/25421220_2026_20_33–42.

Technical sciences

Original article

**CHARACTERIZATION OF THE USE OF SOFTWARE IN SOLVING
GEOMECHANICAL PROBLEMS**

Natalia A. Turtygina

Polar State University, Norilsk, Russia

E-mail: natyrtigina@mail.ru

Pavel R. Shevchenko

MMC Norilsk Nickel

Polar State University, Norilsk, Russia

E-mail: ShevchenkoPR@norvuz.ru

Ivan V. Samosenko

MMC Norilsk Nickel

Polar State University, Norilsk, Russia

E-mail: SamosenkoIV1@norvuz.ru

Valeria D. Kichigina

Polar State University, Norilsk, Russia

E-mail: KichiginaVD@norvuz.ru

Abstract. The development of minerals in the Talnakh mines involves serious geomechanical tasks. These difficulties are caused by complex mining and geological characteristics, a high degree of tectonic fragmentation of rocks and increased rock pressure. In such conditions, the safety and productivity of mining operations directly depend on the proper selection of types and parameters for fixing underground workings.

The effectiveness of fixing and controlling the roof of horizontal and inclined mine workings that have been completed by mechanized and drilling-blasting methods depends on the adaptation of existing techniques to changing mining conditions and the introduction of modern equipment.

Keywords: rating systems, stress-strain state of the massif, assessment of the disturbance of the massif, rock support, numerical modeling, comparative analysis.

For citation: Turtygina N.A., Shevchenko P.R., Samosenko I.V., Kichigina V.D. Characterization of the use of software in solving geomechanical problems. *Scientific Bulletin of the Arctic*. 2026;(20):33–42. (In Russ.). https://doi.org/10.52978/25421220_2026_20_33-42.

В настоящее время на горнодобывающих предприятиях Заполярного филиала ПАО «ГМК «Норильский никель» используется инструкция по выбору типа и параметров крепи капитальных, подготовительных, нарезных и очистных выработок в предельно напряженном (или ослабленном) блочном массиве рудников Талнаха. Однако изменение методов и условий ведения горных работ оказывает значительное влияние на поддержание горизонтальных и наклонных выработок [1].

Эти изменения включают в себя:

1. Трансформацию зон трещиноватости вокруг выработок.

2. Изменение размеров поперечного сечения горных выработок, связанное с применением нового горнопроходческого оборудования.

3. Изменение напряженно-деформированного состояния приконтурного массива в связи с изменением форм поперечного сечения и физико-механических характеристик вмещающего массива.

«Существующий подход не всегда обеспечивает безопасные условия эксплуатации горных выработок, проявляющийся в разрушениях крепи и обрушениях в ранее закрепленных горных выработках, а в некоторых случаях наоборот приводит к завышенным требованиям к креплению горных выработок, что в результате обу-

ловила актуальность разработки способов крепления и поддержания, методик расчета крепи, которые соответствовали бы реальным горно-техническим и геомеханическим условиям эксплуатации выработок, повысив тем самым надежность обеспечения устойчивости» [2, с. 63].

«Отдельные участки Октябрьского месторождения ранее были подвержены затоплению, в связи с чем изменение сейсмической активности после затопления обусловлено ростом трещиноватости массива из-за воздействия воды. Водонасыщение массива привело к снижению суммарной энергии сейсмических событий при увеличении их количества» [3, с. 52].

Эти факторы требуют детального рассмотрения принятых видов и параметров крепи и, при необходимости, разработки обновленных рекомендаций.

При оценке эффективности параметров крепи ключевыми характеристиками являются: безопасность, которая обеспечивает устойчивости выработки на протяжении всего срока эксплуатации; оптимальное соотношение затрат и надежности; возможность механизации процессов крепления; адаптивность, которая даёт возможность корректировки параметров при изменении условий; ремонтпригодность для обеспечения возможности

усиления крепи без существенного нарушения производственного процесса [4].

По критериям безопасности существующие рекомендации в целом соответствуют требованиям к устойчивости выработок, но предварительный анализ выявляет существенные резервы для повышения их экономичности и адаптивности.

«Опыт применения современных технологий крепления показывает их высокую эффективность при решении сложных задач технологического цикла. Комплексное применение анкерной крепи с минимально возможным временем набора несущей способности, набрызг-бетонов с химическими ускорителями, химических смол для упрочнения массива и заполнения пустот позволяют обеспечить устойчивость горных выработок в самых сложных горно-геологических условиях» [5, с. 16].

Тем не менее, в результате проведенного анализа можно сформулировать следующий вывод: целесообразно повсеместное применение численного моделирования для оценки напряженно-деформированного состояния массива и прогнозирования взаимодействия системы «массив-крепь». С целью оптимизации крепления, в статье проведен сравнительный анализ методов численного моделирования для Талнахского рудного узла.

Численные методы:

1. Метод конечных элементов (FEM).

Представляет собой численный подход к решению дифференциальных уравне-

ний, описывающих напряженно-деформированное состояние массива, путем разбиения области на множество малых элементов [6].

Для оценки применимости будет рассмотрено программное обеспечение Dips от компании Rocscience специализирующееся на статистическом анализе ориентации плоскостей ослабления и предоставляемого инструментария для стереографической визуализации структурных данных. В условиях Талнахских рудников данный функционал позволяет провести анализ систем трещин и их пространственного расположения, что даст более точный прогноз деформации массива относительно контуров проектируемых выработок и предотвратит другие геомеханические риски.

Значительное количество горных выработок Талнахских рудников находится в условиях возможного формирования клиновидных структур, образованных пересечением нескольких систем трещин [7]. Программа Unwedge реализует специализированный алгоритм выявления и анализа устойчивости потенциальных клиньев (рис. 1) в окрестности подземных выработок. Детерминированный подход, реализованный в Unwedge, позволяет оценивать коэффициент устойчивости каждого клина и проектировать параметры анкерного крепления с учетом локальных структурных особенностей массива [8].

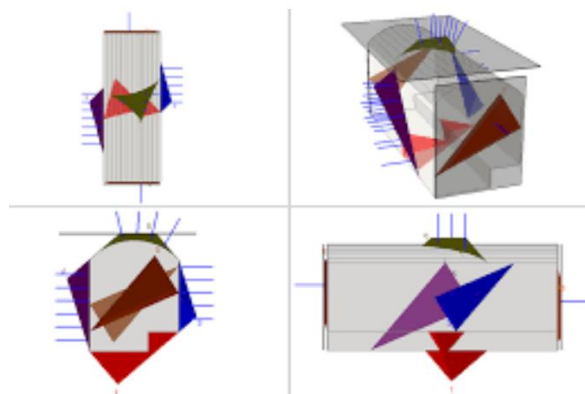


Рис. 1. Выявление и анализ устойчивости потенциальных клиньев

Основные принципы состоят из дискретизации расчетной области на конечные элементы, аппроксимации полей напряжений и деформаций внутри элементов,

формирования и решения системы уравнений для всей области и анализа полученных результатов с интерпретацией.

Метод конечных элементов даёт возможность моделировать геомеханические процессы в условиях Талнахского рудного узла с учётом сложной геологической структуры, неоднородностей массива, тектонических нарушений и многостадийности горных работ.

Преимуществами метода являются возможность моделирования сложной геометрии выработок и целиков с учетом различных физико-механических свойств пород и руд, моделирование нелинейного поведения массива (пластичность, ползучесть), контроль последовательности отработки месторождения с возможностью трехмерного моделирования при анализе как напряжений, так и деформаций.

Ограничения применения метода конечных элементов включают в себя высокие требования к вычислительным ресурсам для трехмерных моделей и необходимостью большого объема исходных данных о свойствах пород. И также нужно учитывать сложность моделирования трещиноватости массива, соответствующего реальным условиям с потребностью в специализированном программном обеспечении и квалифицированных специалистах.

При корректной калибровке модели на основе данных натурных измерений достигается точность прогнозирования напряжений и деформаций в диапазоне 80–90%. Соответственно для условий Талнахского рудного узла с точки зрения применимости, перспективно будет оставить свой выбор на методе конечных элементов.

2. Метод граничных элементов (ВЕМ).

Основан на преобразовании дифференциальных уравнений, описывающих поведение массива, в интегральные уравнения, что позволяет сократить размерность задачи.

В качестве примера рассмотрено внедрение программного обеспечения Mar3D. В случае его применения в условиях Талнахского рудного узла ПО Mar3D демонстрирует высокую эффективность, благодаря возможности создания детализированных трехмерных моделей (рис. 2) с

учетом всех структурно-тектонических особенностей месторождения.

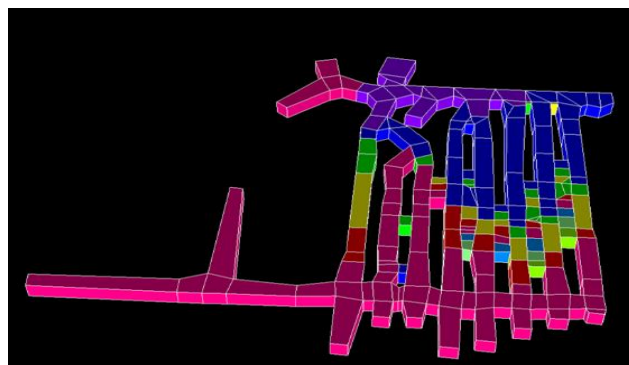


Рис. 2. Детализированная трехмерная модель Mar3D

Основополагающими принципами применения данного программного обеспечения являются дискретизация только границ расчетной области, использование фундаментальных решений для бесконечной среды, формирование и решение системы интегральных уравнений, а также расчет напряжений и деформаций в любой точке массива.

Метод демонстрирует высокую эффективность при моделировании обширных участков горного массива с относительно однородными физико-механическими свойствами пород.

Достоинства метода граничных элементов представляют собой меньшие вычислительные затраты по сравнению с методом конечных элементов, высокую точность расчета напряжений на границах выработок, простоту моделирования бесконечных или полубесконечных областей с возможностью быстрой оценки влияния горных работ на большие области массива.

Сложность применения данного метода состоит в трудности при моделировании неоднородностей массива, ограниченности учета нелинейных свойств пород, моделирования систем с большим количеством выработок сложной формы и наименьшей эффективности для задач с концентрацией напряжений в локальных зонах.

Данный метод обеспечивает точность прогноза напряжений на уровне 75–85% для однородных участков массива. Точность снижается в зонах тектонических

нарушений и при сложной конфигурации выработанных пространств.

3. Метод дискретных элементов (DEM). Данный метод моделирует породный массив как совокупность отдельных блоков, взаимодействующих между собой через контактные поверхности с определенными свойствами. В статье будет рассмотрен программный продукт CAE Fidesys Standard, он является отечественной CAE-системой, включающей модули для решения линейных статических и динамических задач прочности, расчета собственных частот и форм колебаний для 2D и 3D моделей. Позволяет работать с блочными структурными моделями (рис. 3).

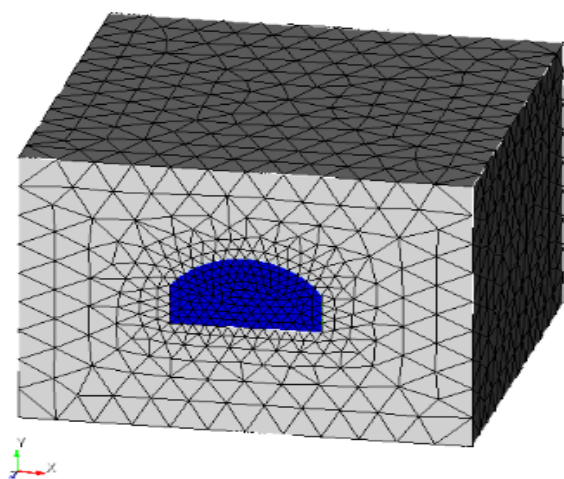


Рис. 3. Блочная структурная модель CAE Fidesys Standard

Положительными сторонами использования данной системы являются представление массива в виде системы жестких или деформируемых блоков, моделирование контактного взаимодействия между блоками, учёт трения, сцепления и других параметров на контактах.

Также можно произвести расчет перемещения блоков и формирования зон обрушения.

Метод дискретных элементов представляет особую ценность при моделировании трещиноватых горных массивов и процессов обрушения. Он эффективно применяется для анализа камерно-целиктовых, используемых на Талнахских месторождениях.

Преимущества метода состоят в естественном моделировании блочной структуры, процессов обрушения, смещения блоков и динамических процессов, учитывая дискретную природу массива.

Трудность применения метода заключается в высоких требованиях к вычислительным ресурсам и необходимости детальных данных о трещиноватости массива. Кроме того, принимается во внимание сложность калибровки параметров контактного взаимодействия и трудности в моделировании больших объёмов массива.

Программный продукт особенно ценен для прогнозирования поведения кровли выработок в трещиноватых породах.

Стоит рассмотреть комбинированные методы, представляющие собой интеграцию различных численных подходов для более полного учета многообразия факторов, влияющих на поведение массива.

Преимущества метода включают в себя: использование разных методов для различных участков модели, сопряжение решений на границах между участками, комбинирование преимуществ различных подходов и оптимизацию вычислительных ресурсов.

Комбинированные методы, безусловно, являются наиболее перспективным инструментом для моделирования сложных геомеханических процессов в условиях Талнахского рудного узла. Они обеспечивают комплексный учёт как сплошности массива в целом, так и его блочной структуры в локальных зонах.

Достоинства комбинированного метода заключаются в учете различных факторов на разных масштабных уровнях, повышении точности моделирования сложных процессов, оптимизации вычислительных затрат и возможности верификации результатов разными методами.

Ограничениями являются сложность сопряжения различных методов, высокие требования к квалификации специалистов, необходимость специализированного программного обеспечения и трудность интерпретации комплексных результатов.

При этом комбинированный метод требует регулярной верификации по данным натурных наблюдений. Метод

обычно реализуется с использованием нескольких специализированных программных комплексов с возможностью обмена данными между ними, например, как в указанных ранее MAP3D, Dips, Unwedge.

Произведен сравнительный анализ методов численного моделирования (табл. 1). При сравнительном анализе численного моделирования для условий Талнахского рудного узла предлагается

интегрировать многоуровневую систему моделирования. Последняя необходима для эффективного геомеханического обеспечения горных работ и включает в себя следующие уровни: региональный (месторождение в целом); локальный уровень (участок месторождения); детальный уровень (отдельные выработки); специальный уровень (участки повышенного риска) (табл. 2).

Таблица 1

Сравнительный анализ методов численного моделирования

Метод	Учет структуры массива	Учет НДС	Вычислительные затраты	Требования к исходным данным	Универсальность
Метод конечных элементов (FEM)	Средний	Высокий	Высокие	Высокие	Высокая
Метод граничных элементов (BEM)	Низкий	Высокий	Средние	Средние	Средняя
Метод дискретных элементов (DEM)	Высокий	Средний	Очень высокие	Очень высокие	Средняя
Комбинированные методы	Высокий	Высокий	Очень высокие	Очень высокие	Очень высокая

Таблица 2

Многоуровневая система моделирования

Уровень	Масштаб	Цель	Рекомендуемые методы	Программное обеспечение	Периодичность обновления
Региональный уровень	Весь рудник или группа рудников	Оценка взаимовлияния горных работ, определение зон опорного давления, оптимизация порядка отработки запасов	Метод граничных элементов, упрощенный метод конечных элементов	MAP3D	1–2 раза в год или при существенных изменениях в проекте отработки
Локальный уровень	Выемочный блок, панель, группа камер	Определение параметров систем разработки, оценка устойчивости междуканальных и барьерных целиков	Метод конечных элементов с учетом неоднородности массива	Dips, Unwedge	Ежеквартально или перед началом работ на новом участке
Детальный уровень	Отдельная выработка, сопряжение выработок, очистной забой	Выбор параметров крепления, оценка устойчивости призабойной части массива	Комбинация эмпирических методов (Q-system, GSI) с методом конечных элементов или дискретных элементов	Dips, UNWEDGE	Ежемесячно или по мере проходки выработок
Специальный уровень	Тектонические нарушения, зоны повышенных напряжений, участки с динамическими проявлениями	Прогноз и предотвращение опасных геодинамических явлений	Комбинированные методы с учетом структурных особенностей и нелинейных свойств массива	Комбинация FEM+DEM (Dips, Unwedge)	Еженедельно или после каждого значимого сейсмического события

Для повышения достоверности геомеханических моделей необходимо создание системы информационного обеспечения, включающей:

1. Базу данных физико-механических свойств пород и руд (систематизация результатов лабораторных испытаний по литологическим разностям, учет масштабного фактора при переходе от образцов к массиву, создание «паспортов прочности» для основных типов пород, регулярное пополнение базы данных новыми результатами).

2. Базу данных о структурных особенностях массива (картирование систем трещин и тектонических нарушений, геотехническое документирование керна разведочных скважин, применение телеметрии скважин и лазерного сканирования выработок, классификация массива по степени трещиноватости и блочности).

3. Систему мониторинга напряженно-деформированного состояния (измерения деформаций контура выработок и смещений пород, установка датчиков напряжений в целиках и массиве, сейсмоакустический мониторинг геодинамических явлений, регулярная съемка состояния выработок и целиков).

4. Геоинформационную систему (ГИС) (интеграция всех типов геомеханической информации в единой пространственной базе данных, визуализация результатов моделирования и мониторинга, оперативное обновление моделей при получении новых данных, формирование прогнозных карт устойчивости массива).

Для обеспечения соответствия геомеханических моделей реальным условиям Талнахского рудного узла необходимо проведение регулярной валидации и калибровки:

1) валидация эмпирических моделей (сравнение прогнозных оценок устойчивости с фактическим состоянием выработок, корректировка рейтинговых оценок для специфических условий месторождения, уточнение граничных значений для различных категорий устойчивости);

2) калибровка численных моделей (сопоставление расчетных и измеренных деформаций контура выработок, уточне-

ние входных параметров модели, адаптация моделей разрушения для различных типов пород, учет временного фактора в долгосрочных прогнозах);

3) метрики оценки качества моделей (коэффициент корреляции между расчетными и измеренными параметрами, среднеквадратическая ошибка прогноза, процент успешных прогнозов устойчивости выработок, точность предсказания зон повышенных напряжений);

4) неоднородность литологического состава (детальное разделение расчетной модели на зоны с различными физико-механическими свойствами, учет контактов между различными типами пород, моделирование анизотропии свойств для слоистых пород);

5) тектоническая нарушенность массива (явное моделирование крупных разломов и тектонических нарушений, учет снижения прочностных характеристик в околоразломных зонах, моделирование возможного скольжения по плоскостям нарушений);

6) гидрогеологические факторы (учет влияния подземных вод на устойчивость массива, моделирование изменения прочностных свойств при водонасыщении, учет порового давления в трещиноватых зонах).

Одной из ключевых задач геомеханического моделирования для условий Талнахского рудного узла является прогнозирование опасных геодинамических явлений:

- методы прогнозирования горных ударов (моделирование зон концентрации напряжений с учетом структурных неоднородностей, расчет критериев удароопасности на основе численных моделей, учет влияния очистных работ на перераспределение напряжений, создание карт удароопасности с использованием комбинированных методов моделирования);

- прогноз обрушенной кровли (моделирование устойчивости кровли с учетом трещиноватости, расчет предельных пролетов обнажений для различных горно-геологических условий, оценка влияния техногенной нарушенности на устойчи-

вость кровли, прогнозирование развития заколообразования во времени);

- прогноз деформаций целиков (моделирование распределения напряжений в целиках различной конфигурации, расчет коэффициентов запаса прочности с учетом масштабного фактора, оценка влияния трещиноватости на прочность целиков, прогнозирование развития деформаций целиков во времени);

- превентивные мероприятия на основе результатов моделирования (оптимизация параметров систем разработки и порядка отработки, проектирование рациональных параметров крепления выработок, планирование мероприятий по разгрузке массива в зонах высоких напряжений, оптимизация расположения охранных целиков для защиты капитальных выработок).

В условиях разработки сложноструктурных месторождений Талнахского рудного узла критически важно применять интегрированные геомеханические подходы. Совместное применение программных комплексов формирует методологически выверенную основу для учёта многофакторных геологических и геотехнических параметров процесса разработки.

Массив Талнахских месторождений отличается выраженной структурно-тектонической нарушенностью, включающей множество систем трещин и разрывных нарушений. В связи с этим стоит рассмотреть ПО предназначенное для статистического анализа ориентации плоскостей ослабления и обеспечивающее стереографическую визуализацию структурных данных.

Значительное количество подземных горных выработок Талнахских рудников находится в условиях возможного формирования клиновидных структур, образованных пересечением нескольких систем трещин. Поэтому геомеханическое ПО имеет критическое значение для обеспечения безопасности капитальных и подготовительных выработок Талнахских рудников. Интеграция результатов структурного анализа, полученных с использованием продуктов Rocscience, с трехмерным геомеханическим моделиро-

ванием в Map3D создает синергетический эффект. Map3D, реализующий граничный метод интегральных уравнений, позволяет учитывать природное поле напряжений, последовательность отработки запасов и геометрические параметры выработанных пространств. Дополнение данного подхода детальной информацией о структурной нарушенности массива, полученной с использованием Dips и Unwedge, значительно повышает достоверность геомеханического прогноза [9].

Методология комплексного применения указанных программных продуктов может быть реализована следующим образом: первичная обработка данных структурного картирования выполняется в Dips с выделением доминирующих систем трещин; далее с использованием Unwedge проводится анализ устойчивости выработок с учетом выявленных систем нарушений; параллельно в Map3D создается трехмерная модель массива для оценки напряженно-деформированного состояния. Последующая интерпретация результатов позволяет формировать комплексные рекомендации по оптимизации параметров систем разработки и крепления выработок.

Особую ценность данный интегрированный подход представляет при проектировании очистных работ в зонах повышенных напряженно-деформированных состояний, характерных для глубоких горизонтов Талнахских рудников [10]. Совместное использование программных комплексов позволяет оценивать влияние структурной нарушенности на перераспределение напряжений в окрестности очистных камер и прогнозировать потенциальные зоны разрушения с учетом анизотропии прочностных свойств массива [11].

Применение системного подхода к геомеханическому моделированию на базе программных продуктов Map3D и Rocscience потребует формирования соответствующей информационной инфраструктуры с централизованным хранением и обработкой геологической и геомеханической информации. Экономическая эффективность данного решения обосновывается возможностью оптимизации па-

раметров систем разработки, снижением объемов закладочных работ и повышением безопасности ведения горных работ в сложных горно-геологических условиях.

Таким образом, **интегрированное использование** программных продуктов Map3D и линейки Rocscience (Unwedge,

Dips) представляет собой методологически обоснованный подход к решению сложных геомеханических задач в условиях Талнахских рудников, способствующий повышению эффективности недропользования и минимизации геотехнических рисков.

Список источников

1. Положение (Инструкция) по выбору типа и параметров крепи капитальных, подготовительных, нарезных и очистных горных выработок в предельно напряженном (или ослабленном) блочном массиве рудников Талнаха. Норильск, 2025. 75 с.

2. Методика выбора типа и параметров крепи горных выработок для условий предельно напряженного блочного массива / Туртыгина Н.А., Охрименко А.В., Шубрик А.С., Карачок С.А. // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2018. №4. С. 63–69.

3. Оценка сейсмической активности массива горных пород при отработке полиметаллического месторождения в сложных горных и гидрогеологических условиях / Еременко А.А., Марысюк В.П., Конурин А.И., Дарбинян Т.П., Самосенко И.В. // ФТПРПИ. 2024. №4. С. 52–57.

4. Отчет о НИР «Геомеханическое обоснование параметров систем разработки на глубоких горизонтах рудников Талнахского рудного узла». СПб.: Горный институт, 2019. 187 с.

5. Анализ трансформации технологического процесса крепления горных выработок на рудниках Талнахского горно-обогатительного комбината / Марысюк В.П., Кисель А.А., Устинов А.К., Шевченко П.Р. // Горный журнал. 2025. №6. С. 13–19.

6. A critical review on the developments of rock support systems in high stress ground

conditions / Ghorbani M., Shahriar K., Sharifzadeh M. [et al.] // International Journal of Mining Science and Technology. 2020. P. 1–18.

7. Барышников В.Д., Барышников Д.В., Гахова Л.Н. Геомеханическое обоснование горных работ на рудниках Норильского промышленного района // ФТПРПИ. 2018. №2. С. 53–61.

8. Совершенствование технических решений при креплении горных выработок фрикционной анкерной крепью СЗА в сложных горно-геологических условиях / Зубков А.А., Волков П.В., Кутлубаев И.М., Неугомонов С.С. // Горный журнал. 2022. №3. С. 92–96.

9. Долбня О.В., Дрозденко Ю.В., Ермиков А.Н. Применение аддитивных технологий для крепления подземных горных выработок // Современные тенденции и инновации в науке и производстве. 2023. С. 122.1–122.5.

10. Демин В.Ф. Определение параметров поддержания выработок в зависимости от влияющих горно-технологических факторов // Труды университета. 2019. №3. С. 50–54.

11. Обоснование стратегии поддержания устойчивости подземных горных выработок в условиях действующих повышенных анизотропных напряжений / Айнбиндер И.И., Пацкевич П.Г., Красюкова Е.В., Аверин А.П. // Горный журнал. 2022. №1. С. 34–40.

References

1. Regulations (Instructions) for selecting the type and parameters of support for capital, preparatory, cutting, and cleaning mine workings in the extremely stressed (or weakened) block massif of the Talnakh mines. Norilsk. 2025. 75 p.

2. Methodology for selecting the type and parameters of mine workings support for conditions of extremely stressed block massif / Turtygina N.A., Okhrimenko A.V., Shubrik A.S.,

Karachok S.A. // *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 2018;(4):63–69. (In Russ.).

3. Assessment of Seismic Activity in a Rock Massif during the Development of a Polymetal Deposit in Complex Mountainous and Hydrogeological Conditions / Eremenko A.A., Marysyuk V.P., Konurin A.I., Darbinyan T.P., Samosenko I.V. // *FTRPPI*. 2024;(4):52–57. (In Russ.).

4. Research Report «Geomechanical Justification of the Parameters of Mining Systems at Deep Levels of the Talnakh Ore Cluster Mines». St. Petersburg: Mining Institute, 2019. 187 p.

5. Analysis of the Transformation of the Technological Process of Mining Workings Support at the Talnakh Mining and Processing Plant / Marysyuk V.P., Kisel A.A., Ustinov A.K., Shevchenko P.R. // *Mining Journal*. 2025;(6):13–19. (In Russ.).

6. A critical review on the developments of rock support systems in high stress ground conditions / Ghorbani M., Shahriar K., Sharifzadeh M. [et al.] // *International Journal of Mining Science and Technology*. 2020;1–18. (In Russ.).

7. Geomechanical Justification of Mining Operations in the Norilsk Industrial Region / Baryshnikov V.D., Baryshnikov D.V., Gakhova L.N. // *FTRPPI*. 2018;(2):53–61. (In Russ.).

8. Improvement of Technical Solutions for Securing Mine Workings with Friction An-

chors in Difficult Mining and Geological Conditions / Zubkov A.A., Volkov P.V., Kutlubaev I.M., Neugomonov S.S. // *Mining Journal*. 2022;(3):92–96. (In Russ.).

9. Dolbnya O.V., Drozdenko Yu.V., Yermikov A.N. Application of Additive Technologies for Underground Mine Workings Support // *Modern Trends and Innovations in Science and Production*. 2023:122.1–122.5. (In Russ.).

10. Demin V.F. Determination of the parameters of mine workings maintenance depending on the influencing mining and technological factors // *Proceedings of the University*. 2019;(3):50–54. (In Russ.).

11. Justification of the Strategy for Maintaining the Stability of Underground Mine Workings under Conditions of Existing Increased Anisotropic Stresses / Ainbinder I.I., Patskievich P.G., Krasnyukova E.V., Averin A.P. // *Mining Journal*. 2022;(1):34–40. (In Russ.).

Научный вестник Арктики. 2026. №20. С. 43–48.
Scientific Bulletin of the Arctic. 2026;(20):43–48.

Технические науки

Научная статья

УДК 044.89:656.132.005.521(571.51)

doi: 10.52978/25421220_2026_20_43–48

**ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ СИСТЕМА МОНИТОРИНГА
И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ДВИЖЕНИЯ
ОБЩЕСТВЕННОГО ТРАНСПОРТА В УСЛОВИЯХ АРКТИКИ**

Самплина Влада Руслановна

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

E-mail: SamplinaVR1@norvuz.ru

Поляков Никита Валериевич

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

E-mail: PolyakovNV@edu.norvuz.ru

Киселёв Иван Михайлович

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

E-mail: Valder111kekw@yandex.ru

Аннотация. Рассматривается разработка интеллектуальной системы для мониторинга и прогнозирования движения автобусов в Норильске. Обосновывается актуальность задачи, связанная с экстремальными климатическими условиями, частыми отменами занятий («активировками») и необходимостью повышения предсказуемости работы общественного транспорта. Предлагается архитектура системы, основанная на интеграции данных ГЛОНАСС/GPS, метеорологических прогнозов и оперативной информации о дорожной обстановке. Проведен вычислительный эксперимент по прогнозированию времени прибытия автобуса на остановку с использованием рекуррентной нейронной сети (LSTM), учитывающей погодные условия. Результаты демонстрируют высокую точность прогноза и практическую значимость системы для жителей и транспортных служб города. Статья развивает исследования авторов в области цифровизации, интеллектуальных систем и создания цифровых двойников в Арктике.

Ключевые слова: общественный транспорт, прогнозирование, нейронные сети, LSTM, ГЛОНАСС, Норильск, Арктика, интеллектуальная транспортная система.

Для цитирования: Самплина В.Р., Поляков Н.В., Киселев И.М. Интеллектуальная система мониторинга и прогнозирования движения общественного транспорта в условиях Арктики // Научный вестник Арктики. 2026. №20. С. 43–48. https://doi.org/10.52978/25421220_2026_20_43–48.

Technical sciences

Original article

**INTELLIGENT SYSTEM FOR MONITORING AND FORECASTING PUBLIC
TRANSPORT MOVEMENT IN ARCTIC CONDITIONS**

Vlada R. Samplina

Fedorovsky Polar State University, Norilsk, Russia

E-mail: SamplinaVR1@norvuz.ru

Nikita V. Polyakov

Fedorovsky Polar State University, Norilsk, Russia

E-mail: PolyakovNV@edu.norvuz.ru

Ivan M. Kiselev

Fedorovsky Polar State University, Norilsk, Russia

E-mail: Valder111kek@yandex.ru

Abstract. The article discusses the development of an intelligent system for monitoring and forecasting bus movement in Norilsk. The relevance of the task is substantiated by extreme climatic conditions, frequent school cancellations ("aktirovka"), and the need to improve the predictability of public transport. A system architecture is proposed based on the integration of GLONASS/GPS data, meteorological forecasts, and real-time traffic information. A computational experiment was conducted to predict bus arrival times at a stop using a recurrent neural network (LSTM) that accounts for weather conditions. The results demonstrate the high accuracy of the forecast and the practical significance of the system for the city's residents and transport services. The article builds upon the authors' research in digitalization, intelligent systems, and the creation of digital twins in the Arctic.

Keywords: public transport, forecasting, neural networks, LSTM, GLONASS, Norilsk, Arctic, intelligent transport system.

For citation: Samplina V.R., Polyakov N.V., Kiselev I.M. Intelligent system for monitoring and forecasting public transport movement in Arctic conditions. *Scientific Bulletin of the Arctic*. 2026;(20):43–48. (In Russ.). https://doi.org/10.52978/25421220_2026_20_43-48.

Введение. Стабильное функционирование общественного транспорта является критически важным элементом жизнеобеспечения любого современного города. В условиях Норильска, с его суровым арктическим климатом, продолжительной зимой, сильными ветрами и частыми метелями, эта задача приобретает особую сложность и социальную значимость. Нерегулярность движения автобусов, вызванная погодными условиями, дорожными заторами из-за снегопадов и официальными отменами движения («актировка»), создает значительные трудности для жителей, влияя на их мобильность, безопасность и качество жизни. Существующие мобильные приложения и веб-сервисы, отображающие движение автобусов, как правило, предоставляют только текущее местоположение, но не дают точного прогноза времени прибытия, что в условиях низких температур и долгого ожидания на остановках является серьезным недостатком.

Решение этой проблемы лежит в переходе от простого мониторинга к интеллектуальному прогнозированию. Создание системы, способной в реальном времени анализировать множество факторов и давать точный прогноз прибытия транспорта, позволит жителям более эффективно планировать свои поездки, а транспортным службам – оптимизировать управление маршрутной сетью. Данная работа, продолжая исследования авторов в области создания цифровых

двойников муниципальных образований [1] и применения интеллектуальных систем [2], посвящена разработке концепции и апробации ключевых элементов такой системы для Норильска.

Обзор и выбор моделей прогнозирования

Задача прогнозирования времени прибытия транспорта относится к классу анализа временных рядов, осложненному наличием множества внешних, нелинейных факторов. Выбор адекватной математической модели является ключевым для достижения высокой точности прогноза. Рассмотрим основные подходы (табл. 1).

Классические статистические модели (ARIMA). Модели авторегрессии и интегрированного скользящего среднего (ARIMA) являются классическим инструментом для анализа временных рядов. Они хорошо работают на стационарных рядах с линейными зависимостями. Однако их возможности ограничены при работе с нелинейными данными и сложными внешними факторами, такими как погодные условия или дорожная обстановка, что делает их малоприменимыми для нашей задачи.

Рекуррентные нейронные сети (RNN). Этот класс моделей специально разработан для работы с последовательными данными. Простые RNN способны улавливать зависимости в данных, но страдают от проблемы «затухания градиента», что не позволяет им эффективно работать

с долгосрочными зависимостями. В задаче прогнозирования движения автобуса, где на текущую ситуацию могут влиять события, произошедшие достаточно давно (например, начало снегопада час назад), это является критическим недостатком.

Сети с долгой краткосрочной памятью (LSTM) и управляемые рекуррентные блоки (GRU). Эти архитектуры являются развитием RNN и были созданы для решения проблемы затухания градиента. Они используют специальные «вентильные» механизмы (gates), которые позволяют сети избирательно запоминать, забывать и пропускать информацию. LSTM имеет три вентиля (забывания, входа и выхода), что делает ее очень гибкой и мощной. GRU является более простой версией с двумя вентилями, что ускоряет вычисления, но может приводить к незначительному снижению точности на сложных задачах.

Обоснование выбора LSTM. Для проведения эксперимента была выбрана модель LSTM. Это обусловлено несколькими причинами. Во-первых, ее архитектура с тремя вентилями и ячейкой памяти идеально подходит для улавливания сложных, нелинейных и долгосрочных зависимостей в транспортных данных. Во-вторых, LSTM доказала свою высокую эффективность в широком спектре задач прогнозирования временных рядов, включая транспортное моделирование. В-третьих, способность LSTM эффективно интегрировать в модель внешние факторы (погодные условия, время суток) делает ее оптимальным инструментом для решения поставленной задачи в условиях Норильска, что также подтверждается предыдущими исследованиями авторов [3].

Таблица 1

Сравнительный анализ моделей прогнозирования

Модель	Работа с нелинейностью	Долгосрочные зависимости	Сложность	Применимость для задачи
ARIMA	Низкая	Низкая	Низкая	Низкая
RNN	Средняя	Низкая	Средняя	Низкая
GRU	Высокая	Высокая	Средняя	Высокая
LSTM	Высокая	Очень высокая	Высокая	Оптимальная

Предлагаемая система состоит из трех основных уровней:

1. Уровень сбора данных включает ГЛОНАСС-трекеры на автобусах, датчики пассажиропотока, API метеорологических служб и ручной ввод данных от диспетчеров (о ДТП, перекрытиях).

2. Уровень обработки и прогнозирования представляет собой центральный сервер, где обученная LSTM-модель в реальном времени обрабатывает поступающие данные и генерирует прогноз времени прибытия для каждого автобуса на каждую остановку на 30–60 мин. вперед.

3. Уровень представления данных — это мобильное приложение и веб-портал для жителей, а также автоматизированное рабочее место диспетчера, где информация отображается на интерактив-

ной карте города. Такой подход соответствует концепции цифровых платформенных решений, ранее исследованной авторами [4].

Для оценки точности прогнозирования времени прибытия автобуса маршрута №1 в Норильске на ключевую остановку «Октябрьская площадь» в зависимости от погодных условий с использованием LSTM-модели был проведен вычислительный эксперимент: сгенерированы синтетические данные, имитирующие движение автобусов по маршруту в течение 3 месяцев. Данные включали: GPS-координаты автобуса каждые 30 секунд, время отправления от начальной точки, а также погодные условия, разделенные на три категории: «Ясно» (нормальные условия), «Снегопад» (скорость движения

снижена на 20%) и «Активировка» (сильная метель, скорость снижена на 40%, возможны остановки). На этих данных была обучена LSTM-сеть, которая на вход получала историю движения автобуса за последние 10 мин. и текущие погодные условия, а на выходе предсказывала время прибытия на целевую остановку.

Модель показала высокую эффективность, продемонстрировав способность адаптироваться к изменяющимся условиям. Средняя абсолютная ошибка (MAE) прогноза составила 1,2 мин. в ясную погоду, 2,5 мин. во время снегопада и 4,1 мин. в условиях «активировки». Это зна-

чительно точнее, чем стандартные расчеты на основе расписания. Результаты наглядно представлены в табл. 2 и на рис. 1.

Таблица 2
Средняя абсолютная ошибка (MAE) прогноза времени прибытия в зависимости от погодных условий

Погодные условия	MAE (мин.)
Ясно	1,2
Снегопад	2,5
Активировка	4,1

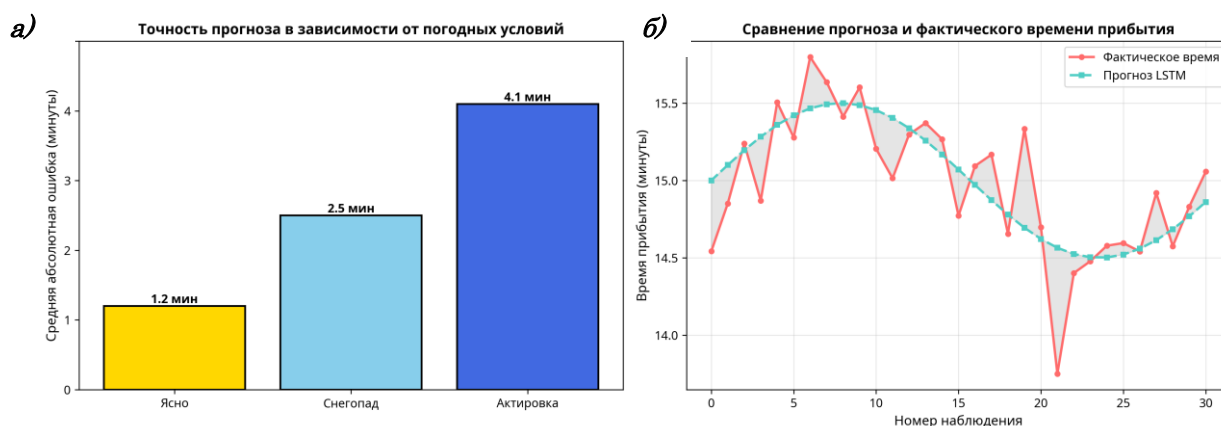


Рис. 1. Модель прогноза времени прибытия: а – точность прогноза в зависимости от погодных условий (столбчатая диаграмма); б – сравнение прогнозных значений LSTM-модели с фактическим временем прибытия автобуса

Разработка и внедрение интеллектуальной системы мониторинга и прогнозирования движения общественного транспорта является насущной необходимостью для Норильска. Проведенный эксперимент доказывает, что использование современных методов машинного обучения, в частности нейронных сетей LSTM, позволяет создавать высокоточные прогнозные модели, адаптирующиеся к сложным арктическим условиям. Такая система способна значительно повысить

качество жизни горожан, снизить время ожидания на остановках и повысить безопасность передвижения. Дальнейшее развитие проекта предполагает создание полноценного цифрового двойника транспортной системы города, который позволит не только прогнозировать, но и моделировать различные сценарии, оптимизируя маршрутную сеть и расписания для повышения общей эффективности и надежности общественного транспорта в Арктике.

Список литературы

1. Беляев И.С., Костенко Н.В., Газизова Ю.И. Применение информационных процессов для создания цифровых двойников муниципальных образований в интересах малого бизнеса // Научный вестник Арктики. 2025. №19. С. 19–26.
2. 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.

3. Беляев И.С. Использование цифровых платформенных решений для развития строительной сферы Арктической зоны

Российской Федерации // Научный вестник Арктики. 2021. №10. С. 36–41.

4. Разработка аналитических подходов к вопросам повышения бизнес-эффективности корпоративных и производственных процессов / Бодрякова Л.Н., Беляев И.С., Долженко Е.Н., Кирсанова Е.А. // Дизайн и технологии. 2023. №93(135). С. 76–83.

5. Разработка структуры базы данных информационной системы автоматизации подготовительно-раскройного этапа скорняжного производства / Кирсанова Е.А., Бодрякова Л.Н., Беляев И.С. [и др.] // Дизайн и технологии. 2022. №90(132). С. 25–33.

6. A model for the job demand forecasting in the arctic zone of the Russian federation based on time series / Petukhova Z., Petukhov M., Belyaev I., Bodryakova L. // Regional Science Inquiry. 2021. Vol. 13, No. 2. P. 291–298.

7. 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. Rostovon-Don, 2020. P. 02015.

8. 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.

9. Разработка аналитических подходов к вопросам повышения бизнес-эффективности корпоративных и производственных процессов / Бодрякова Л.Н., Беляев И.С., Долженко Е.Н., Кирсанова Е.А. // Дизайн и технологии. 2023. №93(135). С. 76–83.

10. Мультиагентная информационная система сопровождения проектов инновационных бизнес-инкубаторов / Фомичева С.Г., Елина Т.Н., Панченко С.С., Беляев И.С. // Современные тенденции в науке и образовании: сборник научных трудов по материалам Международной научно-практической конференции: в 6 частях, Т. II. М., 2014. С. 126–127.

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

References

1. Belyaev I.S., Kostenko N.V., Gazizova Yu.I. Application of information processes to create digital twins of municipalities in the interests of small business // *Scientific Bulletin of the Arctic*. 2025;(19):19–26. (In Russ.).

2. Petrov A.M., Popov A.N. Development of an intelligent decision support system for assessing the condition of heat supply system facilities // *Automation and informatization of the Fuel and Energy complex*. 2023;6(599): 15–21. (In Russ.).

3. Belyaev I.S. The use of digital platform solutions for the development of the construction sector of the Arctic zone of the Russian Federation // *Scientific Bulletin of the Arctic*. 2021;(10):36–41. (In Russ.).

4. Development of analytical approaches to improving the business efficiency of corporate and production processes / Bodryakova L.N., Belyaev I.S., Dolzhenko E.N., Kirsanova E.A. // *Design and Technology*. 2023; 93(135):76–83. (In Russ.).

5. Development of the database structure of the information system for automation of the preparatory cutting stage of rapid production / Kirsanova E.A., Bodryakova L.N.,

Belyaev I.S. [et al.] // *Design and technology*. 2022;90(132):25–33.

6. A model for the job demand forecasting in the arctic zone of the Russian federation based on time series / Petukhova Z., Petukhov M., Belyaev I., Bodryakova L. // *Regional Science Inquiry*. 2021. Vol. 13, No. 2. P. 291–298.

7. 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. Rostovon-Don, 2020. P. 02015.

8. 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. Vol. 14, No. 4. Pp. 63–71. (In Russ.).

9. Bodryakova L.N., Belyaev I.S., Dolzhenko E.N., Kirsanova E.A. Development of analytical approaches to improving the business efficiency of corporate and production processes // *Design and Technology*. 2023;93(135):76–83. (In Russ.).

10. Fomicheva S.G., Elina T.N., Panchenko S.S., Belyaev I.S. Multi-agent information system for project support of innovative business incubators // Modern trends in science and education: a collection of scientific papers based on the materials of the International Scientific and Practical Conference: in 6 parts, Vol. II. Moscow, 2014. P. 126–127.

11. Belyaev I.S. Development of state regulation and support of entrepreneurship in construction in the Arctic zone of the Russian Federation: diss. ... Candidate of Economics. Sciences / Belyaev Igor Sergeevich. St. Petersburg, 2021. 175 p.

Научный вестник Арктики. 2026. №20. С. 49–57.
Scientific Bulletin of the Arctic. 2026;(20):49–57.

Технические науки

Научная статья

УДК 697.347

doi: 10.52978/25421220_2026_20_49–57

СИСТЕМА УЧЕТА И ОБРАБОТКИ ДАННЫХ ТЕПЛОВЫХ СЕТЕЙ

Мозгунов Даниил Васильевич

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

E-mail: mozgunovdv@norvuz.ru

Аннотация. Рассматривается комплексная система учета и обработки данных тепловых сетей, предназначенная для оптимизации процессов мониторинга и управления теплоснабжением. Представлена архитектура системы, включающая модули сбора, хранения и анализа данных о работе тепловых сетей. Особое внимание уделяется алгоритмам обработки информации и методам визуализации полученных результатов.

Ключевые слова: система учета, обработка данных, тепловые сети, теплоснабжение, автоматизация, мониторинг, энергопотребление, управление тепловыми режимами, техническая диагностика, анализ данных, энергоэффективность, диспетчеризация, контроль параметров, теплоэнергетика, информационные технологии.

Для цитирования: Мозгунов Д.В. Система учета и обработки данных тепловых сетей // Научный вестник Арктики. 2026. №20. С. 49–57. https://doi.org/10.52978/25421220_2026_20_49–57.

Technical sciences

Original article

DATA ACCOUNTING AND PROCESSING SYSTEM FOR HEAT NETWORKS

Daniil V. Mozgunov

Fedorovsky Polar State University, Norilsk, Russia

E-mail: mozgunovdv@norvuz.ru

Abstract. The article examines a comprehensive data accounting and processing system for heat networks designed to optimize monitoring and heat supply management processes. The system architecture is presented, including modules for data collection, storage, and analysis of heat network operation. Special attention is paid to information processing algorithms and methods for visualizing the obtained results.

Keywords: accounting system, data processing, heat networks, heat supply, automation, monitoring, energy consumption, thermal mode control, technical diagnostics, data analysis, energy efficiency, dispatching, parameter control, thermal power engineering, information technologies.

For citation: Mozgunov D.V. Data accounting and processing system for heat networks. *Scientific Bulletin of the Arctic*. 2026;(20):49–57. (In Russ.). https://doi.org/10.52978/25421220_2026_20_49–57.

Введение. Ввиду суровых климатических условий Норильского промышленного района, потребление тепловой энергии здесь примерно на 30% выше, чем на территории Российской Федерации, где более мягкая климатическая обстановка.

Основная причина заключается в плохом регулировании и управлении системами отопления внутри зданий [1–3]. Последнее часто приводит к перегреву помещения, после чего проблему решают

путём открытия окон (дополнительной, бытовой вентиляцией).

Более того, плата за отопление взимается на основе площади здания, а не фактического потребления энергии, поэтому затраты на отопление одинаковы для зданий с идентичными площадями. Таким образом, у владельцев жилья нет финансового стимула инвестировать в изоляцию зданий или другие меры энергосбережения [4; 5].

Существует три аспекта, которые приводят к плохому регулированию системы отопления:

- 1) отсутствие эффективных устройств регулирования и контроля;
- 2) сложное и неудобное управление устройствами;
- 3) отсутствие мотивации у собственников квартир к изменениям из-за текущего способа взимания платы за энергопотребление.

Неэффективное регулирование системы управления составляет от 15% до 40% фактических теплопотерь в зданиях.

Ключевые меры, необходимые для решения этих проблем:

1. Наличие эффективных систем контроля внутренней температуры.
2. Установка приемлемых и разумных систем учёта тепла.

В настоящее время в Европейской части устройства регулирования комнатной температуры в основном используются для установки термостатических клапанов на радиаторах [6; 7]. При применении в городе Норильск это имеет некоторые недостатки:

1. Системы внутреннего отопления в Европейской части – это в основном двухтрубные параллельные системы, в то время как в Норильске преимущественно используются однотрубные последовательные системы (т.е. все трубы, обслуживающие радиатор каждой отдельной комнаты в квартире, соединены без байпасов; вода поступает в радиатор первой комнаты и проходит через каждую комнату, прежде чем покинуть квартиру). Если клапаны должны быть установлены на каждом радиаторе, изменение внутренней трубопроводной сети будет очень сложным.

2. Для обеспечения эффективной работы термостатического клапана при контроле температуры необходимо выполнить два условия. Во-первых, необходим эффективный контроль внешней сети.

В условиях серьезного внешнего гидравлического дисбаланса клапан не может работать нормально. Большие перепады давления приведут к высокочастотным движениям клапана и даже могут создавать шум [8–10]. Если перепад дав-

ления слишком мал, клапан будет постоянно открыт, и требования к температуре помещения не могут быть обеспечены.

Во-вторых, необходимо обеспечить надежную систему контроля температуры подачи воды. Исследования показали, что регулирующий эффект клапана сильно зависит от температуры подачи воды [11; 12]. Однако внедрение этих систем в централизованном теплоснабжении, затруднено по следующим причинам:

1. Чем меньше водяной канал термостатического клапана, тем легче он засоряется в процессе регулирования, а низкое качество воды усугубляет ситуацию.

2. Из соображений экономической эффективности застройщики и теплоснабжающие компании часто упрощают внутренние системы, включая использование простых однотрубных систем, без установки клапанов регулирования температуры (термостатических клапанов), или устанавливают только один термостатический клапан, используя ручные регулировочные клапаны и т.д.

Основная часть. Анализ показывает, что однотрубная система с термостатическим клапаном приводит к нарушениям распределения тепла, а двухтрубная параллельная система с термостатом – к гидравлическому дисбалансу. Оба варианта негативно влияют на эффективность отопления и препятствуют регулированию потребления тепла [13]. Помимо оплаты за площадь отопления, в Европейской части существует два основных варианта учета тепла. Оба основаны на фактическом потреблении: учет на уровне квартиры (домохозяйства, квартирный теплосчетчик) и учет на уровне здания (распределитель тепла). Они являются наиболее распространенными подходами [14].

Потребление тепла каждой квартиры измеряется одним теплосчетчиком и используется для прямого начисления платы на основе договора теплоснабжения [15; 16]. Проблемы применения этой модели в Норильском промышленном районе следующие:

1. Преобладающая городская жилая модель – многоквартирные дома. Поскольку площадь наружных стен для по-

мещений в разных частях одного здания различается, требуемая тепловая энергия сильно варьируется. Например, требуемая тепловая энергия для помещения на верхнем этаже здания в 2–3 раза выше, чем для помещения в средней части здания, поэтому оплата по фактическому потреблению тепла трудно воспринимается владельцами жилья.

2. В некоторых случаях теплопередача между квартирами также оказывает значительное влияние. Длительное отключение отопления в соседней квартире увеличивает потребность в отоплении на 30–50%. По этой причине необходимо устанавливать дополнительные радиаторы и улучшать изоляцию стен между квартирами. Но эти меры, требующие больших затрат ресурсов, совсем не способствуют энергосбережению и даже приводят к их растрате.

3. Апертура расходомера мала, а сопротивление потоку значительно. Длительная эксплуатация может вызвать множество засоров и повреждений, что повлияет на нормальный процесс отопления. Кроме того, используемые калориметры нуждаются в периодической калибровке, а при масштабном использовании возникает множество эксплуатационных трудностей.

Основные причины, по которым эта мера не принимается:

- метод измерения и соответствующего начисления платы кажется справедливым, но на самом деле он несправедлив для домохозяйств, поскольку сильно зависит от расположения квартиры в здании;
- затраты на модернизацию и обслуживание устройств довольно высоки;
- требуется больше управления, обслуживания и ремонта.

Помимо учета потребления тепла всего здания, тепловыделения каждого отдельного радиатора в квартире измеряются с помощью испарительных или электронных устройств [17]. Общая стоимость потребления тепла здания распределяется между отдельными квартирами на основе потребления тепла всего здания и схемы распределения [18]. Таким

образом, предполагается улучшение изоляции здания, и затраты на отопление в каждой квартире снизятся. Это также способствует энергосбережению в здании в целом. Этот метод отличается от индивидуальной регулировки и учета каждого домохозяйства и будет способствовать энергосберегающему поведению пользователей через методы распределения затрат и соответствующее регулирование, чтобы избежать потерь тепла из-за открытия окон и аномально высокой установки температуры в помещении [19; 20].

Существует несколько схем регулировки и распределения тепла по домохозяйствам, которые включают:

1. Испарительный распределитель. Измерительная трубка, оснащенная специальной жидкостью (тетралин), прикрепляется к поверхности радиатора, и соотношение между испарением жидкости и температурой поверхности радиатора калибруется. Затем пропорциональное количество потребления тепла радиатором определяется через испарение.

2. Электронный распределитель тепла. Подобно испарительному распределителю, принцип заключается в одновременном измерении температуры поверхности радиатора и температуры помещения, затем в вычислении рассеивающей способности радиатора по разнице между двумя температурами, что считается основой для определения затрат на отопление.

Преимущества этих двух методов двояки. Во-первых, преобразование системы учета тепла в отопительной системе более удобно, так как исходная вертикальная система не должна быть изменена на горизонтальную [21]. В противном случае могут возникнуть большие погрешности в измерениях. Поскольку было бы предпочтительно, чтобы измерения испарительного распределителя и расчеты затрат на отопление управлялись профессиональной компанией, как инвестиционные затраты, так и плата за управление являются высокими [22].

Электронный распределитель измеряет температуру помещения одновременно с пользователем, что может эффективно препятствовать открытию окон пользовате-

лем. Точность измерений электронного распределителя также выше, чем у испарительного распределителя. Однако цена электронного распределителя выше. Точность электронного распределителя также сильно зависит от качества установки, и он применим только к определенным типам радиаторов [23–25]. С точки зрения области применения ограничения испарительного и электронного распределителей схожи.

Как упоминалось выше, для энергосбережения первым важным вопросом является выбор метода регулирования. Наиболее распространенный метод – регулировка расхода циркулирующей воды путем изменения размера открытия клапана для контроля количества тепла, поступающего в помещение, что затем регулирует температуру помещения. Однако данный метод не используется. Для решения этих проблем в статье предлагается технология беспроводного включения/выключения как регулировки температуры помещения, так и учета тепла [26].

В Норильском промышленном районе системы отопления – независимо от того, используется ли вертикальная или горизонтальная система, в основном: однотрубные последовательные, и с непрерывным регулированием переменного расхода (регулировка расхода циркулирующей воды путем изменения размера открытия клапана для контроля количества тепла, поступающего в помещение) – являются наиболее распространенными методами регулирования температуры на стороне пользователя системы отопления [27].

Однако, как исследования, так и практика показали, что, если радиатор находится в условиях последовательного подключения, изменение только расхода воды приводит к большим различиям в теплоотдаче каждого радиатора, при этом слишком малый расход приведет к более высокой температуре в помещениях в верхних частях потока и более низкой температуре в нижних частях потока, а чрезмерный расход неблагоприятен.

Температура воздуха в шести помещениях однотрубной последовательной системы рассчитана в соответствии с

установившимся режимом при уменьшении расхода с 100% до 50%. При расходе 100% температуры в помещениях равномерны и составляют 20 °С. Когда температура подачи воды не изменяется, а расход уменьшается, температура в помещении 1, расположенном в верхней части этой системы, изменяется лишь незначительно. В соответствии с порядком подключения изменения постепенно увеличиваются. Когда расход снижается до 50%, температура в помещении 1 снижается всего на 0,46 °С, в то время как температура в помещении 5 снижается на 5,1 °С. Это в 11 раз больше изменения в помещении 1. Для однотрубных последовательных систем при непрерывном изменении расхода также изменяется равномерность температуры в разных помещениях [28; 29]. Температура в помещении регулируется путем изменения температуры подачи воды, что трудно реализовать в реальной системе.

Поскольку непрерывная регулировка потока не может контролировать температуру в помещениях, может ли двухпозиционное регулирование решить проблему регулирования температуры в однотрубной последовательной системе? При подключении вся система работает с высоким расходом, чтобы обеспечить равномерность теплоотдачи от радиатора. Все температуры в помещениях контролируются путем изменения времени, используемого для отопления. Существует распространенный метод двухпозиционного управления на основе отклонений температуры в помещении в системе кондиционирования воздуха (двухпозиционное управление). В контроллере устанавливается отклонение от заданной точки. Когда температура выше, чем «заданная точка + отклонение», клапан закрывается и отопление прекращается. Когда температура ниже, чем «заданная точка – отклонение» клапан открывается, и отопление запускается. Если этот метод применяется непосредственно к радиаторной системе отопления, регулировка легко отстает, а точное управление температурой помещения оказывается слишком

низким из-за огромной тепловой инерции здания.

На ранних этапах внедрения теоретическое сравнение характеристик существующих схем регулирования температуры помещения показывает, что как непрерывная регулировка потока, так и двухпозиционное управление не могут соответствовать техническим требованиям. В соответствии с разницей между фактической температурой помещения и заданной точкой, коэффициент открытия клапана в одном цикле (время открытия клапана за цикл управления) может быть рассчитан с помощью интеллектуального алгоритма. Управление открытием и закрытием клапана в соответствии с коэффициентом открытия является последней процедурой этого метода интеллектуального двухпозиционного регулирования.

В условиях последовательного подключения радиаторов, по сравнению с непрерывной регулировкой переменного расхода, интеллектуальное двухпозиционное регулирование позволяет равномерно изменять теплоотдачу каждого радиатора в каждом бытовом блоке с помощью подхода «включено/выключено». Это эффективно позволяет избежать явления больших различий в температурах помещений при небольшом расходе. При условии, что мощность каждого радиатора разумна, помещения могут равномерно нагреваться при различных нагрузках.

Что касается двухпозиционного управления, регулировка легко отстает, а точное управление температурой помещения низкое из-за высокой тепловой инерции зданий. Неправильно установленные датчики или прерывание работы могут привести к частым перемещениям клапана, поэтому двухпозиционное управление в некоторой степени ограничено в практическом инженерном применении. По сравнению с другими интеллектуальными способами двухпозиционного регулирования, такое управление основано на отклонении и включает функцию интеллектуального прогнозирования. При условии правильного алгоритма регулирования оно может эффективно избежать отставания регулировки и низкой

точности управления. В то же время клапан перемещается не более одного раза за цикл управления, что предотвращает его частое движение.

Хотя интеллектуальный метод двухпозиционного регулирования имеет множество теоретических преимуществ, его основная технология – это внутренний интеллектуальный алгоритм управления. Чтобы разработать разумный интеллектуальный алгоритм регулирования, обеспечивающий точность температурного контроля и адаптивность алгоритма, в ходе исследования были созданы модели, включающие конструкционную и радиаторную динамическую теплопередачу, для имитации эффекта управления температурой помещения с различными алгоритмами. Затем выбирается алгоритм с высокой точностью управления (результаты моделирования температуры помещения контролируются с точностью $\pm 0,5$ °C), стабильностью и надежностью.

Результат моделирования температуры помещения при условиях цикла кондиционирования 30 мин. (клапан перемещается не более одного раза за 30 мин.), постоянной температуры воды 60 °C и использования двухпозиционного управления показывает, что температура помещения контролируется в пределах отклонения $\pm 0,5$ °C от заданной точки (заданная точка – 18 °C) в течение одной недели, при этом совокупный коэффициент открытия клапана за неделю (время открытия клапана по отношению к общему времени, в течение которого теплосчетчики производят измерения на тепловом входе) составляет 0,15.

Благодаря всем этим усилиям решены проблемы регулирования температуры помещения в последовательной системе, что создает реальную основу для развития как способности пользователей использовать двухпозиционное регулирование, так и метода распределения тепла по домохозяйствам. На основе этих результатов была предложена система «беспроводного двухпозиционного управления» для регулировки и учета тепла в домохозяйствах.

Эта технология работает следующим образом:

1. Калориметр устанавливается в каждом здании для измерения общего потребления тепла всего здания.

2. Двухпозиционные клапаны устанавливаются на тепловом входе каждого домохозяйства, и для пользователей предоставляется контроллер комнатной температуры.

Процедура работы следующая:

1. Пользователи устанавливают желаемую температуру помещения через контроллер комнатной температуры, и беспроводные сигналы отправляются на двухпозиционный клапан.

2. Двухпозиционный клапан определяет реальную температуру помещения и вычисляет разницу между реальной температурой и заданной точкой.

3. Затем клапан рассчитывает пропорцию времени включения к времени выключения на следующем этапе в соответствии с тепловыми стратегиями, запрограммированными в CPU клапана.

4. Далее клапан управляется в соответствии с пропорциональным количеством, необходимым для поддержания желаемой температуры помещения.

5. Стоимость отопления для каждого домохозяйства может быть распределена в соответствии с его отопляемой площадью и накопленным временем открытия клапана.

Заключение. Предложена система «беспроводного двухпозиционного управления» для регулировки и учета тепла в домохозяйствах. В этой технологии желаемая температура в помещении поддерживается с помощью двухпозиционного клапана, установленного на тепловом входе каждого домохозяйства и управляемого по циклу работы, который управляется в соответствии с тепловыми стратегиями, запрограммированными в CPU клапана. Расходы на отопление распре-

деляются в соответствии с отопляемой площадью каждого домохозяйства с учетом накопленного времени открытия их клапанов.

Таким образом, технология побуждает домохозяйства улучшать теплотехнические характеристики ограждающих конструкций здания для большей эффективности и предотвращает открытие окон пользователями и установку более высоких температур в помещениях. Более того, могут быть решены различные проблемы, универсально существующие в системах учета тепла, такие как повышенная потеря тепла в помещениях из-за большого количества наружных стен, теплопередача между соседними помещениями и так далее. Таким образом, эта методика может быть более приемлемой для пользователей [30; 31].

Измерения температуры в типичных помещениях показывают, что температура помещения может поддерживаться в пределах $\pm 0,5$ °C от заданного значения, что доказывает эффективность системы управления. Другое тестирование температур в разных помещениях одной квартиры показывает, что разница температур в разных помещениях составляет менее 1 °C, следовательно, при правильном проектировании радиаторов в каждом помещении контроль температуры в одном помещении может удовлетворить требования всех пользователей квартиры.

Потребление энергии у контролируемых пользователей более чем на 30% ниже, чем у неконтролируемых пользователей в том же месте. Потребление энергии в контролируемом здании на 18,6% ниже, чем в неконтролируемом здании, при этом только 30% пользователей в контролируемом здании находились под длительным регулированием и контролем. Экономия энергии значительна.

Список источников

1. 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. Rostovon-Don, 2020. P. 02015.

2. 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.

3. Лапшин И.П., Петров А.М. Система воздушного отопления животноводческого помещения на базе воздушной теплонасосной установки // Вестник Государственного аграрного университета Северного Зауралья. 2013. №4(23). С. 69–74.

4. 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.

5. 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.

6. Разработка аналитических подходов к вопросам повышения бизнес-эффективности корпоративных и производственных процессов / Бодрякова Л.Н., Беляев И.С., Долженко Е.Н., Кирсанова Е.А. // Дизайн и технологии. 2023. №93(135). С. 76–83.

7. Разработка структуры базы данных информационной системы автоматизации подготовительно-раскройного этапа скорняжного производства / Кирсанова Е.А., Бодрякова Л.Н., Беляев И.С. [и др.] // Дизайн и технологии. 2022. №90(132). С. 25–33.

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

9. 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.

10. Кочетков М.В. Проблемы интеграции искусственного интеллекта в образование // Информация и образование: границы коммуникаций. 2025. №17(25). С. 31–35.

11. Кочетков М.В. Антропоэкологический универсальный принцип устойчивого развития общества в условиях нарастающих антропоинноваций // Педагогическое образование в России. 2024. №3. С. 66–76.

12. Кочетков М.В., Каюмов Д.А. Особенности совершенствования технологических процессов на примере автоматизированно-

го управления опрокидывателем шахтных вагонеток // Культура. Наука. Производство. 2024. №14. С. 5–12.

13. Кочетков М.В., Смолянинова О.Г. Антропоэкологичность устойчивого развития и интеллигентность как адекватный отклик высшего образования // Журнал Сибирского федерального университета. Серия: Гуманитарные науки. 2022. Т. 15, №9. С. 1269–1278.

14. Авдеева Е.А., Кочетков М.В. Человекоориентированный смысловой дискурс в теории и практике образования // Философия образования. 2022. Т. 22, №1. С. 87–102.

15. 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.

16. Кочетков М.В. Инновации в образовании. Как отделить зёрна от плевел? // Высшее образование в России. 2020. Т. 29, №11. С. 153–166.

17. Kochetkov M.V., Kovalevich I.A. Specific Features of Educational and Pedagogical Discourse in the Context of Anthropological Challenges: Socio-Cultural Approach // Journal of Siberian Federal University. Humanities and Social Sciences. 2020. Vol. 13, No. 2. P. 268–277.

18. Computer visualization of optimality criterion's weighting coefficients of electromechanical system / Kurochkin N.S., Kochetkov V.P., Kolovsky A.V. [et al.] // Advances in Intelligent Systems and Computing. 2020. Vol. 1226. P. 201–209.

19. Кочетков М.В., Носков М.Ф. Критерии педагогической инновации на примере технологии «перевёрнутый класс» в инженерном образовании // Science for Education Today. 2019. Т. 9, №3. С. 185–199.

20. Kochetkov M.V., Avdeeva E.A. Humanitarian «Reversin» 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.

21. Кочетков М.В., Носков М.Ф. Критерии педагогической инновации на примере технологии «перевёрнутый класс» в инженерном образовании // Science for Education Today. 2019. Т. 9, № 3. С. 185–199.

22. Kochetkov M.V., Chebotareva E.M. Creative and Innovative Educational Paradigm and Acmeological Approach to the Development of a Student as a Subject of Pro-

fessional Activity // Journal of Siberian Federal University. Humanities and Social Sciences. 2017. Vol. 10, No. 2. P. 177–188.

23. Кочетков М.В. Целостное профессиональное саморазвитие преподавателя в сотворческой педагогической деятельности: монография. Красноярск, 2013. 289 с.

24. Кочетков М.В. Методологические идеи синергетики применительно к проблеме развития и саморазвития педагога и обучающегося // Alma Mater (Вестник высшей школы). 2013. №6. С. 31–37.

25. Кочетков М.В. Теоретико-методологические основания и организационно-педагогические условия развития творческой личности преподавателя и студента: монография. М., 2004. 264 с.

26. Кочетков М.В., Панфилов В.А. Устаивающее электрическое оборудование в условиях Крайнего Севера при выборе стратегий развития и обслуживания технологических процессов // Научный вестник Арктики. 2024. №16. С. 44–55.

27. 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.

28. Кочетков М.В., Носов Б.А. Интеллектуальные и схмотехнические возможности автоматизации как концептуальное основание совершенствования городской системы освещения // Научный вестник Арктики. 2023. №14. С. 2–32.

29. 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.

30. Кочетков М.В. Ветроэлектростанция для Норильского промышленного района – за и против // Культура. Наука. Производство. 2020. №5. С. 85–89.

31. Кочетков М.В. Специальная техника органов внутренних дел. Саратов: Вузовское образование, 2015. 96 с.

References

1. 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. Rostov-on-Don, 2020. P. 02015.

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

3. Lapshin, I.P., Petrov A.M. Air heating system for livestock premises based on an air heat pump unit // *Bulletin of the State Agrarian University of Northern Trans-Urals*. 2013;4(23):69–74. (In Russ.).

4. Petrov A.M., Popov A.N. Development of an intelligent decision support system for assessing the state of heat supply system objects // *Automation and Informatization of Fuel and Energy Complex*. 2023;6(599):15–21. (In Russ.).

5. Belyaev, I.S. Personnel potential growth as a factor in increasing the efficiency of construction organizations in the Arctic Zone of the Russian Federation // State. Business. Society. Digital Environment: Trajectory of Interaction from Theory to Practice:

collection of scientific articles based on the results of the international scientific and practical conference. SPb., 2021. P. 8–10.

6. Development of analytical approaches to improving business efficiency of corporate and production processes / Bodryakova L.N., Belyaev I.S., Dolzhenko E.N., Kirsanova E.A. // *Design and Technologies*. 2023;93(135):76–83. (In Russ.).

7. Development of a database structure for an information system automating the preparation and cutting stage of fur production / Kirsanova E.A., Bodryakova L.N., Belyaev I.S. [et al.] // *Design and Technologies*. 2022;90(132):25–33. (In Russ.).

8. Digitalization and sustainable development: transformation of regional economies in Russia in the context of global environmental challenges and technological progress / Belyaev I.S., Dolzhenko E.N., Bodryakova L.N. [et al.] // *Design and Technologies*. 2023;96(138):99–105. (In Russ.).

9. Kochetkov M.V. Concept of monitoring technogenic threats and citizen satisfaction based on blockchain technology (case study of the Norilsk industrial region) // *Culture. Science. Production*. 2025;(16):13–23. (In Russ.).

10. Kochetkov M.V. Problems of integrating artificial intelligence into education // *Information and Education: Borders of Communications*. 2025;17(25):31–35. (In Russ.).
11. Kochetkov M.V. Anthropoecological universal principle of sustainable development of society under conditions of increasing anthropo-innovations // *Pedagogical Education in Russia*. 2024;(3):66–76. (In Russ.).
12. Kochetkov M.V., Kayumov D.A. Features of improving technological processes on the example of automated control of mine trolley tippler // *Culture. Science. Production*. 2024;(14):5–12. (In Russ.).
13. Kochetkov M.V., Smolyaninova O.G. Anthropoecological sustainability and intelligence as an adequate response of higher education // *Journal of Siberian Federal University. Series: Humanities*. 2022;15(9):1269–1278. (In Russ.).
14. Avdeeva E.A., Kochetkov M.V. Human-centered semantic discourse in theory and practice of education // *Philosophy of Education*. 2022;22(1):87–102. (In Russ.).
15. Kochetkov M.V., Avdeeva E.A. Humanitarian reversing higher education in the Russian Federation in light of transhumanist challenges // *The Philosophical Forum*. 2021; 52(2):103–114. (In Russ.).
16. Kochetkov M.V. Innovation in education. How to separate the wheat from the chaff? // *Higher Education in Russia*. 2020;29(11):153–166. (In Russ.).
17. Kochetkov M.V., Kovalevich I.A. Specific Features of Educational and Pedagogical Discourse in the Context of Anthropological Challenges: Socio-Cultural Approach // *Journal of Siberian Federal University. Humanities and Social Sciences*. 2020;13(2):268–277. (In Russ.).
18. Computer visualization of optimality criterion's weighting coefficients of electromechanical system / Kurochkin N.S., Kochetkov V.P., Kolovsky A.V. [et al.] // *Advances in Intelligent Systems and Computing*. 2020; (1226):201–209. (In Russ.).
19. Kochetkov M.V., Noskov M.F. Criteria of pedagogical innovation on the example of «flipped classroom» technology in engineering education // *Science for Education Today*. 2019;9(3):185–199. (In Russ.).
20. Kochetkov M.V., Avdeeva E.A. Humanitarian «Reversing» in the education development in the Russian Federation under the conditions of transhumanistic challenges in the era of globalisation // *International Journal of Criminology and Sociology*. 2020; (9):2813–2824. (In Russ.).
21. Kochetkov M.V., Noskov M.F. Criteria of pedagogical innovation on the example of «flipped classroom» technology in engineering education // *Science for Education Today*. 2019;9(3):185–199. (In Russ.).
22. 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;10(2):177–188. (In Russ.).
23. Kochetkov M.V. Holistic professional self-development of a teacher in co-creative pedagogical activity: monograph. Krasnoyarsk, 2013. 289 p.
24. Kochetkov M.V. Methodological ideas of synergetics in relation to the problem of development and self-development of a teacher and student // *Alma Mater (Higher School Herald)*. 2013;(6):31–37. (In Russ.).
25. Kochetkov M.V. Theoretical and methodological foundations and organizational-pedagogical conditions for the development of a creative personality of a teacher and student: monograph. M., 2004. 264 p.
26. Kochetkov M.V., Panfilov V.A. Obsolete electrical equipment in the Far North when choosing development and maintenance strategies for technological processes // *Scientific Herald of the Arctic*. 2024;(16):44–55. (In Russ.).
27. 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 region // *Culture. Science. Production*. 2024; (14):19–31. (In Russ.).
28. Kochetkov M.V., Nosov B.A. Intelligent and circuit-technical capabilities of automation as a conceptual basis for improving the urban lighting system // *Scientific Herald of the Arctic*. 2023;(14):21. (In Russ.).
29. Kochetkov M.V., Kazakov M.I., Lisichenko P.E. Production and technological and socio-economic features of solving the problem of solid household waste disposal in the Norilsk industrial // *Scientific Herald of the Arctic*. 2021;(11):23–35. (In Russ.).
30. Kochetkov M. V. Wind power plant for the Norilsk industrial region – pros and cons // *Culture. Science. Production*. 2020;(5):85–89. (In Russ.).
31. Kochetkov M.V. Special equipment of internal affairs bodies. Saratov, 2015. 96 p.

Научный вестник Арктики. 2026. №20. С. 58–62.
Scientific Bulletin of the Arctic. 2026;(20): 58–62.

Естественно-научные дисциплины

Научная статья
УДК 336.763:311.16
doi: 10.52978/25421220_2026_209_58–62

**ОПТИМИЗАЦИЯ ПОРТФЕЛЯ ДВУХ ЦЕННЫХ БУМАГ.
КОЭФФИЦИЕНТ КОРРЕЛЯЦИИ СЛУЧАЙНЫХ ВЕЛИЧИН**

Лушникова Галина Анатольевна

Московский государственный технический университет гражданской авиации, Москва, Россия

E-mail: lulev55@yandex.ru

Дементьев Юрий Игоревич

Московский государственный технический университет гражданской авиации, Москва, Россия

E-mail: ju.dementev@mstuca.ru

Аннотация. Представлено исследование современных моделей финансовых операций, оптимизация портфеля ценных бумаг, актуальные примеры, принятие решений с учётом величины ожидаемого дохода, предполагает владение финансовой математикой и вероятностными методами.

Ключевые слова: финансовая операция, величина доходов от портфеля ценных бумаг, коэффициент корреляции случайные величины, диверсификация.

Для цитирования: Лушникова Г.А., Дементьев Ю.И. Оптимизация портфеля двух ценных бумаг. Коэффициент корреляции случайных величин // Научный вестник Арктики. 2026. №20. С. 58–62. https://doi.org/10.52978/25421220_2026_20_58–62.

Natural sciences

Original article

**OPTIMIZATION OF THE PORTFOLIO OF TWO SECURITIES.
CORRELATION COEFFICIENT OF RANDOM VARIABLES**

Galina A. Lushnikova

Moscow State Technical University of Civil Aviation, Moscow, Russia

E-mail: lulev55@yandex.ru

Yuri I. Dementyev

Moscow State Technical University of Civil Aviation, Moscow, Russia

E-mail: ju.dementev@mstuca.ru

Abstract. Research of modern models of financial transactions, optimization of a portfolio of securities, relevant examples, decision-making taking into account the value of the expected income, assumes possession of financial mathematics and probabilistic methods.

Keywords: financial transaction; the value of income from a portfolio of securities, the correlation coefficient of random variables, diversification.

For citation: Lushnikova G.A., Dementyev Y.I. Optimization of the portfolio of two securities. Correlation coefficient of random variables. *Scientific Bulletin of the Arctic*. 2026;(20):58–62. (In Russ.). https://doi.org/10.52978/25421220_2026_20_58–62.

Рассмотрим следующую задачу. Предположим, что на рынке имеются два типа ценных бумаг, а у нас имеется некоторая

сумма (например, 1000 руб.), которую хотели бы вложить в эти бумаги.

Пусть ожидаемый годовой доход от бумаги первого типа составляет 10 руб., от бумаги второго типа – 20 руб. При построении математической модели не будем вдаваться в финансовый смысл операции, к примеру, можно продать бумаги через год, в этом случае доходом будет разница между ценой продажи и ценой покупки. Ясно, что в первую очередь важны цены, по которым эти бумаги продаются на рынке, предположим, что они одинаковы и составляют 125 руб. Кажется, в таком случае нужно просто купить 8 бумаг второго типа. Однако понятно, что при принятии решения необходимо учитывать не только величину ожидаемого дохода – математическое ожидание соответствующей случайной величины, но также рискованность данной операции, которая характеризуется дисперсией этой случайной величины.

Итак, имеются две случайные величины ξ_1 и ξ_2 , известно, что

$$M(\xi_1) = 10 \text{ и } M(\xi_2) = 20.$$

Как обычно σ_1 и σ_2 обозначаем среднеквадратичные отклонения случайных величин ξ_1 и ξ_2 , т.е. $\sigma_1^2 = D(\xi_1)$, $\sigma_2^2 = D(\xi_2)$.

Доход от портфеля, в котором находятся n_1 бумаг первого типа и n_2 второго, это значение случайной величины:

$$\xi = n_1 \cdot \xi_1 + n_2 \cdot \xi_2,$$

где n_1, n_2 – неотрицательные целые числа, причем $n_1 + n_2 = 8$ (поскольку цена каждой бумаги составляет 125 руб., то $125n_1 + 125n_2 = 1000$). Ожидаемый доход – это значение математического ожидания величины ξ , поэтому

$$\begin{aligned} M(\xi) &= M(n_1 \cdot \xi_1 + n_2 \cdot \xi_2) = \\ &= n_1 \cdot M(\xi_1) + n_2 \cdot M(\xi_2) = \\ &= 10 \cdot n_1 + 20 \cdot n_2 = 80 + 10 \cdot n_2, \end{aligned}$$

так что значение $M(\xi)$ растет линейно с ростом числа n_2 – количества ценных бумаг второго типа в нашем портфеле. Предположим теперь, что $\sigma_1 = 5$ и $\sigma_2 = 15$, таким образом, более выгодные бумаги

являются более рискованными. Предположим еще, что величины доходов от каждой бумаги никак не связаны друг с другом, на математическом языке это означает, что случайные величины ξ_1 и ξ_2 являются независимыми. Напомним, что если ξ_1 и ξ_2 независимы, то $D(\xi_1 + \xi_2) = D(\xi_1) + D(\xi_2)$, поэтому в нашем случае

$$\begin{aligned} D(\xi) &= D(n_1 \cdot \xi_1 + n_2 \cdot \xi_2) = n_1^2 D(\xi_1) + n_2^2 D(\xi_2) = \\ &= 25 \cdot n_1^2 + 225 \cdot n_2^2 = \\ &= 25((8 - n_2)^2 + 9n_2^2) = 50(5n_2^2 - 8n_2 + 32). \end{aligned}$$

Значение $D(\xi)$ является квадратичной функцией от n_2 , если рассматривать ее как функцию действительного аргумента, то своего наименьшего значения она достигла при $x = \frac{4}{5}$, в нашем случае наименьшее значение получится, если $n_2 = 1$.

В следующей таблице приведены значения $D(\xi)$ и ее среднеквадратичного отклонения σ при некоторых значениях n_2 :

n_2	0	1	2	8
$D(\xi)$	1600	1450	1800	14400
σ	40	38,08	42,43	120

Таким образом, как это ни покажется странным, наименее рискованным является портфель, состоящий из семи бумаг первого типа и одной – второго. Портфель, в котором нет бумаг второго типа, невыгоден как с точки зрения величины ожидаемого дохода, так и его рискованности.

Полученный эффект связан с так называемой диверсификацией, которую в данном случае образно отражает следующая известная народная мудрость: «*Не кладите все яйца в одну корзину*».

Теперь предположим, что между значениями ξ_1 и ξ_2 имеется линейная зависимость $\xi_2 = a \cdot \xi_1 + b$.

В таком случае $D(\xi_2) = a^2 \cdot D(\xi_1)$, или $\sigma_2 = |a| \cdot \sigma_1$, так что в рассматриваемом

примере $|a| = 3$. Найдём соответствующие значения параметра b .

Рассмотрим два случая: $a = -3$ или $a = 3$. Если $a = -3$, то

$$\begin{aligned}\xi &= n_1 \cdot \xi_1 + n_2 \cdot \xi_2 = \\ &= n_1 \cdot \xi_1 - 3n_2 \cdot \xi_1 + n_2 \cdot b =, \\ &= (8 - 4n_2)\xi_1 + n_2 \cdot b\end{aligned}$$

таким образом,

$$D(\xi) = (8 - 4n_2)^2 \sigma_1^2 = 400(n_2 - 2)^2.$$

Из полученной формулы, в частности, следует, что портфель, в котором имеется шесть бумаг первого типа и две – второго, является безрисковым. Какой смысл того, что коэффициент a является отрицательным, возможны ли подобные значения в финансовой реальности? Дело в том, что вполне возможна ситуация, в которой увеличение доходности одних бумаг связано с падением доходности других (и наоборот).

Если $a = 3$, то $\xi = (8 - 4n_2) \cdot \xi_1 + n_2 \cdot b$, откуда $D(\xi) = 100(n_2 + 4)^2$, так что в этом случае увеличение числа бумаг второго типа в портфеле ведет как к росту доходности, так и к увеличению рискованности этого портфеля.

Прежде чем исследовать общую задачу, рассмотрим еще один пример. Предположим, что ценная бумага первого типа является безрисковой, т.е. $D(\xi_1) = 0$. В этом случае случайные величины ξ_1 и ξ_2 заведомо являются независимыми, поэтому

$$\begin{aligned}D(\xi) &= D(n_1 \cdot \xi_1 + n_2 \cdot \xi_2) = n_2^2 D(\xi_2), \\ n &= n_1 + n_2, \quad a = M(\xi) = n_1 \cdot a_1 + n_2 \cdot a_2 \\ &\text{и } \sigma = n_2 \sigma_2.\end{aligned}$$

Далее, $n_2 = \frac{\sigma}{\sigma_2}$, так что

$$n_1 = n - n_2 = n - \frac{\sigma}{\sigma_2}.$$

Поэтому

$$a = \left(n - \frac{\sigma}{\sigma_2} \right) a_1 + \frac{\sigma}{\sigma_2} a_2 = n a_1 + \frac{\sigma}{\sigma_2} (a_2 - a_1),$$

таким образом, имеется линейная зависимость между математическим ожида-

нием доходности портфеля и его средним квадратичным отклонением.

В дальнейшем исследовании потребуется одно определение и одна формула. **Коэффициентом корреляции** случайных величин ξ_1 и ξ_2 называется число

$$\begin{aligned}r &= \frac{M((\xi_1 - M(\xi_1)) \cdot (\xi_2 - M(\xi_2)))}{\sigma_1 \cdot \sigma_2} = \\ &= \frac{M(\xi_1 \cdot \xi_2) - M(\xi_1) \cdot M(\xi_2)}{\sigma_1 \cdot \sigma_2}.\end{aligned}$$

Известно, что $-1 \leq r \leq 1$, причем при $r = \pm 1$ величины ξ_1 и ξ_2 связаны линейной зависимостью, если они независимы, то $r = 0$.

Основная формула:

$$\begin{aligned}D(\xi_1 + \xi_2) &= D(\xi_1) + 2r\sigma_1\sigma_2 + D(\xi_2) = \\ &= \sigma_1^2 + 2r\sigma_1\sigma_2 + \sigma_2^2.\end{aligned}$$

Приведем пример вычисления коэффициента корреляции двух дискретных случайных величин. Предположим, что доход от первой ценной бумаги с равной вероятностью может составить как 5, так и 15 руб. Причем, если он равен 5 руб., то в трех случаях из четырех доход от второй ценной бумаги равен 35 руб., а в одном – 5 руб. Если первая ценная бумага принесла доход, равный 15 руб., то в трех случаях из четырех доход от второй – 5 руб., в одном – 35 руб. Таким образом, в одном из случаев $\xi_1 = 5$ и $\xi_2 = 5$, в трех $\xi_1 = 5$ и $\xi_2 = 35$, еще в трех $\xi_1 = 15$ и $\xi_2 = 5$, в оставшемся случае $\xi_1 = 15$ и $\xi_2 = 35$. Получаем, что доход от второй бумаги может составить с равной вероятностью как 15, так и 35 руб. Теперь переведем полученные данные на математический язык.

Распределения случайных величин ξ_1 и ξ_2 – размера возможного годового дохода от ценных бумаг первого и второго типа – заданы таблицами:

ξ_1	5	15
p_i	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$

ξ_2	15	35
p_i	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$

в которых отсутствует информация об их взаимном поведении.

Из этих таблиц можно найти математические ожидания и дисперсии случайных величин ξ_1 и ξ_2 по формулам:

$$M(\xi_1) = \frac{5+15}{2} = 10, \quad M(\xi_2) = \frac{5+35}{2} = 20,$$

$$\sigma_1 = \frac{15-5}{2} = 5, \quad \sigma_2 = \frac{35-5}{2} = 10.$$

Полные данные содержатся в следующей таблице, определяющей совместное распределение случайных величин ξ_1 и ξ_2 :

ξ_2 / ξ_1	5	15
5	$\frac{1}{8}$	$\frac{3}{8}$
35	$\frac{3}{8}$	$\frac{1}{8}$

Для подсчета коэффициента корреляции необходимо построить распределение произведения $\xi_1 \cdot \xi_2$ данных случайных величин ξ_1 и ξ_2 :

$\xi_1 \cdot \xi_2$	25	75	175	525
p_i	$\frac{1}{8}$	$\frac{3}{8}$	$\frac{3}{8}$	$\frac{1}{8}$

откуда

$$M(\xi_1 \cdot \xi_2) = \frac{25 + 3 \cdot 75 + 3 \cdot 175 + 525}{8} = 162,5,$$

значит,

$$r = \frac{162,5 - 10 \cdot 20}{5 \cdot 15} = -0,5.$$

Пусть P_1, P_2 – стоимость одной ценной бумаги i -го типа. В дальнейшем будет удобнее вместо случайных величин ξ_1 и ξ_2 , определяющих доход от одной ценной бумаги, ввести величины $\eta_1 = \frac{P}{P_1} \xi_1$ и

$\eta_2 = \frac{P}{P_2} \xi_2$, задающие доход от портфеля, состоящего целиком из бумаг каждого типа.

Предположим $t_i = \frac{n_i \cdot P_i}{P}$. Поскольку $n_1 P_1 + n_2 P_2 = P$, то $t_1 + t_2 = 1$. Имеем

$$\xi = n_1 \xi_1 + n_2 \xi_2 = \frac{n_1 P_1}{P} \eta_1 + \frac{n_2 P_2}{P} \eta_2 = t_1 \eta_1 + t_2 \eta_2,$$

где $t_1 + t_2 = 1$.

Теперь обозначим $a_i = M(\eta_i)$ и $\sigma_i^2 = D(\eta_i)$. Заметим также, что коэффициент корреляции случайных величин ξ_1 и ξ_2 совпадает с коэффициентом корреляции величин η_1 и η_2 .

Для определенности будем считать, что $a_1 > a_2$, для краткости предположим $t = t_1$, так что $t_2 = 1 - t$. Имеем,

$$D(\xi) = D(t \cdot \eta_1 + (1-t) \cdot \eta_2) =$$

$$= t^2 \sigma_1^2 + 2 \cdot r \cdot t \cdot (1-t) \cdot \sigma_1 \sigma_2 + (1-t)^2 \sigma_2^2 =$$

$$= (\sigma_1^2 - 2r\sigma_1\sigma_2 + \sigma_2^2) \cdot t^2 - 2\sigma_2(r \cdot \sigma_2 - r\sigma_1)t + \sigma_2^2$$

$$t \in [0; 1].$$

Выражение для дисперсии дохода от портфеля можно переписать в другой форме:

$$D(\xi) = (\sigma_1^2 + \sigma_2^2) t^2 - 2 \cdot \sigma_2^2 \cdot t +$$

$$+ \sigma_2^2 + 2 \cdot \sigma_1 \sigma_2 r \cdot t(1-t).$$

Поскольку $\sigma_1 \cdot \sigma_2 \cdot t(1-t) \geq 0$, то (при фиксированном t) наименьшее значение дисперсии достигается при $r = -1$, наибольшее – при $r = 1$.

При $r = -1$ получаем формулу:

$$D(\xi) = (\sigma_1^2 + \sigma_2^2) t^2 - 2 \cdot \sigma_2 (\sigma_1 + \sigma_2) \cdot t +$$

$$+ \sigma_2^2 = ((\sigma_1 + \sigma_2)t - \sigma_2)^2,$$

из которой следует, что при $t = \frac{\sigma_2}{\sigma_1 + \sigma_2}$

портфель является безрисковым. При этом ожидаемый доход от такого портфеля равен:

$$M(\xi) = t \cdot a_1 + (1-t) a_2 = \frac{\sigma_2 a_1 + \sigma_1 a_2}{\sigma_1 + \sigma_2}.$$

Если $r = 1$, то

$$D(\xi) = (\sigma_1^2 + \sigma_2^2) t^2 + 2 \cdot \sigma_2 (\sigma_1 - \sigma_2) \cdot t + \sigma_2^2 =$$

$$= ((\sigma_1 - \sigma_2)t + \sigma_2)^2.$$

Предположим, что $\sigma_1 > \sigma_2$ (что естественно – более выгодная с точки зрения приносимого дохода ценная бумага должна быть и более рискованной). Из полученной формулы следует, что дисперсия

дохода от портфеля растет вместе с ростом доли, занимаемой в портфеле бумагами первого типа.

Актуальные примеры дают понимание о принятии решений с учётом величины

ожидаемого дохода, предполагают владение финансовой математикой и вероятностными методами.

Список источников

1. Малыхин В.И. Финансовая математика. М.: Юнити, 2003. 238 с.
2. Иванов О.А., Лушникова Г.А. Экономика и математики, моделирование и программирование, или интегративный курс финансовых вычислений. Образовательные технологии. Вып. 2. Воронеж: Научная книга, 2005. С. 50–55.
3. Илларионова О.Г., Лушникова Г.А. Консолидация платежей и общая задача изменения условий контрактов. Материалы Международной (заочной) научно-практической конференции под общей ре-

дакцией А.И. Вострецова «Проблемы и перспективы развития науки и образования в XXI веке (Problems and prospects of development of science and education in the XXI century)». 2023. С. 36–43.

4. Люу Ю-Д. Методы и алгоритмы финансовой математики; пер. с англ. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2007. 751 с

5. Цырульник Р.П., Клевцова Н.В., Лушникова Г.А. Финансовая математика: учебное пособие / Норильский индустриальный институт. Норильск, 2012. 80 с.

References

1. Malykhin V.I. Financial Mathematics. Moscow: Unity, 2003. 238 p.
2. Ivanov O.A., Lushnikova G.A. Economics and mathematics, modeling and programming, or an integrative course in financial computing. Educational technologies. Issue 2. Voronezh: Scientific Book, 2005. Pp. 50–55.
3. Illarionova O.G., Lushnikova G.A. Consolidation of payments and the general task of changing the terms of contracts. Proceedings of the International (correspondence) scientific and practical Conference under the

general editorship of A.I. Vostretsov «Problems and prospects of the development of science and education in the 21st century». 2023. Pp. 36–43.

4. Lu Yu-D. Methods and algorithms of financial mathematics; translated from English by M.: BINOM. Laboratory of Knowledge, 2007. 751 p.

5. Tsyrulnik R.P., Klevtsova N.V., Lushnikova G.A. Financial mathematics: a textbook / Norilsk Industrial Institute. Norilsk, 2012. 80 p.

Научный вестник Арктики. 2026. №20. С. 63–69.
Scientific Bulletin of the Arctic. 2026;(20): 63–69.

Естественно-научные дисциплины

Научная статья

УДК 519.2

doi: 10.52978/25421220_2026_209_63–69

ПАРАМЕТРИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ФУНКЦИИ ИНТЕНСИВНОСТИ
МАРКИРОВАННОГО ПУАССОНОВСКОГО ПОЛЯ

Боровицкая Анна Олеговна

Московский государственный технический университет гражданской авиации, Москва, Россия

E-mail: aostep77@mail.ru

Аннотация. Рассматривается маркированное пуассоновское поле с неизвестной функцией интенсивности. По наблюдениям поля на расширяющейся последовательности областей построена оценка максимального правдоподобия функции интенсивности. Изучены достаточные условия состоятельности и асимптотической нормальности параметрической оценки функции интенсивности маркированного пуассоновского поля для частного случая, когда «метка» принадлежит сепарабельному действительному бесконечномерному гильбертову пространству.

Ключевые слова: маркированное пуассоновское поле, функция интенсивности, параметрическая оценка параметров, оценка максимального правдоподобия, состоятельность оценки, асимптотическая нормальность оценки, гильбертово пространство.

Для цитирования: Боровицкая А.О. Параметрическая оценка функции интенсивности маркированного пуассоновского поля // Научный вестник Арктики. 2026. №20. С. 63–69. https://doi.org/10.52978/25421220_2026_20_63–69.

Natural sciences

Original article

PARAMETRIC ESTIMATION OF THE INTENSITY FUNCTION
OF A MARKED POISSON FIELD

Anna O. Borovitskaya

Moscow State Technical University of Civil Aviation, Moscow, Russia

E-mail: aostep77@mail.ru

Abstract. This paper considers a marked Poisson field with an unknown intensity function. A maximum likelihood estimator for the intensity function is constructed based on observations of the field over an expanding sequence of regions. Sufficient conditions for the consistency and asymptotic normality of the parametric estimator of the intensity function of a marked Poisson field are studied for the special case where the «mark» belongs to a separable real infinite-dimensional Hilbert space.

Keywords: marked Poisson field, intensity function, parametric estimation of parameters, maximum likelihood estimator, consistency of an estimator, asymptotic normality of an estimator, Hilbert space.

For citation: Borovitskaya A.O. Parametric estimation of the intensity function of a marked poisson field. *Scientific Bulletin of the Arctic*. 2026;(20):63–69. (In Russ.). https://doi.org/10.52978/25421220_2026_20_63–69.

Введение. Интерес к вопросу оценивания параметров пуассоновских процессов и полей обусловлен их многочисленными приложениями в теории обработки сигналов, теории кодирования, а также в геофизике, оптике, биостатистике, метеорологии, геологии, экологии. В книге Кутоянца [1] представлены обобщения результатов по параметрическим и непараметрическим оценкам, построенным по наблюдениям пуассоновских процессов. Данные с пространственной привязкой

рологии, геологии, экологии. В книге Кутоянца [1] представлены обобщения результатов по параметрическим и непараметрическим оценкам, построенным по наблюдениям пуассоновских процессов. Данные с пространственной привязкой

часто используют в экологии, лесоведении, геологии и других науках о Земле. Примерами таких данных являются местоположения отдельных деревьев в лесном массиве, координаты птичьих звезд, координаты вспышек заболеваний, эпицентров землетрясений, кратеров вулканов, гейзеров, местоположения археологических находок, места образования пробок на дорогах и т.д. **Пуассоновское поле** (или пуассоновское случайное распределение точек) – это модель случайного расположения точек в пространстве, где число точек в любой области подчиняется распределению Пуассона. Ключевые свойства: среднее число точек пропорционально объему/площади, а количество точек в непересекающихся областях статистически независимо. Функция интенсивности: неотрицательная функция $\lambda(t)$ (где t – точка времени), определяющая локальную среднюю плотность случайных точек (событий) в данный момент времени. Она характеризует среднее число событий в малой окрестности точки и определяет вероятность попадания точек в заданную область.

В связи с развитием теории оценивания параметров все больший интерес представляют оценки параметров точечных полей. Теория точечных полей, в частности полей Пуассона, описана, например, в книге Стояна [2], также в работах Daley and Vere-Jones, Ripley, Brillinger, Kallenberg, Kingman, Reiss. Авторы Хелмерс, Зитикис, Mangku, Bebbington рассматривали оценку максимального правдоподобия периодической функции интенсивности пуассоновского поля [4]. Хелмерсом и Зитикисом рассматривались непараметрические оценки для функции интенсивности пуассоновского поля, при этом оценивалась функция интенсивности в фиксированной точке [5]. Параметрической оценке функции интенсивности пуассоновских процессов и полей посвящено много работ, например, Lewis, Cox, Isham, Vere – Jones, Ozaki, Diggle, Karr, Ogata, Katsura, Cressie, Ripley, Zheng, Кутоянц и Линьков.

В статье рассмотрена задача оценивания функции интенсивности маркиро-

ванного пуассоновского поля в параметрической постановке. Маркированное пуассоновское поле естественно возникает, например, при наблюдении за астрономическими объектами, которые можно интерпретировать как дискретно распределенные точки в пространстве R^3 . От каждого объекта поступает сигнал, который задается функцией из функционального пространства H . Можно сказать, что наблюдаемое местоположение объекта, вместе с сигналом от него, является точкой маркированного пуассоновского поля. Также возможны применения полученных результатов в экологии.

Модель наблюдений. Пусть H – сепарабельное действительное бесконечномерное гильбертово пространство. Следуя [3, с. 46], определим маркированное пуассоновское поле для частного случая, когда «метка» принадлежит H .

Определение 1. Точечной мерой на борелевском множестве $A \subset R^m \times H$ назовем меру μ на борелевской σ – алгебре $\mathcal{B}(A)$, которая имеет представление

$$\mu = \sum_{i \geq 1} \delta_{x_i, h_i},$$

где $\{(x_i, h_i), i \geq 1\}$ – конечное или счетное множество точек в A ; δ_{xh} – мера Дирака, заданная на $\mathcal{B}(A)$ и сосредоточенная в точке (x, h) . Пространство всех таких точечных мер обозначим через $M(A)$.

Пусть $(\Omega, \mathfrak{I}, P)$ – полное вероятностное пространство. В дальнейшем все случайные процессы и поля считаются заданными на этом пространстве. В пространстве $M(A)$ рассматривается σ – алгебра $S(A)$ – наименьшая σ – алгебра, относительно которой все отображения $M(A) \ni \mu \mapsto \mu(B)$ измеримы, где B – любое борелевское подмножество A .

Определение 2. Точечным процессом на A назовем $\mathfrak{I}$ – $S(A)$ – измеримое отображение $N: \Omega \rightarrow M(A)$.

Таким образом, для каждого $\omega \in \Omega$, $N(\omega)$ является случайной точечной мерой. Значение этой меры на $B \in \mathcal{B}(A)$ обозначим через $N(B) = N(B, \omega)$.

Определение 3. Пусть ν является σ -конечной мерой на $\mathcal{B}(A)$, где $A \subset R^m \times H$. Точечный процесс $N: \Omega \rightarrow M(A)$ называется (неоднородным) маркированным пуассоновским полем с мерой интенсивности ν , если:

- для любого $B \in \mathcal{B}(A)$ с $\nu(B) < \infty$, значение $N(B)$ имеет пуассоновское распределение с параметром $\nu(B)$, т.е.

$$P_{\nu(B)}(k) := P\{N(B) = k\} = \frac{\nu^k(B)}{k!} e^{-\nu(B)},$$

$$k \in N \cup \{0\};$$

- для любого набора $B_1, \dots, B_k$ борелевских подмножеств A , которые попарно не пересекаются, значения $N(B_1), \dots, N(B_k)$ являются независимыми случайными величинами.

Отметим, что существование пуассоновского поля доказано в монографии Kallenberg [7].

Определение 4. Если мера интенсивности ν пуассоновского поля абсолютно непрерывна относительно меры Лебега μ_m (здесь мера Лебега сужена на $\mathcal{B}(A)$), то производная Радона–Никодима $d\nu/d\mu_m$ называется функцией интенсивности пуассоновского поля.

Предположим, что наблюдаем точки неоднородного маркированного пуассоновского поля $N(\cdot)$, заданного на возрастающих множествах $G_k \times H_0, k \geq 1$, здесь H_0 – борелевское множество в H , G_k – ограниченное множество в R^m с $\text{mes} G_k > 0$.

Положим, что множество H_0 имеет хотя бы одну внутреннюю точку, $\{G_k, k \geq 1\}$ – возрастающая последовательность ограниченных борелевских множеств, причем $G := \bigcup_{k=1}^{\infty} G_k$ имеет бесконечную меру Лебега.

Построение параметрической оценки. Пусть вид функции интенсивности известен, а сама функция зависит от некоторого неизвестного векторного параметра. Построим параметрическую оценку функции интенсивности неоднородного маркированного пуассоновского поля.

Введем следующие условия:

- (i): $N(\cdot)$ – маркированное пуассоновское случайное поле с неизвестной мерой интенсивности вида:

$$\tilde{\lambda}(t, \beta_0) dt \times dg(x), \quad t \in R^m,$$

$$\beta_0 \in \Theta_\beta \subset R^l, \quad x \in H,$$

где Θ_β – компактное множество в R^l ; β_0 – неизвестный параметр; предположим, что функция $\tilde{\lambda}(\cdot, \cdot)$ известна, g – мера на $\mathcal{B}(H)$, характеристика интенсивности $\tilde{\lambda}: R^m \times \Theta_\beta \rightarrow R$, а мера интенсивности задана на $\sigma(\mathcal{B}(R^m) \times \mathcal{B}(H))$;

- (ii): для фиксированных положительных чисел $\tau_1, \dots, \tau_m$

$$\tilde{\lambda}(t_1 + n_1 \tau_1, \dots, t_m + n_m \tau_m, \beta_0) = \tilde{\lambda}(t_1, \dots, t_m, \beta_0),$$

$$\forall t_1, \dots, t_m \in R \quad \forall n_1, \dots, n_m \in Z,$$

это условие является аналогом периодичности функции интенсивности пуассоновского процесса; обозначим

$$\Delta_0 := \prod_{i=1}^m [0, \tau_i];$$

- (iii): функция $\tilde{\lambda}$ во внутренних точках бруса Δ_0 совпадает с непрерывной функцией $\lambda: \Delta_0 \times \Theta_\beta \rightarrow R$, причем λ является неотрицательной функцией; положим:

$$\lambda_*(t, \beta) := \min \left\{ \lambda(t, \beta) \mid \beta \in \Theta_\beta \right\}, \quad t \in \Delta_0,$$

$$M_k := \max \left\{ \lambda(t, \beta) \mid t \in \Delta_0, \beta \in \Theta_\beta \right\};$$

- (iv): $\int_{\Delta_0} \frac{dt}{\lambda_*(t, \beta)} < +\infty, \quad \forall \beta \in \Theta_\beta;$

- (v): $g = g_{a_0} := N(a_0(d_0), S),$

где S – известный ковариационный оператор с нулевым ядром; $d_0 = (d_{01}, \dots, d_{0m}) \in \Theta_d$, где Θ_d – компактное множество в R^m ; $a_0(d_0) \in S^{1/2} H$.

Для среднего a_0 примем следующую модель зависимости от параметра d_0 :

$$S^{-1/2} a_0 = \sum_{i=1}^l d_{0i} h_i + h_0,$$

где h_0 – известный вектор из $R(S^{1/2})$; $\{h_i, i = 1, l\}$ – заданная ортонормированная

система векторов из $R(S^{1/2})$, $h_0 \perp h_i, i = \overline{1, I}$;
 d_{0i} – неизвестны, $i = \overline{1, I}$.

Отметим, что из условия (v) следует $a_0 \in S(H)$. Тогда [8]

$$\rho_{d_0}(x) := \frac{dg_{a_0}(x)}{dg_0} = \exp \left\{ -\frac{1}{2} \|d\|^2 + \|h_0\|^2 + \left(\sum_{i=1}^I d_{0i} h_i, S^{-1/2} x \right) + \left(h_0, S^{-1/2} x \right) \right\} \quad (1)$$

(mod g_0).

Скалярное произведение $\left(\sum_{i=1}^I d_{0i} h_i, S^{-1/2} x \right)$, $x \in H$, является гауссовской случайной величиной с распределением $N(0, \|d_0\|^2)$, которая задана на вероятностном пространстве $(H, \mathcal{B}(H), g_0)$.

Пусть $\tilde{N}$ – пуассоновское поле на $R^m \times H$ с функцией интенсивности $\tilde{\lambda} = \tilde{\lambda}(t, \beta) dt \times dg(x)$, которая удовлетворяет условию периодичности (ii), пусть также $\tilde{\lambda}$ во внутренних точках Δ_0 совпадает с непрерывной функцией λ . Обозначим через P_λ меру в пространстве точечных мер $M(G_k \times H)$, порожденную полем $\tilde{N}$; аналогичную меру на $M(G_k \times H)$, построенную для поля N из условия (i) с $g = g_0$, обозначим через P_0 . Тогда, согласно [3, с. 78], при условиях (i)–(v) $P_\lambda \ll P_0$ и для почти всех относительно P_0 точечных мер $\mu \in M(G_k \times H_0)$ имеем:

$$\frac{dP_\lambda(\mu)}{dP_0} = \exp \left\{ \int_{G_k \times H_0} \ln \left(\frac{{}_0\chi^{(0)}(t, \beta)}{{}_0\chi^{(0)}(t, \beta_0)} \right) \cdot \frac{dg_d(x)}{dg_0} - d\mu(t, x) + \nu_0(C_k \times H_0) - \int_{G_k \times H_0} \frac{{}_0\chi^{(0)}(t, \beta)}{{}_0\chi^{(0)}(t, \beta_0)} \cdot \frac{dg_d(x)}{dg_0} dt dg_0(x) \right\}. \quad (2)$$

где $\nu_0(A) = EN(A)$ – значение меры интенсивности маркированного пуассоновского поля N на борелевском множестве $A \subset R^m \times H$. Метод максимального правдоподобия приводит к максимизации следующего функционала по

$$\beta \in \Theta_\beta, \quad d \in \Theta_d:$$

$$Q_k(\beta, k) := \frac{1}{mes G_k} \left\{ - \int_{G_k} {}^0\chi^{(0)}(t, \beta_0) dt \int_{H_0} \rho_d(x) dg_0(x) + \int_{G_k \times H_0} \ln {}^0\chi^{(0)}(t, \beta) dN(t, x) + \int_{G_k \times H_0} \ln \rho_d(x) dN(t, x) \right\}. \quad (3)$$

где плотность ρ_d определена в (1), если подставить d вместо d_0 , а пара $(\beta; d) \in \Theta_\beta \times \Theta_d$; $mes G_k$ обозначает меру Лебега множества G_k .

Заметим, что

$$\ln \rho_d(x) = -\frac{1}{2} \|d\|^2 + \|h_0\|^2 + \left(\sum_{i=1}^I d_i h_i, S^{-1/2} x \right) + \left(h_0, S^{-1/2} x \right).$$

Функционал $Q_k(\beta, d)$ с вероятностью 1 непрерывен на $\Theta_\beta \times \Theta_d$, благодаря чему можно определить измеримую оценку максимального правдоподобия ОМП $(\hat{\beta}_k, \hat{d}_k)$ как решение оптимизационной задачи:

$$Q_k(\hat{\beta}_k; \hat{d}_k) = \max_{(\beta \in \Theta_\beta, d \in \Theta_d)} Q_k(\beta, d), \quad \omega \in \Omega_0, \quad (4)$$

где Ω_0 – некоторое событие полной вероятности. Такая оценка существует благодаря теореме об измеримом выборе.

Состоятельность параметрической оценки. Про истинные параметры будем требовать следующее:

• (vi): $d_0 \in \Theta_d, \beta_0 \in \Theta_\beta$, где Θ_d фигурирует в условии (v), а Θ_β – в условии (i).

Пусть также выполнены дополнительные условия:

• (vii): $mes G_k \rightarrow \infty$

$$\text{и} \quad \frac{mes G_k^1}{mes G_k^0} \rightarrow 1, \quad k \rightarrow \infty;$$

$$\bullet \text{ (viii): } \sum_{k=1}^{\infty} \frac{mes(G_k \setminus G_k^0)}{mes^2 G_k} < \infty.$$

Введем условие контрастности на функцию интенсивности (ix):

$$mes \{t : \lambda(t, \beta) \neq \lambda(t, \beta_0)\} > 0, \quad \forall \beta \neq \beta_0, \quad \beta \in \Theta_\beta.$$

Теорема 1. Пусть выполнены условия (i)–(ix). Тогда с вероятностью 1

$$\|\hat{\beta}_k - \beta_0\| + \|\hat{d}_k - d_0\| \rightarrow 0, \quad k \rightarrow \infty. \quad (5)$$

Итак, оценка функции интенсивности является состоятельной.

Асимптотическая нормальность параметрической оценки. Перепишем функционал $Q_k(\beta, d)$ вида (3) в более удобной форме:

$$\begin{aligned} Q_k(\beta, d) = & -\frac{n(k) \cdot \text{mes} \Delta_0}{\text{mes} G_k} \cdot \frac{1}{\text{mes} \Delta_0} \int_{\Delta_0} \lambda(t, \beta) dt \int_{H_0} \rho_d(x) dg_0(x) + \\ & + \frac{n(k) \cdot \text{mes} \Delta_0}{\text{mes} G_k} \cdot \frac{1}{n(k) \text{mes} \Delta_0} \cdot \\ & \cdot \sum_{i: \Delta_i \subset G_k} \int_{\Delta_i \cap H_0} \ln \lambda(t, \beta) dN_i(t, x) + \\ & + \frac{n(k) \cdot \text{mes} \Delta_0}{\text{mes} G_k} \cdot \frac{1}{n(k) \text{mes} \Delta_0} \cdot \\ & \cdot \sum_{i: \Delta_i \subset G_k} \int_{\Delta_i \cap H_0} \ln \rho_d(x) dN_i(t, x) + R_k(\beta, d), \end{aligned} \quad (6)$$

где

$$\begin{aligned} R_k(\beta, d) := & -\frac{1}{\text{mes} G_k} \cdot \int_{(G_k \setminus G_k^0)} \chi^0(t, \beta) dt \int_{H_0} \rho_d(x) dg_0(x) + \\ & + \frac{1}{\text{mes} G_k} \left(\sum_{i: \Delta_i \subset (G_k \setminus G_k^0)} \int_{\Delta_i \cap H_0} \ln^0 \chi^0(t, \beta) dN(t, x) + \right. \\ & \left. + \sum_{i: \Delta_i \subset (G_k \setminus G_k^0)} \int_{\Delta_i \cap H_0} \rho_d(x) dN(t, x) \right). \end{aligned} \quad (7)$$

Заметим, что при фиксированных β, d почти, наверное $R_k(\beta, d) \rightarrow 0, k \rightarrow \infty$.

Вследствие усиленного закона больших чисел (УЗБЧ) с вероятностью 1 при $k \rightarrow \infty$

$$\begin{aligned} Q_k(\beta, d) & \rightarrow \Phi(\beta, d; \beta_0, d_0) = \\ & = \frac{1}{\text{mes} \Delta_0} \int_{\Delta_0 \times H_0} (-\lambda \rho_d + \lambda_0 \rho_{d_0} \ln(\lambda \rho_d)) dt \cdot dg_0(x). \end{aligned} \quad (8)$$

Здесь $\lambda_0 = \lambda(t, \beta_0)$, а функционал $\Phi(\beta, d)$ непрерывен на $\Theta_\beta \times \Theta_d$.

Для того чтобы обеспечить асимптотическую нормальность оценки, понадобятся следующие условия:

- (x): β_0 – внутренняя точка Θ_β , d_0 – внутренняя точка Θ_d ;
- (xi): матрица T размера $(l+m) \times (l+m)$ и вида

$$T := \begin{pmatrix} \Phi_{\beta\beta}'' & \Phi_{\beta d}'' \\ \Phi_{d\beta}'' & \Phi_{dd}'' \end{pmatrix}$$

является невырожденной в точке (β_0, d_0) .

Здесь $\Phi_{\beta\beta}'', \Phi_{\beta d}'', \Phi_{d\beta}'', \Phi_{dd}''$ вторые производные

от функционала $\Phi(\beta, d; \beta_0, d_0)$, выписанного в (8), по β, d соответственно.

Теорема 2. Пусть выполнены условия (i)–(xi), тогда

$$\sqrt{n(k)}(\hat{\theta}_k - \theta_0) \xrightarrow{d} T^{-1}\gamma, \quad k \rightarrow \infty, \quad (9)$$

где γ – случайный вектор с распределением $N(0, S_1)$, S_1 некоторая положительно определенная матрица, $\hat{\theta}_k$ – ОМП параметров,

$$\beta \in \Theta_\beta, d \in \Theta_d, \hat{\theta}_k = (\hat{\beta}_k^T, \hat{d}_k^T)^T, \theta_0 = (\beta_0^T, d_0^T)^T,$$

а сходимость является сходимостью по распределению.

Итак, оценка рассматриваемой функции интенсивности является асимптотически нормальной.

Пример. Проверим условие (xi) при $H_0 = H$, $l = 1$ и $\lambda(t, \beta_0) \equiv 1$. Тогда, например, при $\lambda(t, \beta) = \beta$,

$$T = \begin{pmatrix} -\frac{1}{\beta^2} \int_{H_0} \rho_{d_0}(x, d) dg_0(x) & -\int_{H_0} \rho_d'(x, d) dg_0(x) \\ -\int_{H_0} \rho_d'(x) dg_0(x) & -\beta \int_{H_0} \rho_d''(x) dg_0(x) - \\ -\int_{H_0} \rho_{d_0} \frac{\rho_d'' \rho_d - (\rho_d')^2}{\rho_d^2} dg_0(x) \end{pmatrix}. \quad (10)$$

Здесь выражения ρ_d', ρ_d'' являются производными по d от функции $\rho_d(x, d)$.

Имеем:

$$\begin{aligned} \rho_d(x, d) & = \exp \left\{ -\frac{1}{2} \|d\|^2 + \|h_0\|^2 + \left(\sum_{i=1}^l d_i h_i, S^{-1/2} x \right) + \left(h_0, S^{-1/2} x \right) \right\} \pmod{g_0}, \\ \rho_d'(x, d) & = \left(-d + \left(h_1, S^{-1/2} x \right) \right) \cdot \rho_d(x, d), \\ \rho_d''(x, d) & = -\rho_d(x, d) + \left(-d + \left(h_1, S^{-1/2} x \right) \right)^2 \cdot \rho_d(x, d) = \\ & = \left(-1 + \left(-d + \left(h_1, S^{-1/2} x \right) \right)^2 \right) \cdot \rho_d(x, d), \\ \left(\frac{\rho_d'}{\rho_d} \right)^2 & = \left(-d + \left(h_1, S^{-1/2} x \right) \right)^2. \end{aligned}$$

Перепишем:

$$\int_{H_0} \rho'_d(x, d) dg_0(x) = -d + \int_H \left(h_1, S^{-1/2} x \right) dg_d(x) = -d + 2 \left(h_1, S^{-1/2} a_0 \right). \quad (11)$$

Здесь использовали то, что

$$\begin{aligned} \int_H \left(h_1, S^{-1/2} x \right) dg_d(x) &= |x - a_0 = z| \\ \int_H &= \int_H \left(h_1, S^{-1/2} (z + a_0) \right) dg_0(z) = \\ &= \left(S^{-1/2} a_0, h_1 \right) + \left(h_1, S^{-1/2} a_0 \right) = 2 \left(h_1, S^{-1/2} a_0 \right). \end{aligned}$$

Аналогично получим:

$$\int_{H_0} \rho''_d(x, d) dg_0(x) = -1 + d^2 + \|h_1\|^2 + (1 - 4d). \quad (12)$$

$$\cdot \left(h_1, S^{-1/2} a_0 \right) + 2 \left(h_1, S^{-1/2} a_0 \right)^2,$$

$$\begin{aligned} \int_{H_0} \left(\frac{\rho'_d}{\rho_d} \right)^2 dg_0(x) &= \\ &= d^2 - 2d \left(h_1, S^{-1/2} a_0 \right) + \|h_1\|^2. \end{aligned} \quad (13)$$

Обозначим $\left(h_1, S^{-1/2} a_0 \right) = u$. Подставим (11), (12) и (13) в ковариационную матрицу (10) и вычислим определитель $\det T$ матрицы T размера 2×2 , которая примет вид:

$$T = \begin{pmatrix} -\frac{1}{\beta^2} & d - 2u \\ d - 2u & \beta(-d^2 + (4d - 1)u - 2u^2) + 1 \end{pmatrix}.$$

Выполнив несложные преобразования, получим:

$$\det T = \frac{A\beta^2 + B\beta + C}{\beta^2},$$

где $A := -(d - 2u)^2$; $B := d^2 + (1 - 4d)u + 2u^2$; $C := -1$.

Из представления $a_0 = d\varphi_1 + \varphi_0$ получаем $\varphi_1 = S^{1/2}h_1$, $\varphi_0 = S^{1/2}h_0$ и

$$\begin{aligned} d - 2 \left(h_1, S^{-1/2} a_0 \right) &= d - 2 \left(h_1, dS^{-1/2}S^{1/2}h_1 \right) - \\ &- 2 \left(h_1, S^{-1/2}S^{1/2}h_0 \right) = \\ &= d - 2d\|h_1\| - 2(h_1, h_0) = -d \neq 0, \end{aligned}$$

если $d \neq 0$. При таких d имеем $A \neq 0$, тогда $\det T \neq 0$ для любых $\beta \in \Theta_\beta$, кроме, возможно двух значений β_1, β_2 , которые зависят от $d \in \Theta_d$. Значит нужно потребовать, чтобы при $d = d_0$ значение β_0 отличалось от этих исключительных значений. Тогда из неравенства $\det T \neq 0$ следует выполнение условия (xi).

Выводы. В статье были изучены свойства параметрической оценки функции интенсивности маркированного пуассоновского поля для частного случая, когда «метка» принадлежит сепарабельному действительному бесконечномерному гильбертову пространству. При этом требуется периодичность этой функции. По наблюдениям поля на расширяющейся последовательности областей при выполнении определенных условий были получены следующие результаты:

1. Построена параметрическая ОМП периодической функции интенсивности маркированного пуассоновского поля путем максимизации функционала по компактно бесконечномерному параметрическому множеству.

2. Определены достаточные условия состоятельности и асимптотической нормальности параметрической оценки функции интенсивности, вид которой известен, а сама функция зависит от некоторого векторного параметра.

Полученные результаты носят теоретический характер. Они могут применяться при обработке экспериментальных данных в экологии, астрономии, физике, так как пуассоновские поля являются математической моделью многих явлений в этих областях.

Список источников

1. Kutoyants Yu.A. Statistical inference for spatial Poisson processes // Lecture Notes in Statistics (Springer). 134. New York, 1998. 276 p.

2. Stoyan D., Stoyan H. Fractals, Random Shapes and Point Fields: Methods of Geometrical Statistics. J. Wiley & Sons, New York, 1994. 389 p.
3. Reiss R.D. A Course on Point Processes. Springer, New Yourk, 1993. 255 p.
4. Bebbington M., Zitikis, R. A robust heuristic estimator for the period of a Poisson intensity function // *Methodology and Computing in Applied Probability*. 2004. №6. P. 441–462.
5. Helmers R., Zitikis R. On estimation of Poisson intensity functions // *Annals of the Institute of Statistical Mathematics*. 1999. 51, № 2. P. 265–280.

6. Линьков Ю.Н. Асимптотические методы статистики случайных процессов. К., 1993. 256 с.
7. Kallenberg O. Random Measures. Academic Press, New York, 1983. 151 p.
8. Го Х.-С. Гауссовские меры в банаховых пространствах. М.: Мир, 1979. 176 с.
9. Колмогоров А.Н., Фомин С.В. Элементы теории функций и функционального анализа. М.: Мир, 1968. 496 с.
10. Леоненко Н.Н., Иванов А.В., Статистический анализ случайных полей. К.: Выща школа, 1986. 216 с.
11. Дороговцев А.Я. Теория оценок параметров случайных процессов. К.: Выща школа, 1982. 203 с.

Список источников

1. Kutoyants Yu.A. Statistical inference for spatial Poisson processes // *Lecture Notes in Statistics* (Springer). 134. New York, 1998. 276 p.
2. Stoyan D., Stoyan H. Fractals, Random Shapes and Point Fields: Methods of Geometrical Statistics. J. Wiley & Sons, New York, 1994. 389 p.
3. Reiss R.D. A Course on Point Processes. Springer, New Yourk, 1993. 255 p.
4. Bebbington M., Zitikis, R. A robust heuristic estimator for the period of a Poisson intensity function // *Methodology and Computing in Applied Probability*. 2004;(6):441–462.
5. Helmers R., Zitikis R. On estimation of Poisson intensity functions // *Annals of the*

- Institute of Statistical Mathematics*. 1999;51(2):265–280.
6. Linkov Yu.N. Asymptotic methods of statistics of random processes. K., 1993. 256 p.
7. Kallenberg O. Random Measures. Academic Press, New York, 1983. 151 p.
8. Go H.-S. Gaussian measures in Banach spaces. Moscow: Mir, 1979. 176 p.
9. Kolmogorov A.N., Fomin S.V. Elements of the theory of functions and functional analysis. Moscow: Mir, 1968. 496 p.
10. Leonenko N.N., Ivanov A.V., Statistical analysis of random fields, Moscow: Vysshka Shkola Publ., 1986. 216 p.
11. Dorogovtsev A.Ya. Theory of estimates of parameters of random processes. K.: Higher school, 1982. 203 p.

Научный вестник Арктики. 2026. №20. С. 70–75.
Scientific Bulletin of the Arctic. 2026;(20): 70–75.

Социогуманитарные науки

Научная статья
УДК 378.147:(005+33)
doi: 10.52978/25421220_2026_20_70–75

**МЕЖДИСЦИПЛИНАРНАЯ ПРОЕКТНАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ
КАК ИНСТРУМЕНТ ПОВЫШЕНИЯ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ
ПОДГОТОВКИ ОБУЧАЮЩИХСЯ**

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

Чередниченко Валентина Фёдоровна

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

Аннотация. Рассмотрены структурные компоненты междисциплинарной проектной деятельности на примере реализации программ бакалавриата по направлению подготовки 38.03.02 «Менеджмент» и 38.03.01 «Экономика». Проанализированы характеристики выделенных структурных компонентов, определены проблемные аспекты практической реализации компонентов, а также компетенции, которые формируются у обучающихся при изучении дисциплины «Основы междисциплинарной проектной деятельности (в т.ч. КП в соответствии с подходом "Обучение служением")».

Ключевые слова: проектная деятельность, междисциплинарный подход, экономика, менеджмент, учебная дисциплина, социальный проект.

Для цитирования: Доменко Ю.Ю., Глубокова Л.Г., Чередниченко В.Ф. Междисциплинарная проектная деятельность как инструмент повышения профессиональной подготовки обучающихся // Научный вестник Арктики. 2026. №20. С. 70–75. https://doi.org/10.52978/25421220_2026_20_70–75.

Natural sciences

Original article

**INTERDISCIPLINARY PROJECT ACTIVITIES AS A TOOL
FOR ENHANCEMENT OF STUDENTS' PROFESSIONAL TRAINING**

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

Valentina F. Cherednichenko

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

Abstract. The article examines the structural components of interdisciplinary project activity on the example of the implementation of bachelor's degree programs in the field of 38.03.02 «Management» and 38.03.01 «Economics». The characteristics of the identified structural components are considered, problematic aspects of the practical implementation of the components are identified, and the competencies that are formed by students in the study of the discipline «Fundamentals of interdisciplinary project activity (including KP in accordance with the "Service Learning" approach)» are identified.

Keywords: project activity, interdisciplinary approach, economics, management, academic discipline, social project.

For citation: Domenko Yu.Y., Glubokova L.G., Cherednichenko V.F. Interdisciplinary project activity as a tool for enhancement of students' professional training. *Scientific Bulletin of the Arctic*. 2026;(20):70–75. (In Russ.). https://doi.org/10.52978/25421220_2026_20_70-75.

Введение. Актуальность исследования заключается в том, что на сегодняшний день в различных сферах и направлениях деятельности используется проектный подход, доказавший свою эффективность при решении как операционных, так и стратегических задач. В настоящее время инструменты проектного управления, как элементы научного и прикладного знания, используются на разных уровнях образования: в качестве самого образовательного инструмента у преподавателя, а также в качестве знания, которое должен получить и которым должен овладеть обучающийся. Но, несмотря на это, остается проблема асистемности в овладении и использовании данного инструмента. При этом длительное использование проектных технологий или проектных инструментов требует вариации их применения для максимизации полезного эффекта не только для субъекта обучения (преподавателя), обучающегося, но и общества в целом.

В рамках данного исследования «Основы междисциплинарной проектной деятельности (в т.ч. КП в соответствии с подходом "Обучение служением")» рассматриваются как учебная дисциплина программ бакалавриата по направлениям подготовки 38.03.02 «Менеджмент» и 38.03.01 «Экономика».

Основная часть. Основы междисциплинарной проектной деятельности (в т.ч. КП в соответствии с подходом «Обучение служением») системно включают в себя три крупных блока:

- **1 блок** – характеризуется наличием междисциплинарных связей, а именно определением совокупности учебных дисциплин, которые выступают основой

или вспомогательным элементом для ведения проектной деятельности или использования проектных инструментов;

- **2 блок** – характеризуется наличием самой проектной деятельности, а именно использованием проектных технологий при решении конкретных задач (разработка и возможная реализация проекта);

- **3 блок** – характеризуется наличием подхода «Обучение служением», при котором обучающиеся выполняют общественно значимую работу совместно с некоммерческими организациями (НКО), принося таким образом пользу обществу [1].

Содержательно данная дисциплина должна формировать компетенции, вбирающие в себя характеристики представленных блоков, а именно: междисциплинарность, проектную деятельность и «Обучение служением».

Отметим, что «Обучение служением» можно охарактеризовать как подход, направленный на решение социальной проблемы (локальной социальной проблемы), снижение остроты или полное нивелирование которой будет реализовано на основе направлений первого и второго блока, а именно через междисциплинарность и проектный подход.

Рассмотрим, какие универсальные компетенции можно сформировать у обучающихся на основе выделенных блоков дисциплины [2; 3]. Ранжирование универсальных компетенций по уровню влияния на них реализации блоков дисциплины «Основы междисциплинарной проектной деятельности (в т.ч. КП в соответствии с подходом "Обучение служением")» представлено в табл. 1.

Таблица 1

Уровень влияния реализации блоков дисциплины «Основы междисциплинарной проектной деятельности (в т.ч. КП в соответствии с подходом "Обучение служением")» на формирование универсальных компетенций у обучающихся по направлениям подготовки 38.03.02 «Менеджмент» и 38.03.01 «Экономика»

№	Наименование категории (группы) универсальных компетенций	Код и наименование универсальной компетенции выпускника	Уровень влияния блоков дисциплины на сформированность универсальных компетенций
1	Системное и критическое мышление	УК–1. Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач	Высокий
2	Разработка и реализация проектов	УК–2. Способен определять круг задач в рамках поставленной цели и выбирать оптимальные способы их решения, исходя из действующих правовых норм, имеющихся ресурсов и ограничений	Высокий
3	Командная работа и лидерство	УК–3. Способен осуществлять социальное взаимодействие и реализовывать свою роль в команде	Высокий
4	Коммуникация	УК–4. Способен осуществлять деловую коммуникацию в устной и письменной формах на государственном языке Российской Федерации и иностранном(ых) языке(ах)	Высокий
5	Самоорганизация и саморазвитие (в т.ч. здоровьесбережение)	УК–6. Способен управлять своим временем, выстраивать и реализовывать траекторию саморазвития на основе принципов образования в течение всей жизни	Высокий
6	Инклюзивная компетентность	УК–9. Способен использовать базовые дефектологические знания в социальной и профессиональной сферах	Высокий
7	Экономическая культура, в т.ч. финансовая грамотность	УК–10. Способен принимать обоснованные экономические решения в различных областях жизнедеятельности	Высокий
8	Межкультурное взаимодействие	УК–5. Способен воспринимать межкультурное разнообразие общества в социально-историческом, этическом и философском контекстах	Средний
9	Безопасность жизнедеятельности	УК–8. Способен создавать и поддерживать в повседневной жизни и в профессиональной деятельности безопасные условия жизнедеятельности для сохранения природной среды, обеспечения устойчивого развития общества, в т.ч. при угрозе и возникновении чрезвычайных ситуаций и военных конфликтов	Средний

№	Наименование категории (группы) универсальных компетенций	Код и наименование универсальной компетенции выпускника	Уровень влияния блоков дисциплины на сформированность универсальных компетенций
10	Самоорганизация и саморазвитие (в т.ч. здоровьесбережение)	УК–7. Способен поддерживать должный уровень физической подготовленности для обеспечения полноценной социальной и профессиональной деятельности	Низкий
11	Гражданская позиция	УК–11. Способен формировать нетерпимое отношение к коррупционному поведению	Низкий

Исходя из представленного ранжированного списка универсальных компетенций обучающихся, отметим, что низкий уровень влияния блоков дисциплины на их сформированность определяется по принципу отсутствия прямой возможности формирования компетенции через блоки и в целом архитектуру всей учебной дисциплины.

Средний уровень влияния блоков дисциплины на сформированность компетенций определяется наличием возможных специфических характеристик разрабатываемого проекта, например, направление (направленность), сфера, особенности реализации и т.д.

Высокий уровень влияния блоков дисциплины на сформированность универ-

сальных компетенций определяется на основе прямого наличия действий, направлений, способов, механизмов при реализации проекта или отдельных проектных решений.

На основе определения уровня влияния блоков дисциплины «Основы междисциплинарной проектной деятельности (в т.ч. КП в соответствии с подходом "Обучение служением")» на сформированность универсальных компетенций обучающихся, выделим структурные компоненты междисциплинарной проектной деятельности, определяющие ее как инструмент повышения профессиональной подготовки обучающихся (табл. 2).

Таблица 2

Междисциплинарная проектная деятельность как эффективный инструмент повышения профессиональной подготовки обучающихся

№	Структурные компоненты междисциплинарной проектной деятельности	Характеристика компонента	Проблемные аспекты практической реализации компонента	Формируемые компетенции
1	Компонент постановки проблемы	Определение (идентификация) обучающимися социально ориентированной проблемы на локальном уровне	Низкий уровень сформированности у обучающихся компетенций поискового и аналитического характера	УК–1, УК–2
2	Проектный компонент	Разработка и реализация конкретных социально-ориентированных решений с учетом проектных характеристик (в т.ч. с формально определенной целью, сроками реализации, субъектами и др. элементами)	Низкий уровень сформированности у обучающихся компетенций проектного характера (способность определять конкретные цели и сроки реализации проектных решений)	УК–2, УК–6

№	Структурные компоненты междисциплинарной проектной деятельности	Характеристика компонента	Проблемные аспекты практической реализации компонента	Формируемые компетенции
3	Комплексный компонент	Использование при разработке и реализации проектных решений компетенций (в т.ч. знаний) не только из цикла дисциплин экономического и управленческого характера	Низкий уровень сформированности у обучающихся компетенций в области системного мышления, включая использование в совокупности различных компетенций и знаний	УК–1, УК–2, УК–10
4	Компонент командообразования	Использование навыков взаимодействия и коммуникации в аспекте различных ролей	Низкий уровень социальной гибкости и адаптивности у обучающихся, а также низкий уровень коммуникативных способностей	УК–2, УК–3, УК–4
5	Сценарный (прогнозный) компонент	Наличие у обучающихся аналитических способностей, способности вырабатывать решения, в том числе управленческие, а также определять причинно-следственные связи между принятым решением и полученным результатом, в т.ч. определять спектр сценариев на основе принятых (принимаемых) решений	Низкий уровень аналитических способностей у обучающихся, а также способности просчитывать и моделировать возможные сценарии по ряду принятых решений	УК–1, УК–2, УК–10
6	Социальный компонент	Наличие у обучающихся способностей определять социальные проблемы и социальный запрос на изменения, а также использовать дефектологические инструменты для решения социальных (инклюзивно-личностных) проблем	Низкий уровень у обучающихся эмпатии и запроса на социальные преобразования	УК–9

Исходя из табл. 2, можно отметить, что междисциплинарная проектная деятельность системно включает в себя ряд разнородных компонентов, которые совокупно (либо отдельно в комбинации) позволяют сформировать большую часть универсальных компетенций обучающихся, что говорит о ее разнонаправленности, но при этом системности и уникальности.

Заключение. Междисциплинарная проектная деятельность как инструмент повышения профессиональной подготовки обучающихся определяется через такие разнородные блоки, как междисциплинарность, проектная деятельность и «Обучение служением». Совокупность таких блоков позволяет сформировать архитектуру учебной дисциплины «Основы междисциплинарной проектной деятельности» (в т.ч. КП в соответствии с подхо-

дом "Обучение служением")» для направлений подготовки 38.03.02 «Менеджмент» и 38.03.01 «Экономика». Специфика архитектуры и содержания данной дисциплины позволяет сформировать абсолютное большинство универсальных компетенций на высоком уровне и лишь небольшую часть компетенций вынести в категорию средне и низко сформированных. При этом, при включении в реализацию разрабатываемого проекта обуча-

ющимися специфических черт, таких как направления, действия, методы, инструменты и др., можно реализовать весь спектр компетенций на высоком уровне. Такое положение дел говорит о разнородности, но в то же время универсальности междисциплинарной проектной деятельности, и как следствие, определяет ее как эффективный инструмент повышения подготовки обучающихся.

Список литературы

1. Официальный сайт Министерства науки и высшего образования Российской Федерации. [сайт]. URL: <https://minobrnauki.gov.ru/press-center/news/nauka-i-obrazovanie/89039/> (дата обращения: 21.01.2026).

2. Приказ Минобрнауки России от 12.08.2020 №954 (ред. от 27.02.2023) «Об утверждении федерального государственного образовательного стандарта высшего образования – бакалавриат по направлению подготовки 38.03.01 «Экономика» (Зарегистрировано в Минюсте России 25.08.2020 №59425). [сайт]. URL:

https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_361147/ (дата обращения: 22.01.2026).

3. Приказ Минобрнауки России от 12.08.2020 №970 (ред. от 27.02.2023) «Об утверждении федерального государственного образовательного стандарта высшего образования – бакалавриат по направлению подготовки 38.03.02 «Менеджмент» (Зарегистрировано в Минюсте России 25.08.2020 №59449). [сайт]. URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_361235/ (дата обращения: 22.01.2026).

References

1. The official website of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation. [сайт]. URL: <https://minobrnauki.gov.ru/press-center/news/nauka-i-obrazovanie/89039/> (date of application: 21.01.2026).

2. Order of the Ministry of Education and Science of the Russian Federation dated 12.08.2020 №954 (as amended on 27.02.2023) «On approval of the Federal State educational standard of higher education – Bachelor's degree in the field of 38.03.01 Economics» (Registered with the Ministry of Justice of the Russian Federation on 25.08.2020 №59425). [сайт]. URL:

https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_361147/ (date of access: 22.01.2026).

3. Order of the Ministry of Education and Science of the Russian Federation dated 12.08.2020 №970 (as amended on 27.02.2023) «On approval of the Federal State educational standard of higher education – Bachelor's degree in Management 38.03.02» (Registered with the Ministry of Justice of the Russian Federation on 25.08.2020 №59449). [сайт]. URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_361235/ (date of access: 22.01.2026).

Научный вестник Арктики. 2026. №20. С. 76–85.
Scientific Bulletin of the Arctic. 2026;(20): 76–85.

Социогуманитарные науки

Научная статья

УДК 316.628:331.54

doi: 10.52978/25421220_2026_20_76–85

ДИНАМИКА МОТИВОВ ВЫБОРА ПРОФЕССИИ СТУДЕНТОВ ТЕХНИЧЕСКИХ НАПРАВЛЕНИЙ ПОДГОТОВКИ ВУЗА

Демченко Ирина Владимировна

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

E-mail: lhjy90@yandex.ru

Аннотация. Представлены результаты исследования, проведенного в сентябре–октябре 2022 г. методом оценки профессиональных мотивов, студентов технических направлений подготовки Заполярного государственного университета им. Н.М. Федоровского. Оцениванию подлежали 14 мотивов, объединенных в семь групп: социальные, моральные, коллективистские, познавательные, материальные и престижные мотивы, а также мотивы, связанные с особенностями профессиональной деятельности. Изучение профессиональной мотивации позволило выявить доминирующие у будущих инженеров мотивы, проследить их динамику у студентов разных курсов, проанализировать своеобразие профессиональной мотивации обучающихся разных технических направлений подготовки. Приведен сравнительный анализ полученных данных с результатами исследования профессиональной мотивации студентов в 2009–2010 гг., который показывает необходимость дальнейшей системной профориентационной работы с будущими специалистами.

Ключевые слова: мотив, профессиональная мотивация, профессиональная деятельность, профессия, технические направления подготовки.

Для цитирования: Демченко И.В. Динамика мотивов выбора профессии студентов технических направлений подготовки вуза // Научный вестник Арктики. 2026. №20. С. 76–85. https://doi.org/10.52978/25421220_2026_20_76–85.

Humanities sciences

Original article

THE DYNAMICS OF PROFESSIONAL CHOICE MOTIVES OF STUDENTS IN TECHNICAL FIELDS OF STUDY

Irina V. Demchenko

Fedorovsky Polar State University, Norilsk, Russia

E-mail: lhjy90@yandex.ru

Abstract. Presents the results of a study conducted in September–October 2022, assessing the professional motivations of students majoring in technical programs at N.M. Fedorovsky Polar State University. Fourteen motivations, grouped into seven categories, were assessed: social, moral, collectivist, cognitive, material, and prestige motivations, as well as motivations related to the specifics of professional activity. The study of professional motivation allowed us to identify the dominant motivations of future engineers, track their dynamics across students in different years, and analyze the unique professional motivations of students in different technical fields of study. A comparative analysis of the obtained data with the results of a study on student professional motivation in 2009–2010 is presented, which shows the need for further systematic career guidance work with future specialists.

Keywords: motivation, professional motivation, professional activity, profession, technical training areas.

For citation: Demchenko I.V. The dynamics of professional choice motives of students in technical fields of study. *Scientific Bulletin of the Arctic*. 2026;(20):76–85. (In Russ.). https://doi.org/10.52978/25421220_2026_20_76–85.

В современных условиях на первый план выходит технологическая безопасность страны, которая подразумевает не только восстановление и сохранение суверенности промышленного производства, но и его развитие, переход на наукоемкие технологии. Это требует и соответствующей подготовки высококвалифицированных инженерных кадров.

Успешность подготовки будущих инженеров в высшем учебном заведении обеспечивается, в первую очередь, профессиональной направленностью учебного процесса, активной включенностью студентов в учебную работу, сознательным приобретением знаний, умений и навыков, формирующих необходимые для будущей профессиональной деятельности компетенции [1; 2; 5]. Детерминирующим этот процесс фактором выступают мотивы, которыми руководствовались при выборе профессии вчерашние школьники. Эти мотивы, как основа направленности личности будущего инженера, в дальнейшем определяют весь ход профессиональной подготовки, придают субъектный смысл получаемым в вузе знаниям и умениям, обуславливают развитие профессионально-личностных качеств [3–5].

В опросе, проведенном в сентябре-октябре 2022 г., приняли участие 168 студентов (по 56 человек с первого по третий курс) технических направлений подготовки Заполярного государственного университета им. Н.М. Федоровского. При этом использовалась методика определения доминирующих профессиональных мотивов.

Сущность методики заключалась в предоставлении участнику исследования опросника, содержащего 14 суждений о профессии (табл. 1). Эти суждения объединены в семь групп мотивов: социальные; моральные; коллективистские; познавательные; связанные с особенностями профессиональной деятельности; материальные; престижные. Опрашиваемый студент должен оценить предлагаемый ряд мотивов по пятибалльной шкале. Для определения наиболее значимых профессиональных мотивов необходимо

подсчитать суммы баллов по каждой группе мотивов. Те группы, которые получили максимальное количество баллов, рассматриваются в качестве решающих в структуре профессиональной мотивации данного респондента.

Таблица 1

№	Группы мотивов	Группы 1 курс (кол-во человек, %)					Итого 1 курс
		ИС	ИЭ	АП	ЭЭ	ГД	
1	Социальные	33,33	25	37,5	50	12,5	28,57
2	Моральные	6,67	–	50	33,33	56,25	30,36
3	Коллективистские	6,67	–	37,5	11,1	37,5	19,64
4	Познавательные	40	62,5	37,5	33,33	6,25	32,14
5	Связанные с особенностями профессиональной деятельности	66,67	25	12,5	33,33	31,25	37,5
6	Материальные	20	12,5	25	33,33	62,5	33,93
7	Престижные	13,33	–	12,5	–	6,25	7,14

Результаты опроса обучаемых первого курса показали, что при выборе профессии вчерашние выпускники школ руководствуются, прежде всего, мотивами, связанными с особенностями профессиональной деятельности (37,5%). При этом 46,43% опрошенных отметили, что в будущей профессии им нравится содержание труда, а 42,86% акцентировали внимание на привлекательности условий работы. В несколько меньшей степени, но также существенное влияние на выбор профессии оказали материальные (33,3%), познавательные (32,14%) и моральные мотивы (30,36%). Интерес представляют результаты опроса, связанные с познавательными мотивами. С одной стороны, наибольшее количество студентов (55,56%) полагает, что будущая профессия позволяет приобретать новые знания в избранной сфере деятельности, а с другой – только 32,14% считают, что она соответствует их интересам и способностям.

Достаточно серьезное воздействие на профессиональную мотивацию современных первокурсников оказывают и социальные мотивы. Их влияние на выбор профессии подчеркнули 28,57% респондентов, из которых 44,64% демонстриру-

ют уверенность, что выбранная ими профессия позволяет приносить пользу обществу. К сожалению, только 21,43% опрошенных первокурсников отмечают ее высокую общественную значимость.

Всего 19,64% респондентов признаёт важным для себя коллективистские мотивы в структуре профессиональной мотивации. Лишь для 21,43% будущих инженеров имеет значение, что будущая профессия позволяет работать в коллективе, а 23,21% отмечают возможность внести свой вклад в общее дело.

Менее всего на выбор направления подготовки студентами первого курса оказали мотивы престижа. Всего 7,14% участвовавших в исследовании обучающихся считают, что будущая профессия обеспечит быстрый карьерный рост (8,93%) и высоко ценится среди друзей и знакомых (10,71%).

Процентные показатели мотивов выбора профессии по студенческим группам первого курса позволяют сделать вывод о значительном разнообразии мотивов, которыми руководствовались в выборе профессии студенты разных групп. Так, для обучающихся по направлению подготовки «Прикладная информатика» (группа ИЭ) и «Информационные системы и технологии» (группа ИС) моральные мотивы оказались практически не существенны (0% и 6,67% соответственно). Напротив, более половины (56,25%) студентов группы ГД («Горное дело») признали, что возможность быть самостоятельным в работе и жизни, нести ответственность за свою жизнь и результаты труда оказала существенное влияние на выбор сферы деятельности. Наибольшее значение в профессиональной мотивации для будущих горных инженеров имеют материальные мотивы, связанные с хорошей оплатой их труда и гарантированным трудоустройством (62,5%).

Представляют интерес и данные студентов группы ИЭ, показывающие высокую познавательную мотивацию (62,5%) и гораздо меньшую мотивацию, связанную с содержанием и условиями будущей профессиональной деятельности (25%). Возможно, именно недостаточная их ин-

формированность об особенностях будущей профессии определила нулевые показатели моральных и коллективистских мотивов, а также мотивов, связанных с престижем будущей деятельности.

Для студентов направления подготовки «Автоматизация технологических процессов и производств» (группа АП) наибольшую ценность имеют моральные мотивы, связанные с возможностью быть самостоятельным и ответственным в своей работе и жизни. Их отмечается половина студентов данной группы, а половина студентов группы ЭЭ («Электроэнергетика и электротехника») руководствовались в выборе будущей специальности тем, что их профессия имеет высокую общественную значимость, позволяя приносить пользу обществу.

Анализ ответов студентов второго курса показывает доминирование в их профессиональной мотивации материальных мотивов – 46,43% опрошенных, среди которых 58,93% считают важным хорошую оплату будущей профессии, а 44,64% обращают внимание на гарантированность трудоустройства.

Мотивы, связанные с престижностью направления подготовки, выбрала примерно десятая часть студентов второго курса (10,71%). Только 16% обучающихся считают, что будущая специальность может способствовать быстрому карьерному росту, и 17,86% признают ее высокую оценку среди друзей и знакомых.

Однако материальными и престижными мотивами профессиональная мотивация студентов второго года обучения не ограничена. Существенное влияние на их мотивацию оказывают социальные и коллективистские мотивы – их отметили по 37,5% респондентов. Половина опрошенных студентов подчеркивает в качестве несомненного достоинства технических специальностей то, что они позволяют приносить пользу обществу, а 55,36% считают приоритетным возможность работать в коллективе. Весьма важны для второкурсников и познавательные мотивы. Их значимость в будущей профессиональной деятельности отметили более трети студентов (35,71%).

При этом 60,71% студентов второго курса признали определяющей для себя возможность приобретать новые знания в избранной сфере деятельности. Данный мотив получил наибольшее количество выборов второкурсников.

В несколько меньшей степени представлены у студентов второго курса моральные мотивы и мотивы, связанные с особенностями профессиональной деятельности (табл. 2). Наиболее высоко их оценило 28,57% обучающихся, принявших участие в исследовании. При этом более значимым из моральных мотивов второкурсники посчитали то, что будущая профессия позволяет нести ответственность за свою жизнь и результаты труда. Этот мотив выбрали 46,43% респондентов, тогда как аргумент, связанный с возможностью быть самостоятельным выбрали 39,29% опрошенных. Мотивы, связанные с особенностями профессиональной деятельности, получили неоднозначное количество выборов. Так, если содержание будущей профессиональной деятельности привлекательно более чем для половины опрошенных студентов второго курса технических специальностей (53,57%), то условия работы считают подходящими немного менее трети второкурсников (32,14%).

Таблица 2

№	Группы мотивов	Группы 2 курс (кол-во человек, %)					Итого 2 курс
		ИС	СА	МЦ	ЭЭ	ГД	
1	Социальные	25	41,18	37,5	50	33,33	37,5
2	Моральные	50	17,65	25	40	11,11	28,57
3	Коллективистские	25	35,29	37,5	50	44,44	37,5
4	Познавательные	33,33	23,53	62,5	50	22,22	35,71
5	Связанные с особенностями профессиональной деятельности	41,67	23,53	37,5	30	11,11	28,57
6	Материальные	41,67	35,29	37,5	70	66,67	46,43
7	Престижные	8,33	5,88	12,5	10	22,22	10,71

Интерес представляет и анализ ответов студентов второго курса по группам. Так, половина студентов группы ИС отдают предпочтение моральным мотивам, в то время как на первом курсе из студентов этой группы значимость мотивов

данной группы подчеркнули только 6,67%. Увеличилось и число студентов с возросшей материальной мотивацией – с 20% первокурсников до 41,67% студентов-второкурсников. Мотивы, связанные с содержанием и условиями труда, для студентов второго года обучения стали менее приоритетными. Если на первом курсе процент студентов с доминирующими в структуре профессиональной мотивации такими ориентирами составлял 66,67%, то на втором курсе их стало 41,67%. В то же время это наибольшее число из опрошенных студентов технических направлений подготовки второго курса. Менее всего представлены данные мотивы у студентов группы ГД (11,11%).

Данные опроса студентов второго курса группы СА («Строительство») позволяют говорить о влиянии на них социальных мотивов, связанных с высокой общественной значимостью будущей специальности (52,94%) и ее способностью приносить пользу обществу (47,06%). В структуре их профессиональной мотивации существенную роль играют коллективистские (35,29%) и материальные (35,29%) мотивы. При этом ценность работы в коллективе получила наибольшие процентные показатели (58,82%) из всех предложенных к оцениванию мотивов. В несколько меньшей степени у будущих строителей представлены познавательные мотивы и мотивы, связанные с содержанием и условиями труда. Их отметили около четвертой части (по 23,53% соответственно) участников исследования. В то же время будущие строители считают свою профессию непрестижной. Число тех, кто посчитал значимыми мотивы данной группы, составляет около 6% (5,88%), что представляет наименьший процент по данному показателю из опрошенных второкурсников.

Результаты, полученные в группе МЦ направления подготовки «Металлургия», демонстрируют выраженную приоритетность для студентов этой группы познавательных мотивов (62,5%). Это наиболее высокий показатель среди студентов технических направлений подготовки второго курса по данной группе мотивов. Так

же как и в других группах, наименьшее число выборов получили мотивы, связанные с престижностью избранной профессии (12,5%). Значение моральных мотивов в профессиональной мотивации отметила четвертая часть будущих металлургов, при этом показатель ответственности несколько выше показателя самостоятельности – 37,5% против – 25%. Остальные процентные данные равномерно распределились между социальными, коллективистскими, материальными мотивами и мотивами, связанными с особенностями профессиональной деятельности, – по 37,5%.

Анализ ответов студентов-электриков второго курса свидетельствует о приоритетности в структуре их профессиональной мотивации материальных мотивов, связанных с хорошей оплатой (80%) и гарантированностью трудоустройства (70%). Количество студентов группы ЭЭ второго курса более, чем в два раза превышает число студентов того же направления подготовки первого курса, придающих значение материальным мотивам. В то же время значимость социальных мотивов у студентов второго курса по сравнению с первокурсниками не изменилась. И на первом и втором курсе социальные мотивы выбирает половина студентов этого направления подготовки.

Половина студентов-второкурсников отмечает коллективистские и познавательные мотивы. Причем, если в коллективистских мотивах процентные показатели распределились равномерно по 60% между возможностью работать в коллективе и вносить вклад в общее дело, то в познавательных мотивах такой однозначности нет. Так, 90% опрошенных отмечают важность того, что будущая профессия позволяет приобретать новые знания в избранной сфере деятельности, и только половина студентов считает, что будущая работа соответствует их интересам и способностям. Следует отметить, что выбор коллективистских мотивов студентами второго курса увеличился по сравнению с оценками студентов-первокурсников в 4,5 раза, а познавательных мотивов – в полтора раза. Кроме

того, у студентов второго курса несколько усилились моральные мотивы (40% против 33,33%), а также мотивы, связанные с престижностью будущей профессиональной деятельности. Если у первокурсников данные мотивы отсутствуют в структуре профессиональной мотивации, то 10% будущих инженеров-электриков второго года подготовки отмечают возможности избранной сферы деятельности в карьерном росте и ее ценность среди друзей и знакомых.

У студентов направления подготовки «Горное дело» второго курса наиболее ярко выражены материальные мотивы. 66,67% опрошенных студентов на первое место ставят аргументы, связанные с высокой оплатой и гарантией трудоустройства. Это наиболее высокие процентные показатели материальных мотивов среди студентов технических направлений подготовки второго курса. Однако по сравнению студентами группы ГД первого года обучения число обучаемых на втором курсе по данной группе мотивов выросло незначительно (на 4,17%). Более существенно возросло число тех студентов, которые считают свою будущую профессию престижной – 22,22% второкурсников против 6,25% студентов первого курса. Следует обратить внимание, что среди студентов второго курса по сравнению с первокурсниками этого же направления увеличилось число тех, кто отмечает значимость социальных мотивов в 2,7 раза, коллективистских – в 1,2 раза, познавательных – в 4 раза. Однако есть и группы мотивов, которые студенты второго курса рассматривают в качестве менее приоритетных по сравнению со студентами первого года обучения. К таким относятся моральные – их выбрало в 5 раз меньше студентов второго курса, и мотивы, связанные с особенностями профессиональной деятельности – число студентов, признающих важность мотивов данной группы, сократилось на втором курсе в 2,8 раза.

У студентов третьего курса (табл. 3) доминируют социальные мотивы (57,14%). При этом общественную значимость будущей профессии высоко оценили 62,5% респондентов, а 51,78% участ-

ников исследования отметили, что избранная сфера деятельности позволяет приносить пользу обществу. Помимо материальных мотивов в структуре профессиональной мотивации существенную роль играют моральные и материальные мотивы – их приоритетность подчеркнули по 41,07% опрошенных. Среди моральных мотивов третьекурсники посчитали наиболее важным мотив ответственности – «позволит нести ответственность за свою жизнь и результаты труда», который выбрали 57,14% обучающихся. Из материальных мотивов предпочтительной оказалась гарантированность трудоустройства (48,21%), но и значение хорошей оплаты посчитали существенным 44,64% респондентов.

В профессиональной мотивации студентов третьего курса выражено стремление приобретать новые знания в избранной сфере деятельности (58,92%), при этом всего четверть опрошенных считают, что будущая профессия соответствует их интересам и способностям. В тоже время познавательные мотивы существенно доминируют над мотивами, связанными с особенностями профессиональной деятельности, значимость которых подчеркнули только 17,85% третьекурсников.

Таблица 3

№	Группы мотивов	Группы 3 курс (кол-во человек, %)				Итого 3 курс
		ИС	СА	ЭЭ	ГД	
1	Социальные	41,18	73,33	69,23	45,4	57,14
2	Моральные	41,18	40	38,42	45,45	41,07
3	Коллективистские	23,53	46,67	30,77	36,36	33,92
4	Познавательные	41,18	20	23,08	36,36	30,35
5	Связанные с особенностями профессиональной деятельности	11,76	33,33	7,69	18,18	17,85
6	Материальные	35,29	26,67	30,77	81,82	41,07
7	Престижные	11,76	6,67	7,69	–	7,14

Несколько больше трети опрошенных студентов (33,92%) признают важность для будущей профессиональной деятельности коллективистских мотивов. Возможность работать в коллективе отметили 41,07% респондентов, а внести свой вклад в общее дело – 46,42%.

Мотивами престижности руководствуется наименьшее число студентов. Только 7,14% будущих инженеров полагают, что избранная сфера деятельности обеспечит им карьерный рост. И, хотя значительно большее число принявших участие в опросе студентов (26,78%) считают, что будущая профессия высоко ценится среди друзей и знакомых, данный процентный показатель демонстрирует сложившееся в обществе отношение к техническим специальностям.

Анализ ответов обучаемых третьего курса технических направлений подготовки показывает, что для студентов трех групп на первом плане выходят социальные мотивы. У будущих горных инженеров (группа ГД) данная группа мотивов, хотя и не занимает приоритетную позицию, в тоже время ее роль существенно возрастает. Если на первом курсе социальные мотивы отметили 12,5% респондентов, то на втором мотивы значимости и пользы для общества будущей профессии посчитали важными треть опрошенных студентов, то на третьем курсе количество таких студентов достигло 45,45%.

Будущие программисты (группа ИС), помимо социальных мотивов, выбрали в качестве наиболее приоритетных моральные и познавательные мотивы. Для студентов этого направления весьма важна возможность приобретать новые знания, которую подчеркнули 58,82% участников исследования. Интересно, что моральные мотивы среди студентов данной группы первого курса получили наименьшее число выборов (6,67%). На втором курсе возможность быть самостоятельным и нести ответственность за свою жизнь и результаты деятельности существенно возрастает – ее отмечает половина респондентов. Вероятно в этом случае оказывает влияние возрастающее желание получить самостоятельность от родительской семьи. На третьем курсе стремление к самостоятельности и ответственности несколько спадает и составляет 41,18% выборов. Коллективистские мотивы наименее приоритетны на первом курсе (6,67%), существенно возрастают на втором году обучения, где получают 25%

выборов, и незначительно снижаются к третьему курсу (23,53%). Наименьшее число выборов получают мотивы, связанные с содержанием и условиями труда, а также мотивы престижа. В мотивах, связанных с особенностями профессиональной деятельности, наблюдается существенный спад к третьему году обучения. Если на первом курсе они рассматривались студентами как наиболее значимые (66,67%), на втором их ценность отметили уже 41,67% обучаемых, то на третьем курсе они остаются важными только для 11,76% студентов. Для такого же числа студентов группы ИС (11,76%) будущая профессия обладает престижными мотивами – обеспечивает карьерный рост и высоко ценится среди друзей и знакомых.

В группе будущих строителей продолжают доминировать социальные мотивы. Число студентов, признающих важную роль данных мотивов, на третьем курсе увеличилось в 1,8 раза по сравнению со вторым курсом, где они составляли 41,18%. Причем социальную значимость строительных специальностей признают 86,67% опрошенных студентов третьего курса против 52,94% второкурсников. С другой стороны, только 6,67% студентов группы СА третьего курса считают избранную профессию престижной, что всего на 0,79% больше студентов второго курса. Существенно возрастают (на 11,38%) по сравнению со студентами второго года обучения коллективистские мотивы. Однако возможность работать в коллективе для студентов третьего курса становится менее привлекательной, чем для второкурсников – 46,7% против 58,82%, но почти в 2 раза (1,9 раза) возрастает стремление внести свой вклад в общее дело. В 2,3 раза для будущих инженеров-строителей третьего курса увеличилось значение моральных мотивов, связанных с возможностью быть самостоятельным и нести ответственность за собственную жизнь и результаты труда.

Также мотивы, связанные с особенностями профессиональной деятельности, изменились в сторону увеличения у третьекурсников (1,4 раза). Но, если процентные показатели данных мотивов у второ-

курсников распределились равномерно между отношением к содержанию и условиям трудовой деятельности (по 41,18%), то для третьекурсников более привлекательным выглядит содержание труда (53,33%), чем условия работы (26,66%). Познавательные мотивы у студентов третьего года подготовки по сравнению с обучающимися второго года снижаются на 3,53% и составляют 20% опрошенных. При этом количество студентов, считающих, что будущая профессия соответствует их интересам и способностям, на третьем курсе резко снижается (в 1,5 раза), а получение возможности приобретать новые знания столь же стремительно возрастает (в 1,6 раза). Интересно, что материальные мотивы, хотя и продолжают играть существенную роль в структуре профессиональной мотивации, у третьекурсников значительно ниже (в 1,3 раза), чем у студентов второго курса.

Процентные показатели группы ЭЭ ярко демонстрируют рост у студентов третьего курса социальных мотивов. Их отметили 69,23% опрошенных третьекурсников против половины студентов второго курса и такого же числа (50%) опрошенных первокурсников. Данные по остальным группам мотивов свидетельствуют о большей или меньшей степени уменьшения профессиональной мотивации у студентов-электриков третьего курса. Наиболее существенные изменения претерпели познавательные мотивы, значимость которых упала в 2,2 раза, мотивы, связанные с особенностями профессиональной деятельности (в 3,9 раза), а также материальные мотивы, уменьшившие для студентов третьего курса свою ценность в 2,3 раза. Можно предполагать, что у студентов третьего курса наступило некоторое разочарование в будущей профессии, обусловленное, вероятно, сложностью обучения и более глубокой профессионализацией подготовки. Такое предположение подтверждает рост мотива ответственности, ценность которого отмечают 69,23% третьекурсников, что на 9,23% больше, чем у студентов второго курса, и в 2 раза по сравнению с первокурсниками.

В отличие от других групп социальные мотивы для студентов группы ГД третьего курса не становятся приоритетными в структуре профессиональной мотивации. С другой стороны, следует отметить, что оценка социальной значимости будущей профессии и возможность приносить пользу обществу возрастают от курса к курсу и для будущих горных инженеров. Значимость моральных мотивов, связанных с возможностью быть самостоятельным и нести ответственность за свою жизнь и деятельность, подчеркивает такое же количество респондентов, что и социальные мотивы – 45,45% участников исследования. Этот показатель у третьекурсников в 4 раза превышает соответствующее число второкурсников, но в 1,2 раза меньше первокурсников, что, по всей видимости, связано с более глубоким пониманием самостоятельности и ответственности старшекурсниками. Познавательные мотивы и мотивы, связанные с особенностями профессиональной деятельности, по сравнению со студентами второго курса возрастают в 1,6 раза. В сравнении с обучаемыми первого года подготовки мотивы, связанные с содержанием труда и условиями работы, сокращают свою ценность для студентов третьего курса в 1,7 раза. Наиболее значимыми для студентов старшего курса группы горных инженеров остаются материальные мотивы, ценность которых возрастает от курса к курсу и достигает к третьему году обучения 81,82%. Престижность же профессии для студентов третьего курса полностью теряет свое значение.

Анализ динамики мотивации студентов технического вуза свидетельствует о том, что только социальные мотивы имеют ярко выраженную тенденцию роста их ценности от курса к курсу. Больше к третьему году обучения стало и число будущих инженеров, руководствующихся в своем отношении к профессии возможностью быть самостоятельным и нести ответственность за свою жизнь и результаты деятельности. Количество студентов, выбравших моральные мотивы, несколько уменьшается от первого ко второму

курсу (с 30,36% до 28,57%) и существенно возрастает у студентов третьего курса, достигая 2,4 части опрошенных.

У студентов второго курса в большей степени по сравнению со студентами других курсов представлены коллективистские, познавательные и материальные мотивы. При этом для учащихся второго и третьего года подготовки мотивы, демонстрирующие желание работать в коллективе и вносить вклад в общее дело, почти в 2 раза имеют большую значимость, чем для студентов первого курса. Роль познавательных мотивов признают студенты всех курсов, их выбор колеблется в пределах 5%, достигая максимального значения между показателями студентов второго и третьего курса. Существенное значение в структуре профессиональной мотивации студентов технического вуза имеют материальные мотивы – ими руководствуются от трети опрошенных первокурсников до почти половины обучаемых второго курса. Число студентов третьего года обучения, руководствующихся хорошей оплатой и гарантированностью трудоустройства, становится меньше на 5,36% в сравнении с соответствующим показателем второкурсников, но на 7,14% больше данных студентов первого курса.

Среди мотивов, доминирующих у студентов первого года обучения, в большей степени представлены мотивы, связанные с содержанием труда и условиями работы. Особенности профессиональной деятельности в качестве побудительных мотивов привлекательны для 37,5% первокурсников. Затем данный показатель снижается на 8,93% у студентов второго курса и достигает 17,85% у студентов-третьекурсников.

В наименьшей степени у студентов всех курсов, принявших участие в исследовании, представлены престижные мотивы. Характерно, что для студентов первого и третьего года обучения престижность будущей профессии находится на одном уровне – этот мотив отметили 7,14% респондентов. Для студентов второго курса престиж профессии несколько выше и составляет 10,71% выборов. Это

можно объяснить, с одной стороны, большей информированностью о будущей сфере профессиональной деятельности в сравнении с первокурсниками, а, с другой – недостаточным знанием реальных возможностей и перспектив профессии.

Таким образом, результаты исследования динамики профессиональных мотивов у студентов I–III курсов технических направлений подготовки свидетельствует, что только у половины студентов от общего числа опрошенных доминирующими мотивами в структуре профессиональной мотивации являются мотивы, связанные с содержанием и условиями будущей профессиональной деятельности. Примерно у трети опрошенных студентов на каждом курсе присутствуют познавательные мотивы, при этом только 32,14% студентов первого года подготовки, 22,22% второкурсников и 25% студентов третьего курса отмечает, что будущая профессия соответствует их интересам и способностям. Всего около седьмой части будущих инженеров считают избранную сферу профессиональной деятельности престижной, несмотря на то, что среди тех, кто принял участие в исследовании, находились представители и таких востребованных специальностей, как строители или программисты. Наиболее привлека-

тельны для студентов материальные мотивы. Высокую оплату труда и гарантированность трудоустройства в качестве основной движущей силы получения профессии отметили 72,3% опрошенных студентов трех курсов.

Тем не менее, степень сформированности профессиональной мотивации имеет положительную динамику, которую позволяют проследить результаты исследования профессиональных мотивов, проведенные в Заполярном государственном университете им. Н.М. Федорова в 2009–2010 гг. [2]. Сравнение данных показывает существенное увеличение ценности для студентов социальных (в 6,4 раза) и моральных (в 8 раз) мотивов. С 37,5% до 58,5% усилились познавательные мотивы, а мотивы, связанные с особенностями профессиональной деятельности, отметили в качестве значимых на 15,8% больше от общего числа опрошенных студентов. Положительные тенденции в развитии профессиональной мотивации связаны, прежде всего, с усилением профориентационной работы вуза, а также активным привлечением студентов к участию в различных социальных, научных и производственных проектах.

Список источников

1. Васенина И.В., Липатова М.Е., Сушко В.А. Профессиональные и образовательные стратегии современных абитуриентов // Вестник Московского университета. Серия 18. Социология и политология. 2019. Т. 25. №4. С. 102–123.
2. Демченко И.В. Формирование профессиональной направленности студентов // Научный вестник Норильского индустриального института. 2010. №7. С. 77–83.
3. Мелетичев В.В., Харитонов Е.В. Профессиональные склонности и мотивация обучающихся как условие успешности

- выбора и освоения профессии // Наука и школа. 2019. №6. С. 163–170.

4. Нехорошева Е.В. Исследование учебно-профессиональной мотивации студентов образовательных организаций // Экономические и социально-гуманитарные исследования. 2015. №1. С. 69–75.

5. Павлова А.В. О профессиональной направленности студентов вуза // Сборник материалов XI Международной научно-практической конференции «Проблемы и перспективы развития образования». Орехово-Зуево: ГГТУ, 2024. С. 418–423.

References

1. Vasenina I.V., Lipatova M.E., Sushko V.A. Professional and Educational Strategies of Modern Applicants // *Bulletin of Moscow University. Series 18. Sociology and Political Science*. 2019;25(4):102–123. (In Russ.).
2. Demchenko I.V. Formation of Professional Orientation of Students // *Scientific Bulletin of the Norilsk Industrial Institute*. 2010;(7):77–83. (In Russ.).
3. Meletichev V.V., Kharitonova E.V. Professional Inclinations and Motivation of Students as a Condition for Successful Choosing and Mastering a Profession // *Science and School*. 2019;(6):163–170. (In Russ.).
4. Nekhorosheva E.V. Study of Educational and Professional Motivation of Students of Educational Organizations // *Economic and Social-Humanitarian Studies*. 2015;(1):69–75. (In Russ.).
5. Pavlova A.V. On the Professional Orientation of University Students // Collection of Materials from the XI International Scientific and Practical Conference «Problems and Prospects of Education Development». Orehovo-Zuyevo: GGTU, 2024. Pp. 418–423.

Научный вестник Арктики. 2026. №20. С. 86–90.
Scientific Bulletin of the Arctic. 2026;(20): 86–90.

Социогуманитарные науки

Научная статья

УДК 339.138

doi: 10.52978/25421220_2026_20_86–90

**МАРКЕТИНГ ВЗАИМООТНОШЕНИЙ НА ОСНОВЕ ОТДЕЛЬНЫХ
ЭЛЕМЕНТОВ МОДЕЛИ 4R В РАЗРЕЗЕ 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 маркетинг взаимоотношений рассматривается в разрезе неклассической формы взаимодействий, например, бизнес-бизнес (B2B), а в форме сотрудничества высших учебных заведений с субъектами малого бизнеса. Такая неклассическая форма требует особых форм взаимодействия, условий и факторов, которые влияют на эффективность взаимоотношений между выбранными субъектами.

Ключевые слова: маркетинг взаимоотношений, маркетинговая деятельность, малый бизнес, модель 4R.

Для цитирования: Земзюлина Н.Г., Доменко Ю.Ю., Глубокова Л.Г. Маркетинг взаимоотношений на основе отдельных элементов модели 4R в разрезе взаимодействия высших учебных заведений и субъектов малого бизнеса // Научный вестник Арктики. 2026. №20. С. 86–90. https://doi.org/10.52978/25421220_2026_20_86–90.

Humanities sciences

Original article

**RELATIONSHIP MARKETING BASED ON INDIVIDUAL ELEMENTS
OF THE 4R MODEL IN THE CONTEXT OF INTERACTIONS 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, relationship marketing is considered in the context of a non-classical form of interaction, for example, business-to-business (B2B), and in the form of interaction between higher education

institutions and small businesses. Such a non-classical form requires special forms of interaction, conditions and factors that affect the effectiveness of interaction between selected subjects.

Keywords: relationship marketing, marketing activities, small business, 4R model.

For citation: Zemzyulina N.G., Domenko Yu.Y., Glubokova L.G. Relationship marketing based on individual elements of the 4R model in the context of interactions between higher education institutions and small businesses. *Scientific Bulletin of the Arctic*. 2026;(20):86–90. (In Russ.). https://doi.org/10.52978/25421220_2026_20_86-90.

Введение. Высшие учебные заведения как субъекты некоммерческого сектора в сегодняшних реалиях нередко сталкиваются с теми же задачами, что и коммерческий сектор. Отсюда возникает потребность рассмотрения возможного использования некоммерческим сектором механизмов и инструментов, традиционно используемых в сфере бизнеса. В данном исследовании представлена концепция маркетинга взаимоотношений на основе отдельных элементов модели 4R в разрезе взаимодействия высших учебных заведений, как представителей некоммерческого сектора, и субъектов малого бизнеса, как особых субъектов в разрезе всех субъектов бизнеса, включая субъектов крупного бизнеса.

Основная часть. В настоящее время в России существует свыше тысячи государственных и негосударственных вузов, которые в современных условиях конкурируют не только между собой, но и вступают в конкурентную борьбу с различными субъектами как коммерческого, так и некоммерческого сектора. Возрастание конкуренции между вузами обеспечивается большим количеством учебных заведений, широким разнообразием образовательных услуг, а также услуг в целом.

Помимо образовательных услуг, вузы поставляют на рынок другие виды материальных и нематериальных продуктов, среди которых результаты научных исследований и прикладных проектов, опытные образцы инновационной продукции, услуги по сдаче в аренду движимого и недвижимого имущества. В связи с этим маркетинг вузов является мульти-товарным и мультирыночным.

Поскольку вузы производят широкий спектр услуг и продуктов, их деятельность в условиях конкуренции приобре-

тает отдельные элементы коммерческой деятельности.

Маркетинговая деятельность и продвижение вуза на рынке образовательных услуг и услуг в целом является одним из ключевых условий успешного функционирования учебного заведения, причем эффективные маркетинговые коммуникации вуза должны быть информационно обеспечены актуальными данными и выбраны эффективные инструменты и концепции взаимодействия с ключевыми контрагентами и субъектами взаимоотношений.

В рамках такой неклассической формы взаимодействий «Высшее учебное заведение – малый бизнес» в разрезе маркетинговой деятельности наиболее эффективной формой взаимодействия (взаимовлияния) выступает концепция маркетинга взаимоотношений.

Основным принципом маркетинга взаимоотношений является установление партнерских отношений с потребителями, сотрудниками компании и поставщиками. Как следствие, концепция маркетинга взаимоотношений подразумевает обязательное установление и поддержание обратной связи с целевыми сегментами потребителей [1].

В рамках данного исследования маркетинг взаимоотношений рассматривается не с позиции влияния на потребителя, а с позиции установления партнерских отношений между высшими учебными заведениями и субъектами малого бизнеса. При этом нельзя говорить об отсутствии воздействия выбранных субъектов друг на друга. Отсюда возникает потребность в системном определении механизмов, инструментов, принципов, методов взаимодействия и в целом определения концепции маркетинга взаимоотношений между высшими учебными заведениями и субъектами малого бизнеса на основе

имеющихся классических моделей или их отдельных элементов.

Такой классической моделью на сегодняшний день является модель 4R, изложенная американским ученым Эллиотом Эттенбергом (Elliott Ettenberg). Она включает в себя: отношение (Relation), экономия (Retrenchment), релевантность (Relevance), вознаграждение (Reward). В рамках этой модели предприятия должны сконцентрировать свое внимание на лучших клиентах, детально изучить их желания с целью разработки улучшенной потребительской стоимости. В соответствии с этими обстоятельствами, предприятия заменяют традиционную модель 4P моделью 4R, т.е. отношение, экономия, релевантность, вознаграждение [3].

Отдельно отметим, что в рамках данной работы интересным представляется диссертационное исследование Н.Б. Изиковой, в частности, содержание элементов комплекса маркетинга взаимоотношений 4R применительно к малым промышленным предприятиям [2].

Разработанный комплекс маркетинга взаимоотношений 4R к малым промышленным предприятиям в рамках данной работы выступает основой концепции маркетинга взаимоотношений высших учебных заведений и субъектов малого бизнеса с использованием отдельных элементов модели 4R с учетом специфики некоммерческого сектора и малого бизнеса (табл. 1).

Таблица 1

**Концепция маркетинга взаимоотношений на основе отдельных элементов модели 4R
в разрезе взаимодействия высших учебных заведений
и субъектов малого бизнеса***

Модель 4R	Субъекты маркетинга взаимоотношений в разрезе компетентностных характеристик, составляющих элементы модели 4R	Ценности субъектов маркетинга взаимоотношений	Результаты реализации элементов 4R
	Малый бизнес → вуз		
1R – Взаимодействие (relationship)	<i>Сервис</i> – инжиниринговая поддержка деятельности вуза, позволяющая снизить технологические риски образовательного процесса	<i>Технологические ценности:</i> оптимизация и повышение качества технологических процессов, повышение уровня технологических компетенций	Повышение качества технологической инфраструктуры
	Вуз → малый бизнес		
	<i>Опыт</i> – взаимодействие с ключевыми потребителями (субъектами крупного бизнеса), направленное на формирование доверия у партнеров (в т.ч. субъектов малого бизнеса) друг другу, построение длительных системных отношений взаимодействия	<i>Социальные ценности:</i> формирование доверия между вузом и субъектами малого бизнеса в рамках концепции маркетинга взаимоотношений	Удовлетворенность взаимодействием субъектов маркетинга взаимоотношений

Модель 4R	Субъекты маркетинга взаимоотношений в разрезе компетентностных характеристик, составляющих элементы модели 4R	Ценности субъектов маркетинга взаимоотношений	Результаты реализации элементов 4R
2R – Экономия (retrenchment)	Вуз ↔ малый бизнес		
	Время – экономия времени, построение прямых контактов между субъектами маркетинга взаимоотношений	Экономические ценности: снижение издержек субъектов маркетинга взаимоотношений как результат сокращения времени на оформление заявок, договоров	Удовлетворенность сроками оформления заявок, заключения договоров
	Удобство – гарантия соблюдения объемов и сроков выполнения заказов	Правовые ценности: оптимизация сложных юридических «делок» на основе имеющихся ранее заключенных реальных соглашений	Снижение правовых рисков и минимизация времени на заключение соглашений
3R – Релевантность (relevance)	Вуз → малый бизнес		
	Экспертиза – проведение научных разработок, исследований по запросам субъектов малого бизнеса	Экономические ценности: снижение издержек малого бизнеса как результат реализации эффективного маркетинга взаимоотношений	Актуализация и разработка технологических, экономических и управленческих решений субъектами малого бизнеса
	Товар – индивидуализация товарных предложений в соответствии с потребностями ключевых потребителей локальных рынков, на которых присутствуют субъекты малого бизнеса	Технологические ценности: инновации в технологических процессах, использование новых технологий, индивидуальный подход к потребителям	Повышение качества инновационных решений (УТП) в деятельности субъектов малого бизнеса
4R – Вознаграждение (reward)	Малый бизнес → вуз		
	Пожертвования – вовлечение субъектов малого бизнеса в реализацию механизмов привлечения денежных средств для повышения качества образовательной и научной деятельности на территории присутствия через развитие Эндаумент-фондов (инструментов)	Экономические ценности: привлечение добровольных пожертвований на повышение качества научной и образовательной деятельности	Повышение уровня вовлеченности и ответственности малого бизнеса за развитие локальных систем и механизмов
	Вуз ↔ малый бизнес		
	Бренд-развитие и усиление бренд-позиции субъектов маркетинга взаимоотношений	Социальные ценности: доступность и развитие механизмов усиления бренд-позиции субъектов маркетинга взаимоотношений	Синергетический эффект для развития бренда субъектов маркетинга взаимоотношений

*Составлено авторами на основе [2].

Представленная концепция маркетинга взаимоотношений на основе отдельных элементов модели 4R в разрезе взаимодействия высших учебных заведений и субъектов малого бизнеса позволяет определить контур и содержание взаимоотношений с учетом получения полезного эффекта (ценностей) для субъектов взаимоотношений, а именно высших учебных заведений и субъектов малого бизнеса.

Заключение. В классическом понимании нередко маркетинговая деятельность рассматривается в разрезе деятельности коммерческих организаций. В данном исследовании представлен формат реализации маркетинговой деятельности в формате маркетинга взаимоотношений между субъектами некоммерческого сек-

тора (высшие учебные заведения) и субъектами малого бизнеса.

Такая форма взаимодействия по праву может называться неклассической и требующей особой модели построения эффективного взаимодействия. Предложенная модель эффективного взаимодействия представлена через концепцию маркетинга взаимоотношений на основе отдельных элементов модели 4R в разрезе взаимодействия высших учебных заведений и субъектов малого бизнеса, где элементами взаимодействия выступает сервис, время, удобство, а также особая экспертиза высших учебных заведений, неиспользованный потенциал малого бизнеса (в т.ч. и финансовый), а также возможное усиление бренд-позиции субъектов взаимодействия.

Список источников

1. Депутатова Е.Ю., Шальнова О.А. Контент-маркетинг как коммуникативная стратегия маркетинга взаимоотношений // Социальные и экономические системы. 2023. №5–1(47). С. 110–127.

2. Изакова Н.Б. Управление маркетингом малого промышленного предприятия на основе концепции маркетинга взаимо-

отношений: дисс. ... канд. эконом. наук / Изакова Наталья Борисовна. 2019. 223 с.

3. Цзян Ч., Кметь Е.Б. Развитие моделей комплекса маркетинга: 4P, 7P, 4C, 4V и 4R // Экономическая наука сегодня: теория и практика: сборник материалов III Международной научно-практической конференции. Чебоксары, 2015. С. 143–148.

References

1. Deputatova E.Yu., Shalnova O.A. Content marketing as a communicative relationship marketing strategy // *Social and economic systems*. 2023;5–1(47):110–127. (In Russ.).

2. Izakova N.B. Marketing management of a small industrial enterprise based on the concept of marketing of mutual relations:

diss. ... Candidate of Economics. Sciences / Izakova Natalia Borisovna. 2019. 223 p.

3. Jiang Ch., Kmet E.B. The development of models of the marketing complex: 4P, 7P, 4C, 4V and 4R // *Economics today: theory and practice: collection of materials of the III International Scientific and Practical Conference*. Cheboksary, 2015. Pp. 143–148.

Научный вестник Арктики. 2026. №20. С. 91–96.
Scientific Bulletin of the Arctic. 2026;(20): 91–96.

Социогуманитарные науки

Научная статья

УДК 332.1:(005.96:331.1)(571.51)

doi: 10.52978/25421220_2026_20_91–96

**УПРАВЛЕНИЕ ЧЕЛОВЕЧЕСКИМИ РЕСУРСАМИ
В АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЕ: КАДРОВЫЕ СТРАТЕГИИ
В ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ УСЛОВИЯХ**

Доменко Юрий Юрьевич

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

E-mail: DomenkoYY@norvuz.ru

Газизова Юлия Илдусовна

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

E-mail: Gazizaza5@gmail.com

Петр Илья Инколаевич

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

E-mail: Letrychik@mail.ru

Хамица Андрей Сергеевич

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

E-mail: Gyr3a14@gmail.com

Аннотация. Исследуются особенности управления человеческими ресурсами в Арктической зоне на примере города Норильска. Рассмотрены стратегии властей и организаций по формированию кадрового потенциала. Выявлены ключевые проблемы, а также представлены подходы к управлению персоналом в рамках Комплексного плана социально-экономического развития города до 2035 года.

Ключевые слова: управление человеческими ресурсами, Арктика, Норильск, кадровая политика, миграция населения, трудовые ресурсы, заработная плата, социальная инфраструктура, северные территории, экстремальные условия труда.

Для цитирования: Доменко Ю.Ю., Газизова Ю.И., Петр И.И., Хамица А.С. Управление человеческими ресурсами в Арктической зоне: кадровые стратегии в экстремальных условиях // Научный Вестник Арктики. 2026. №20. С. 91–96. https://doi.org/10.52978/25421220_2026_20_91–96.

Humanities sciences

Original article

**HUMAN RESOURCE MANAGEMENT IN ARCTIC ZONE:
PERSONNEL STRATEGIES IN EXTREME CONDITIONS**

Yuri Y. Domenko

Fedorovsky Polar State University, Norilsk, Russia

E-mail: DomenkoYY@norvuz.ru

Yulia I. Gazizova

Fedorovsky Polar State University, Norilsk, Russia

E-mail: Gazizaza5@gmail.com

Ilya I. Letr

Fedorovsky Polar State University, Norilsk, Russia

E-mail: Letrychik@mail.ru

Andrey S. Khamitsa

Fedorovsky Polar State University, Norilsk, Russia

E-mail: Gyr3a14@gmail.com

Abstract. Examines the specifics of human resource management in the Arctic zone, using the city of Norilsk as a case study. The strategies of authorities and organizations for building human resource capacity are reviewed. Key problems are identified, and approaches to personnel management within the framework of the Comprehensive Plan for the Socio-Economic Development of the city until 2035 are presented.

Keywords: human resource management, Arctic, Norilsk, personnel policy, population migration, labor resources, wages, social infrastructure, northern territories, extreme working conditions.

For citation: Domenko Yu.Y., Gazizova Yu.I., Letr I.I., Khamitsa A.S. Human resource management in the Arctic zone: personnel strategies in extreme conditions. *Scientific Bulletin of the Arctic*. 2026;(20):91–96. (In Russ.). https://doi.org/10.52978/25421220_2026_20_91-96.

Введение. Арктические территории России представляют собой стратегически важный регион, сосредотачивающий значительные запасы природных ресурсов и играющий ключевую роль в обеспечении экономической безопасности страны. Однако при освоении этих территорий он сталкивается с критической проблемой недостатка трудовых ресурсов. По данным Росстата, население российской Арктики сократилось с 2,4 млн. человек в 1989 г. примерно до 2,1 млн. человек в 2020-х г. [1].

Норильск, являясь крупнейшим городом мира за Полярным кругом, представляет собой уникальную возможность для изучения практик управления персоналом в экстремальных условиях. По данным на 01.01.2025 г., численность постоянного населения города составила 176 468 человек [2]. Город характеризуется суровыми климатическими условиями с температурами до -50°C , двухмесячной полярной ночью и полным отсутствием наземного транспортного сообщения с «большой землёй».

Градообразующее предприятие ПАО «ГМК «Норильский никель» является одним из крупнейших в мире производителей никеля, меди, палладия и платины.

В 2024 г. объём промышленного производства города составил 1 054 млрд. руб., увеличившись на 2,4% по сравнению с предыдущим годом [2]. Такие масштабы производства требуют фор-

мирования и поддержания высококвалифицированного кадрового потенциала в условиях, радикально отличающихся от центральных регионов России.

Цель исследования – анализ особенностей управления человеческими ресурсами в арктических регионах и выявление эффективных стратегий привлечения и удержания персонала на примере города Норильска.

Задачи исследования:

1. Проанализировать демографическую ситуацию и состояние рынка труда в Норильске.

2. Выявить специфику рынка труда.

3. Исследовать стратегии привлечения и удержания персонала, применяемые основными работодателями.

Эмпирическую базу исследования составили официальные статистические данные Управления Федеральной службы государственной статистики по Красноярскому краю за 2023–2024 гг., материалы итогов социально-экономического развития муниципального образования город Норильск за 2024 г., данные отчётности ПАО «ГМК «Норильский никель», информация министерств и ведомств Красноярского края.

В работе использованы методы статистического и сравнительного анализа показателей территории с общероссийскими и среднекраевыми значениями, метод структурного анализа для изучения демографической структуры насе-

ления и структуры занятости. Применялся системный подход для комплексного изучения взаимосвязи различных факторов, влияющих на управление персоналом в арктических условиях.

Теоретическую основу исследования составили работы отечественных учёных в области управления персоналом, региональной экономики, социально-экономического развития северных территорий [3; 4].

Специфика арктического рынка труда. Управление персоналом в Арктике характеризуется рядом уникальных особенностей, радикально отличающих его от практик центральных регионов России.

Экстремальные температуры, полярная ночь и день создают повышенную нагрузку на организм человека. По данным за 2024 г., общая заболеваемость населения Норильска составила 2 234,4 случая на 1 тыс. населения, увеличившись на 5,6% по сравнению с 2023 г. Особенно значительный рост отмечен по туберкулёзу (48,3%) и сахарному диабету (103%) [2]. Это требует от работодателей не только тщательного медицинского отбора персонала, но и организации регулярных программ реабилитации и профилактики.

Норильск не имеет круглогодичного наземного транспортного сообщения с другими регионами страны. Единственный способ доставки персонала – авиатранспорт, что существенно увеличивает транспортные издержки работодателей. Средняя стоимость авиабилета значительно превышает расходы на транспорт в других регионах, что делает ротацию персонала дорогостоящей процедурой.

Норильск характеризуется молодой возрастной структурой населения: средний возраст жителя составляет 35,2 года при среднероссийском показателе 41 год [2]. Доля населения в трудоспособном возрасте достигает 69,5% против 58% по России. Удельный вес населения старше трудоспособного возраста составляет всего 10% при среднероссийском показателе 23,6%.

Такая структура обусловлена тем, что в Норильск приезжают преимущественно трудоспособные граждане, а по достижении пенсионного возраста большинство жителей покидают город. Это создаёт постоянную потребность в привлечении новых кадров взамен выбывающих.

Несмотря на применение северных коэффициентов и надбавок, реальная покупательная способность населения снижается из-за высоких цен. Так, в 2024 г. стоимость основного набора продуктов питания из 28 наименований составила 9 868,5 руб., увеличившись на 10,5% по сравнению с предыдущим годом [2]. Индекс потребительских цен по Красноярскому краю составил 109,6%, что выше общероссийского уровня.

Состояние рынка труда и занятости. По оценке 2024 г., среднесписочная численность работников по полному кругу организаций составила 98 878 человек, снизившись на 1,5% к уровню 2023 г. [2]. На крупных и средних предприятиях осуществляли трудовую деятельность 83 756 человек.

Наибольший удельный вес в структуре занятости приходится на градообразующее предприятие ПАО «ГМК «Норильский никель» и его аффилированные компании. В 2024 г. среднемесячная заработная плата работников Заполярного филиала ПАО «ГМК «Норильский никель» составила 217 134 руб., увеличившись на 10,3% по сравнению с предыдущим годом [2].

Рынок труда Норильска характеризуется крайне низким уровнем безработицы. По состоянию на 01.01.2025 г. уровень зарегистрированной безработицы составил 0,2%, численность безработных – 284 чел. [2]. Коэффициент напряжённости на рынке труда составил 0,08 человека на одну вакансию, что свидетельствует о значительном превышении спроса на рабочую силу над предложением.

Количество вакансий на 01.01.2025 г. составило 3 535 единиц [2]. Наиболее востребованными являются:

- профессии рабочих: монтажник стальных и железобетонных конструкций (123 вакансии), водитель автомобиля (98), слесарь аварийно-восстановительных работ (87);

- специалисты и служащие: врачи различных специальностей (154 вакансии), инженеры (129), медицинские сёстры (111).

Стратегии привлечения и удержания персонала. Современные подходы к управлению человеческими ресурсами выделяют несколько базовых типов стратегий в области привлечения и удержания персонала, которые применяются в зависимости от целей компании, отрасли и рыночной ситуации:

1. Традиционная компенсационно-мотивационная стратегия. Основа — конкурентоспособная заработная плата, бонусы, льготы и социальные пакеты. Эта стратегия нацелена на снижение текучести за счёт материального стимулирования.

2. Стратегия человеческого капитала и развития компетенций. Включает обучение, профессиональное развитие, карьерные треки, систему наставничества, корпоративные университеты. Она рассматривает сотрудников не как затраты, а как ресурс для долгосрочного развития компании.

3. Брендинг работодателя. Создание привлекательного образа компании на рынке труда с целью привлечения талантов и формирования лояльности среди существующих сотрудников.

4. Культура вовлечённости и внутреннего социального капитала. Формирование корпоративной культуры, которая поддерживает вовлечённость, обратную связь, признание и самореализацию сотрудников.

5. Гибкие организационные модели труда. Включают гибкий график, удалённую работу, карьерное сопровождение и адаптацию под потребности сотрудников, что особенно актуально для конкурентных сегментов рынка.

В Норильске разработаны комплексные подходы к привлечению и удержанию работников, включающие финансо-

вую мотивацию, жилищные программы и широкий спектр социальных гарантий.

В 2024 г. средняя заработная плата работников крупных и средних организаций города составила 182 860 руб., увеличившись на 11,8% по сравнению с 2023 г. [2]. Это в 2,4 раза превышает среднюю заработную плату по России.

Применение районного коэффициента 1,8 и северной надбавки до 80% от оклада обеспечивает существенную надбавку к базовому окладу. С учётом этих коэффициентов минимальный размер оплаты труда для Норильска в 2024 г. составил 50 029,2 руб. против 19 242 руб. по России [2].

ПАО «ГМК «Норильский никель» реализует масштабные программы жилищного обеспечения работников. В 2024 г. в рамках Комплексного плана социально-экономического развития введено в эксплуатацию 6 268 кв. м жилья (3 жилых дома по адресам: ул. Лауреатов, 58; ул. Спортивная, 4 и 6) [2].

Продолжается строительство микрорайона Оганер, где планируется возведение 11 многоэтажных жилых домов, детского сада на 270 мест и общеобразовательной школы на 1100 мест. Финансирование проекта осуществляется за счёт средств ПАО «ГМК «Норильский никель».

В рамках четырёхстороннего соглашения от 20.02.2021 г. между Минвостокразвития России, Правительством Красноярского края, Администрацией города Норильска и ПАО «ГМК «Норильский никель» реализуется программа переселения граждан в регионы с благоприятными условиями проживания. На 2024 г. выделено финансирование в размере 1 159,1 млн. руб. [2]. За отчётный период свидетельства получили 218 семей (356 чел.) на сумму 889,9 млн. руб.

В рамках муниципальной программы «Приглашение специалистов, обладающих специальностями, являющимися дефицитными для муниципальных и иных учреждений» в 2024 г. в город прибыло и трудоустроилось 76 специа-

листов [2], включая 26 медицинских работников, 37 педагогов, 6 работников культуры, 4 специалиста в сфере спорта.

Специалистам предоставляется благоустроенное служебное жильё, выплачиваются материальная помощь на обустройство и стипендия студентам, оплачиваются расходы на переезд, компенсируются расходы на оплату найма жилого помещения.

Почему в Норильске используются именно такие стратегии? Потому что удалённость и специфические условия труда в Арктике требуют не только высокой оплаты, но и значимой социальной поддержки: инфраструктура, здоровье, качество жизни. Мотивационные и социальные компоненты стратегии стоят на первом плане.

Заключение. Управление человеческими ресурсами в арктических регионах требует системного подхода, существенно отличающегося от практик центральных регионов. Ключевыми факторами успеха являются: значительная финансовая компенсация (средняя зарплата 182 860 руб., у градообразующего предприятия – 217 134 руб.), масштабные инвестиции в социальную инфраструктуру (120 млрд. руб. по Комплексному плану), гибкие формы организации труда, постоянное внимание к здоровью работников.

Демографическая структура Норильска характеризуется молодостью населения и высокой долей трудоспособного населения, что создаёт благоприятные условия для экономического развития, но требует постоянного привлечения новых кадров взамен выбывающих по достижении пенсионного возраста.

Миграционный отток населения остаётся ключевой проблемой, не компенсируемой естественным приростом, что свидетельствует о том, что даже высокие заработные платы не могут полностью компенсировать дискомфорт проживания в экстремальных условиях.

Долгосрочная перспектива развития связана с дальнейшей автоматизацией производства (186,2 млрд. руб. инвестиций в 2024 г.), расширением вахтового метода и созданием максимально комфортной городской среды.

Практическая значимость исследования заключается в возможности использования выявленных стратегий и подходов при разработке программ социально-экономического развития других арктических территорий России. Опыт Норильска демонстрирует, что управление персоналом в Арктике – это не только HR-задача, но и комплексная проблема, включающая градостроительство, социальную политику, экологию и технологическое развитие.

Список источников

1. Федеральная служба государственной статистики. Регионы России. Социально-экономические показатели. 2024. [сайт]. URL: <https://rosstat.gov.ru/folder/210/document/13204> (дата обращения: 05.01.2026).
2. Итоги социально-экономического развития муниципального образования город Норильск за 2024 год. Норильск: Администрация города Норильска, 2025.
3. Корчак Е.А. Роль трудового потенциала в устойчивом развитии Арктической зоны России // Арктика и Север. 2019. №36. С. 5–23.

4. Замятина Н.Ю., Пилясов А.Н. Российская Арктика: к новому пониманию процессов освоения. М., 2018. 395 с.
5. ПАО «ГМК «Норильский никель». Отчет об устойчивом развитии 2024. [сайт]. URL: <https://nornickel.ru/sustainability/sustainability-reports/> (дата обращения: 05.01.2026).
6. Министерство здравоохранения Красноярского края. Статистические данные. [сайт]. URL: <http://kraszdrazv.ru/pages/stat> (дата обращения: 05.01.2026).

References

1. Federal State Statistics Service. Regions of Russia. Socio-economic indicators. 2024. [website]. URL: <https://rosstat.gov.ru/folder/210/document/13204> (accessed: 05.01.2026).
2. Results of the socio-economic development of the municipality of Norilsk in 2024. Norilsk: Norilsk City Administration, 2025.
3. Korchak E.A. The role of labor potential in the sustainable development of the Arctic zone of Russia // *Arctic and North*. 2019;(36):5–23. (In Russ.).
4. Zamyatina N.Yu., Pilyasov A.N. The Russian Arctic: towards a new understanding of the development processes. Moscow, 2018. 395 p.
5. PJSC MMC Norilsk Nickel. Sustainability Report 2024. [website]. URL: <https://nornickel.ru/sustainability/sustainability-reports/> (accessed: 05.01.2026).
6. Ministry of Health of the Krasnoyarsk Territory. Statistical data. [website]. URL: <http://kraszdraz.ru/pages/stat> (accessed: 05.01.2026).

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. В журнале может быть опубликовано не более двух статей от одного автора.

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 Р7.05–2008.

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. No more than two articles from one author can be published in the journal.

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 14.03.2026.
Бум. для копир.-мн.ап.
Гарнитура *Century*. Печать плоская.
Тираж 100 экз. Зак. 1.

663310, Норильск, ул. 50 лет Октября, 7.
E-mail: rio@norvuz.ru