

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РФ

**Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования**

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

НАУЧНЫЙ ВЕСТНИК АРКТИКИ

№16

Норильск 2024

НАУЧНЫЙ ВЕСТНИК АРКТИКИ

НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

№16

Издатель:

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

Учредитель:

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

Журнал издается с 2007 года

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

Входит в базу ВИНИТИ

Адрес редакции:

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

E-mail: rio@norvuz.ru



При оформлении обложки использовано
фото *А. Харитонова*

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

Мнение редакции может не совпадать
с мнением авторов.

Материалы публикуются в авторской
редакции.

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

Тарасевич Аркадий Викторович – главный редактор, к.х.н., проректор по научной и международной деятельности Заполярного государственного университета им. Н.М. Федоровского

Демченко Олег Николаевич – заместитель главного редактора, к.филос.н., доцент, доцент кафедры философии, истории и иностранных языков Заполярного государственного университета им. Н.М. Федоровского

Беляев Игорь Сергеевич – к.э.н., заведующий кафедрой информационных систем и технологий Заполярного государственного университета им. Н.М. Федоровского

Ванюкова Наталия Дмитриевна – д.т.н., профессор, заведующий кафедрой металлургии цветных металлов Заполярного государственного университета им. Н.М. Федоровского

Великоруссов Петр Викторович – директор Политехнического колледжа.

Дарбинян Тигран Петросович – к.т.н., 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 – к.т.н., доцент, заведующий кафедрой строительства и теплогазоснабжения Заполярного государственного университета им. Н.М. Федоровского

Крупнов Леонид Владимирович – к.т.н., доцент, главный металлург – начальник управления технологического планирования и контроля

Научно-технического департамента ЗФ ПАО «ГМК «Норильский никель»

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

Разгон Антон Викторович – к.э.н., доцент кафедры экономики и финансов Финансового университета при Правительстве Российской Федерации, Алтайский филиал (г. Барнаул).

Федоров Андрей Аполлинарьевич – к.т.н., доцент, заведующий кафедрой технологических машин и оборудования Заполярного государственного университета им. Н.М. Федоровского

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

Черемисин Алексей Александрович – к.г.н., доцент, декан горно-технологического факультета Заполярного государственного университета им. Н.М. Федоровского

Чикишев Денис Николаевич – д.т.н., доцент, профессор кафедры технологий обработки материалов Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова (г. Магнитогорск)

Шигалутон Станислав Хазретович – д.ф.-м.н., доцент, заведующий кафедрой физико-математических дисциплин Заполярного государственного университета им. Н.М. Федоровского

Щадов Геннадий Иванович – к.э.н., доцент, заведующий кафедрой разработки месторождений полезных ископаемых Заполярного государственного университета им. Н.М. Федоровского

СОДЕРЖАНИЕ / CONTENTS

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

TECHNICAL SCIENCES

**Иванов А.Г., Арсентьев Ю.А.,
Склянов В.И., Иванов Д.А.**

Анализ применимости глиноцементных
растворов для гидроизоляции
заколонного пространства
технологических скважин

*Ivanov A.G., Arsentiev Yu.A.,
Sklyanov V.I., Ivanov D.A.*

Analysis of the applicability of clay-
cement solutions for waterproofing
the behind-the-wall space
of technological wells.....6

**Крупнов Л.В., Пархоменко И.Ю.,
Каверзин А.В.**

Общие подходы к совершенствованию
металлургических агрегатов.
Критерии их оценки

*Krupnov L.V., Parkhomenko I.Yu.,
Kaverzin A.V.*

General approaches to the improvement o
metallurgical units. Criteria for their
assessment.....12

Петров А.М., Мозгунов Д.В.

Повышение эффективности информаци-
онных процессов в автоматизированных
системах теплоснабжения

Petrov A.M., Mozgunov D.V. Increasing
the efficiency of information processes in
automated heat supply systems.....23

Юрченко А.А., Елесин М.А.

Виды цемента и технологии
его получения

Yurchenko A.A., Elesin M.A.

Types of cement and technologies
for its production..... 30

**Губина Н.А., Вакуленко Т.И.,
Рагимова Р.К.**

Обследование зданий, эксплуатируемых
в условиях Крайнего Севера

*Gubina N.A., Vakulenko T.I.,
Ragimova R.K.*

Survey of buildings operated in the
conditions of the Far North.....38

Кочетков М.В., Панфилов В.А.

Устаревающее электрическое
оборудование в условиях Крайнего
Севера при выборе стратегий развития
и обслуживания технологических
процессов

Kochetkov M.V., Panfilov V.A.

Aging electrical equipment in the
conditions of the far north when choosing
strategies for the development and
maintenance of technological processes....44

**Рысева О.П., Богачев Т.В.,
Лаврентьев Д.В., Матусевич А.А.,
Мулькаманов Ш.Р.**

Оптимизация инфраструктуры
Заполярного государственного
университета

*Ryseva O.P., Bogachev T.V.,
Lavrentiev D.V., Matusevich A.A.,
Mulkamanov S.R.*

Optimization of the Infrastructure of the
Polar State University.....56

Бессонова А.С., Елесин М.А.

Опыт применения строительных материа-
лов на основе органического сырья
в условиях Крайнего Севера

Bessonova A.S., Elesin M.A.

Experience in the use of building
materials based on organic raw materials
in the conditions of the Far North.....64

**Туртыгина Н.А., Охрименко А.В.,
Шаров С.А., Фролов Н.А.**

Влияние геологического строения
месторождений Норильска на уровень
стабильности вещественного состава
рудной массы при подземной добыче

*Turtygina N.A., Okhrimenko A.V.,
Sharov S.A., Frolov N.A.*

The influence of the geological structure
of Norilsk deposits on the level of
stability of the material composition
of the ore mass during underground
mining..... 70

**ЕСТЕСТВЕННО-НАУЧНЫЕ
ДИСЦИПЛИНЫ
NATURAL SCIENCES**

Дубровин В.А.

Современные технологии в работе центра
«Экология здоровья» по сохранению
и укреплению здоровья обучающихся
в условиях Арктической зоны

Dubrovin V.A.

Modern technologies in the work
of the Center «Ecology of Health»
for the preservation and strengthening
of the health of students
in the Arctic zone.....80

Дементьев Ю.И., Лущникова Г.А.

Модели финансовых операций,
актуальные проблемы
Dementiev Yu.I., Lushnikova G.A.
Models of financial transactions, current
examples87

Боровицкая А.О.

Операционное исчисление
как инструмент для решения
прикладных задач

Borovitskaya A.O.

Operational calculus as a tool for solving
applied problems..... 92

**СОЦИОГУМАНИТАРНЫЕ НАУКИ
HUMANITIES SCIENCES**

Лущникова Г.А.

Влияние образовательной среды
технического вуза на активизацию
развития личности

Lushnikova G.A.

The influence of the educational
environment of a technical university
on the activation of personality
development..... 100

Научный вестник Арктики. 2024. №16. С. 6–11.
Scientific Bulletin of the Arctic. 2024;(16):6–11.

Технические науки

Научная статья

УДК 622.277

doi: 10.52978/25421220_2024_16_6–11

АНАЛИЗ ПРИМЕНИМОСТИ ГЛИНОЦЕМЕНТНЫХ РАСТВОРОВ ДЛЯ ГИДРОИЗОЛЯЦИИ ЗАКОЛОННОГО ПРОСТРАНСТВА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СКВАЖИН

Александр Георгиевич Иванов

Ведущий проектно-изыскательский и научно-исследовательский институт промышленной технологии,
Москва, Россия

E-mail: ivanov_ag@mail.ru

Юрий Александрович Арсентьев

Российский государственный геологоразведочный университет, Москва, Россия

E-mail: arsentev1956@yandex.ru

Владимир Иванович Склянов

Российский государственный геологоразведочный университет, Москва, Россия

E-mail: sklyanov_vi@mail.ru

Дмитрий Александрович Иванов

Компания «Везерфорд», Москва, Россия

E-mail: dexhouse@yandex.ru

Аннотация. Сооружение технологических скважин скважинного подземного выщелачивания урана в различных горно-геологических условиях связано с необходимостью соблюдения экологической безопасности недр. Это определяет требования к технологиям и материалу гидроизоляции для исключения перетоков рабочих растворов по заколонному пространству и загрязнения пород по стволу скважины. Для гидроизоляции могут быть использованы различные виды тампонажных материалов. В настоящей работе рассмотрены области применения глиноцементных тампонажных материалов в различных условиях.

Ключевые слова: технологические скважины, тампонажные материалы, свойства глиноцементного камня, применение глиноцементного камня.

Для цитирования: Анализ применимости глиноцементных растворов для гидроизоляции заколонного пространства технологических скважин / А.Г. Иванов, Ю.А. Арсентьев, В.И. Склянов, Д.А. Иванов // Научный вестник Арктики. 2024. №16. С. 6–11. https://doi.org/10.52978/25421220_2024_16_6–11.

Technical sciences

Original article

ANALYSIS OF THE APPLICABILITY OF CLAY-CEMENT SOLUTIONS FOR WATERPROOFING THE BEHIND-THE-WALL SPACE OF TECHNOLOGICAL WELLS

Alexander G. Ivanov

Leading Design and Survey and Research Institute of Industrial Technology, Moscow, Russia

E-mail: ivanov_ag@mail.ru

Yuri A. Arsentiev

Russian State Geological Exploration University, Moscow, Russia

E-mail: arsentev1956@yandex.ru

Vladimir I. Sklyanov

Russian State Geological Exploration University, Moscow, Russia

E-mail: sklyanov_vi@mail.ru

Dmitriy A. Ivanov

Weatherford Compani, Moscow, Russia

E-mail: dexhouse@yandex.ru

Abstract. The construction of technological wells for borehole underground leaching of uranium in various mining and geological conditions is associated with the need to comply with the environmental safety of the subsoil. This determines the requirements for waterproofing technologies and materials to exclude overflows of working solutions through the back-water space and contamination of rocks along the borehole. Various types of grouting materials can be used for waterproofing. In this paper, the fields of application of clay cement grouting materials in various conditions are considered.

Keywords: technological wells, grouting materials, properties of clay cement stone, application of clay cement stone.

For citation: Analysis of the applicability of clay-cement solutions for waterproofing the behind-the-wall space of technological wells / A.G. Ivanov, Yu.A. Arsentiev, V.I. Sklyanov, D. Ivanov. *Scientific Bulletin of the Arctic*. 2024;(16): 6–11. (In Russ.). http://dx.doi.org/10.52978/25421220_2024_16_6-11.

Введение. Метод скважинного подземного выщелачивания урана в настоящее время является самым распространенным способом добычи этого металла. Особенности его применения изложены в многочисленных отечественных и зарубежных публикациях [1–7].

Гидроизоляция заколонного пространства технологических скважин скважинного подземного выщелачивания (СПВ) урана – один из самых ответственных элементов как технологического процесса сооружения скважин, так и элемент ее конструкции. Материалом гидроизоляции при этом могут выступать цементный, глиноцементный, полимерный и иные виды растворов.

Под *глиноцементными* понимают растворы, твердеющие с образованием глиноцементного камня. По сравнению с цементными, глиноцементные растворы имеют следующие преимущества: высокую стабильность системы «цемент–глина–вода» и выход тампонажного камня до 100%; устойчивость растворов размыву подземными водами; глиноцементный камень легко разбуривается, он достаточно пластичен, обладает высокой водонепроницаемостью. Однако область его применения для гидроизоляции технологических скважин СПВ

урана ограничена горно-геологическими условиями обрабатываемых месторождений.

Целью настоящей работы является анализ возможности и областей применения глиноцементных растворов для сооружения скважин СПВ урана.

Методический подход к решению вопроса применимости глиноцементных растворов. В основе методического подхода к применимости глиноцементного камня лежит анализ результатов ранее выполненных в этом направлении работ и результаты собственных исследований [8–11].

Применение глиноцементных растворов вместо цементных снижает стоимость работ по тампонированию за счет уменьшения расхода цемента. Реологические свойства глиноцементного раствора и условий его твердения применительно к тампонированию обводненных пород при проходке стволов шахт приведены в работе [8]. Основные выводы, сделанные по результатам выполненных исследований, следующие:

1. Свойства глиноцементных растворов значительно меняются в зависимости от изменения водотвердого отношения В/Т и величины добавки глины. Добавка глины увеличивает выход камня, количество удерживаемой осадком

воды, снижает величину и интенсивность водоотделения растворов.

2. Уменьшение отношения В/Т приводит к увеличению выхода камня, времени полного водоотделения, плотности раствора и снижению сроков схватывания.

3. Глиноцементный камень менее водопроницаем, чем камень цементных растворов.

4. Сроки схватывания стабильных глиноцементных растворов удлиняются по сравнению с чисто цементными растворами: начало схватывания – в 1,3–2,7 раза, конец схватывания – в 1,6–2,9 раза

в зависимости от В/Т и величины добавки глины.

Количество глины в глиноцементных растворах, применяемых в нефтегазовой промышленности, составляет до 30% от сухих компонентов. По данным, приведенным в работе [12], при содержании глины более 50% конец схватывания наступает через 25 ч, а при содержании глины более 70% смесь практически не твердеет (при температуре +20 °С).

Сравнительная стойкость к растворам кислот глиноцементных и цементных составов на основании работы [10] приведена в табл. 1.

Таблица 1

Кислотостойкость тампонажных материалов

Вид материала	Количество выщелоченных окислов, мг			Снижение стойкости, раз
	CaO	R ₂ O ₃		
Тампонажный цемент для «холодных» скважин	1188	304	1492	1,0
	1224	389	1613	1,0
Глиноцемент (70% цемент, 30% глина)	1809	596	2405	1,6
	1533	890	2423	1,5
Глиноцемент (50% цемент, 50% глина)	1876	829	2705	1,8
	1526	869	2395	1,5

В числителе приведены данные для концентрации серной кислоты 5 г/л, в знаменателе – для концентрации 20 г/л.

По этим результатам был сделан вывод о допустимости использования глиноцементного камня на ответственных участках скважины. На ответственных участках скважины (башмак эксплуатационной колонны, интервалы проницаемых пород и т.д.) глиноцементные растворы неприменимы [13].

Результаты выполненных работ. Для определения механической прочности авторами были выполнены испытания

глиноцементного камня. Для приготовления образцов применялись цементный и глинистый растворы. Причем использовался глинистый раствор, выходящий из скважины при II этапе цементирования. Пробы отбирались сразу после выхода раствора из скважины, в середине и в конце цементирования.

Свойства глиноцементного камня в зависимости от свойств использованных для приготовления образцов глинистого и цементного растворов приведены в табл. 2.

Таблица 2

Свойства глиноцементного камня

№ п/п	Период ожидания затвердевания глиноцементного камня, сут.	Глинистый раствор		Цементный раствор		Глиноцементный камень	
		Плотность, г/см ³	Объем, дм ³	Плотность, г/см ³	Объем, дм ³	Усадка после ОЗЦ, %	Прочность образца на сжатие, МПа
1	19	1,23	1,0	1,78	0,25	15	0,4
2	"	1,18	"	"	"	25	0,2
3	"	1,1	"	"	"	37,5	1,25
4	18	1,22	"	1,76	0,5	11	0,4
5	"	1,17	"	"	"	16,5	0,8
6	"	1,13	"	"	"	25	0,9
7	15	1,22	"	1,74	1,0	10	1,0
8	"	1,19	"	"	"	12,7	1,5
9	"	1,16	"	"	"	18,7	0,8
10	13	1,23	"	1,75	1,5	9,5	1,0
11	"	1,2	"	"	"	12,5	1,2
12	"	1,15	"	"	"	15,2	0,6
13	15	1,18	"	1,72	2,0	25	2,8
14	"	1,16	"	"	"	22,5	3,0
15	"	1,13	"	"	"	19	2,4
16	12	1,19	"	1,73	3,0	37,2	1,5
17	"	1,22	"	"	"	30,5	2,0
18	"	1,16	"	"	"	32	3,5
19	"	1,3	"	1,75	4,0	7,7	4,3
20	"	1,27	"	"	"	7	3,0

Выполненные стендовые испытания по определению прочности глиноцементного камня на сжатие показали, что прочность глиноцементных образцов на порядок ниже прочности образцов цементного камня, для которого эта величина составляет около 49 МПа [13].

Это существенно снижает область применения глиноцементов при сооружении технологических скважин СПВ урана. Плотность глиноцементного раствора в момент приготовления из глинистого раствора плотностью 1,15 г/см³ и цементного раствора плотностью 1,72 г/см³ приведена в табл. 3.

Таблица 3

Плотность глиноцементного раствора

Объем глинистого раствора, дм ³	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Объем цементного раствора, дм ³	0,25	0,5	1,0	1,5	2,0	3,0	4,0
Плотность глиноцементного раствора при приготовлении, г/см ³	1,36	1,42	1,5	1,56	1,6	1,65	1,68

Одним из критериев применимости глиноцементного камня для гидроизоляции заколонного пространства может быть его способность выдерживать горное давление вмещающих пород. Максимальную величину горного давления ориентировочно можно определить по формуле, рекомендуемой специалистами ВНИИКРнефть:

$$P_{гор} = \frac{\rho_{п} \cdot H_{п}}{10},$$

где $P_{гор}$ – горное давление, кг/см²; $\rho_{п}$ – средняя плотность пород до глубины определения горного давления, для осадочных пород можно принять $\rho_{п} = 2,3$ т/м³; $H_{п}$ – глубина определения горного давления, м.

Расчетная величина горного давления для различных глубин приведена в табл. 4.

Таблица 4

Расчетная величина горного давления

Глубина H , м	100	200	300	400
Горное давление $P_{гор}$, МПа	2,3	4,6	6,9	9,2

Исследования химических свойств бентонитовых материалов (бентонит является основным материалом глинистого и глиноцементного растворов), выполненные с участием авторов, приведены в работе [11] и в настоящей статье не приводятся.

Выводы:

1. Использование глиноцементного раствора не обеспечивает гарантированного предотвращения перетоков рабочих

растворов по заколонному пространству технологических скважин СПВ урана из-за его низкой механической прочности и возможности химического разрушения глиноцементного камня при контакте с рабочими растворами кислот.

2. Глиноцементные растворы могут применяться для гидроизоляции заколонного пространства технологических скважин СПВ урана только выше интервала цементирования при гарантированном отсутствии прорыва рабочих растворов через цементный камень из прифилтровой зоны и низком горном давлении в интервале его размещения.

3. Глиноцементные растворы могут применяться для выполнения ликвидационных работ по окончании отработки блоков или залежей, выведенных из эксплуатации.

Список источников

1. Добыча урана методом подземного выщелачивания в криолитозоне: монография / под ред. И.Н. Солодова. 2022. 183 с.

2. Uranium recovery from sandstone-type uranium deposit by acid in-situ leaching-an example from the Kujiertai / Yipeng Zhou, Guangrong Li, Lingling Xu, Jinhui Liu, Zhanxue Sun, Weijun Shi // Hydrometallurgy. 2020. Vol. 191. С. 17–25.

3. Геотехнология урана (российский опыт): монография / под ред. И.Н. Солодова, Е.Н. Камнева. М.: КДУ; Университетская книга, 2017. 576 с.

4. Preparation, characterization, and rheological analysis of eco-friendly geopolymer grouting cementitious materials based on industrial solid wastes / Dedan Duan Haibin Wu, Fang Wei, Huiping Song, Zhibin Ma, Zhang Chen, Fangqin Cheng // Journal of Building Engineering. 2023. Vol. 78. С. 92–113.

5. Rheological and viscoelastic characterizations of fly ash/slag/silica fume-based geopolymer / LiLi, Yu-jie Wei, Zongli Li, Muhammad Usman Farooqi. // Journal of Cleaner Production. 2022. Vol. 354. С. 48–52.

6. О расчете эксплуатационных колонн из полимерных материалов для условий многолетнемерзлых пород / Ю.А. Арсентьев, А.П. Назаров, Ю.В. Забайкин, А.Г. Иванов //

Актуальные проблемы и перспективы развития экономики: российский и зарубежный опыт. 2019. №21. С. 27–32.

7. Патент. Способ гидроизоляции заколонного пространства скважин и состав смеси для его осуществления: №2726086 от 09.07.2020 / А.В. Глухов, С.И. Ермоленко, А.Г. Иванов, Д.А. Иванов.

8. Кравцов Б.И. Применение глиноцементных растворов для предварительного тампонирувания обводненных пород. М.: ЦНИЭУголь, 1970. 45 с.

9. Бурение и оборудование геотехнологических скважин / И.А. Сергиенко, А.Ф. Мосев, Э.А. Бочко, М.К. Пименов. М.: Недра, 1984. 224 с.

10. Тампонажные составы для изоляции технологических скважин при подземном выщелачивании / А.М. Нифадьев, А.А. Шашкин, Т.И. Одинцова, Л.В. Жданова // Технический прогресс в атомной промышленности. Сер. Горнометаллургическое производство. 1983. Вып. 1 (278). С. 54–57.

11. О применении бентонита для сооружения технологических скважин скважинного подземного выщелачивания урана / А.Г. Иванов, С.А. Александров, И.А. Курашов, Д.А. Иванов, П.Е. Шихов, Ю.А. Арсентьев, А.П. Назаров // Известия вузов. Геология и разведка. 2019. №6. 79–86 с.

12. Бочко Э.А., Никишин В.А. Упрочнение неустойчивых горных пород при бурении скважин. М.: Недра, 1979. 168 с.

13. Зварыгин В.И. Тампонажные смеси: учеб. пособие. Красноярск: Сибирский федеральный ун-т, 2012. 250 с.

References

1. Extraction of uranium by underground leaching in the cryolithozone: monograph / ed. I.N. Solodov, 2022. 183 p.

2. Uranium recovery from sandstone-type uranium deposit by acid in-situ leaching-an example from the Kujieertai / Yipeng Zhou, Guangrong Li, Lingling Xu, Jinhui Liu, Zhanxue Sun, Weijun Shi. *Hydrometallurgy*. 2020;(191):17–25.

3. Uranium geotechnology (Russian experience): monograph / ed. I.N. Solodov, E.N. Kamnev. M.: KDU; University Book, 2017. 576 p.

4. Preparation, characterization, and rheological analysis of eco-friendly geopolymer grouting cementitious materials based on industrial solid wastes / Dedan Duan Haibin Wu, Fang Wei, Huiping Song, Zhibin Ma, Zhang Chen, Fangqin Cheng. *Journal of Building Engineering*. 2023;(78):92–113.

5. Rheological and viscoelastic characterizations of fly ash/slag/silica fume-based geopolymer / Li Li, Yu-jie Wei, Zongli Li, Muhammad Usman Farooqi. *Journal of Cleaner Production*. 2022;(354):48–52.

6. On the calculation of operational columns made of polymer materials for permanent frost conditions / Yu.A. Arsentiev, A.P. Nazarov, Yu.V. Zabaykin, A.G. Ivanov. *Actual problems and prospects of economic development: Russian and foreign experience*. 2019;(21):27–32. (In Russ.).

7. PatentInvention. The method of waterproofing the backwater space of wells and the composition of the mixture for its implementation. №2726086 dated 09.07.2020 / A.V. Glukhov, S.I. Ermolenko, A.G. Ivanov, D.A. Ivanov.

8. Kravtsov B.I. The use of clay-cement solutions for preliminary grouting of watered rocks. M.: Tsnieiugol, 1970. 45 p.

9. Drilling and equipment of geotechnological wells / I.A. Sergienko, A.F. Mosev, E.A. Bochko, M.K. Pimenov. M.: Nedra, 1984. 224 p.

10. Grouting compounds for isolation of technological wells during underground leaching / A.M. Nifadyev, A.A. Shashkin, T.I. Odintsova, L.V. Zhdanova. *Technological progress in the nuclear industry. Ser. Mining and Metallurgical production*. 1983;1(278):54–57. (In Russ.).

11. On the use of bentonite for the construction of technological wells for borehole underground leaching of uranium / A.G. Ivanov, S.A. Alexandrov, I.A. Kurashov, D.A. Ivanov, P.E. Shikhov, Yu.A. Arsentiev, A.P. Nazarov. *News of universities. Geology and exploration*. 2019;(6):79–86. (In Russ.).

12. Bochko E.A., Nikishin V.A. Stengthening of unstable rock formation in drilling wells. M.: Nedra, 1979. 168 p.

13. Zvarygin V.I. Grouting mixtures: textbook. Krasnoyarsk: Siberian Federal University, 2012. 250 p.

Научный вестник Арктики. 2024. №16. С. 12–22.
Scientific Bulletin of the Arctic. 2024;(16):12–22.

Технические науки

Научная статья

УДК 669.046:338

doi: 10.52978/25421220_2024_16_12-22

ОБЩИЕ ПОДХОДЫ К СОВЕРШЕНСТВОВАНИЮ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ АГРЕГАТОВ. КРИТЕРИИ ИХ ОЦЕНКИ

Леонид Владимирович Крупнов

ЗФ ПАО «ГМК «Норильский никель», Норильск, Россия

E-mail: KrupnovLV@nornik.ru

Ирина Юрьевна Пархоменко

ООО «Институт Гипроникель», Санкт-Петербург, Россия

E-mail: iyparhomenko@mail.ru

Антон Викторович Каверзин

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

E-mail: KaverzinAV@norvuz.ru

Аннотация. Развитие металлургических мощностей, в частности выбор головного агрегата для переработки металлосодержащего сырья, является дорогостоящим инвестиционным проектом. Экономическая оценка любого инвестиционного проекта представляет собой сложную задачу, в основе решения которой лежит многофакторный прогнозный анализ технико-экономических показателей будущего предприятия. Ценность и корректность такого рода экономической оценки определяется четким и целостным определением критериев, лежащих в ее основе.

Такого рода критерии можно условно разделить как постоянно действующие критерии и критерии, определяемые текущей социально-экономической ситуацией. Учитывая возможную изменчивость критериев второго рода, можно утверждать, что их влияние будет различным во времени и для конкретного инвестиционного проекта.

В условиях давления на металлургическую отрасль сырьевых ограничений, высокой волатильности металлов на рынках, ужесточающихся экологических требований со стороны общества и мировой ESG повестки лишь те компании смогут успешно работать, которые наиболее грамотно и компетентно отреагируют на данные ограничения, создадут и организуют производство продукции, пользующейся спросом и отвечающей требованиям «зеленой» экономики.

В данной статье рассмотрены различные подходы к выбору критериев оценки при разработке тех или иных конструкций головных агрегатов в ретроспективе и в настоящее время. Приведены примеры использования нового, современного инструмента – SWOT-анализа для выбора технологии плавки сульфидного медного-никелевого сырья с учетом постоянно действующих и изменчивых критериев.

Ключевые слова: рециклинг, технико-экономическое обоснование, SWOT-анализ, ESG повестка, печь Ванюкова, РТП, взвешенная плавка Оутотек, парниковые газы.

Для цитирования: Крупнов Л.В., Пархоменко И.Ю., Каверзин А.В. Общие подходы к совершенствованию металлургических агрегатов. Критерии их оценки // Научный вестник Арктики. 2024. №16. С. 12–22. https://doi.org/10.52978/25421220_2024_16_12-22.

Technical sciences

Original article

GENERAL APPROACHES TO IMPROVEMENT METALLURGICAL UNITS. CRITERIA FOR THEIR ASSESSMENT

Leonid V. Krupnov

MMC Norilsk Nickel, Norilsk, Russia

E-mail: KrupnovLV@nornik.ru

Irina Yu. Parkhomenko

Gipronikel Institute, St. Petersburg, Russia

E-mail: iyparkhomenko@mail.ru

Anton V. Kaverzin

Fedorovsky Polar State University, Norilsk, Russia

E-mail: KaverzinAV@norvuz.ru

Abstract. The development of metallurgical capacities, in particular the choice of a head unit for processing metal-containing raw materials, is an expensive investment project. The economic assessment of any investment project is a complex task, the solution of which is based on a multi-factor predictive analysis of the technical and economic indicators of the future enterprise. The value and correctness of this kind of economic assessment is determined by a clear and holistic definition of the criteria underlying it.

Such criteria can be conditionally divided as permanent criteria and criteria determined by the current socio-economic situation. Given the possible variability of criteria of the second kind, it can be argued that their impact will vary over time and for a specific investment project.

In conditions of pressure on the metallurgical industry from raw material restrictions, high volatility of metals in the markets, tightening environmental requirements from society and the global ESG agenda, only those companies will be able to work successfully, which will respond most competently and competently to these restrictions, create and organize the production of products that are in demand and meet the requirements «a green» economy.

This article discusses various approaches to the selection of evaluation criteria for the development of various designs of head units in retrospect and at the present time. Examples of using a new, modern tool – SWOT analysis - to select the technology for melting copper-nickel sulfide raw materials, taking into account constantly operating and changing criteria.

Keywords: recycling, feasibility study, SWOT analysis, ESG agenda, Vanyukov furnace, RTP, suspended melting of Outotek, greenhouse gases.

For citation: Krupnov L.V., Parkhomenko I.Yu., Kaverzin A.V. General approaches to the improvement of metallurgical units. Criteria for their assessment. *Scientific Bulletin of the Arctic*. 2024;(16):12–22. (In Russ.). https://doi.org/10.52978/25421220_2024_16_12-22.

Металлургия является одной из базовых отраслей международной и национальной промышленности и одним из немногих секторов, который может внести весомый вклад в обеспечение экономического роста в России в XXI в. Металлургия, и цветная металлургия в особенности, – одна из наиболее динамично развивающихся отраслей российской промышленности. Причиной такой ситуации стал тот факт, что без тяжелых цветных, редких и редкоземельных металлов не может обойтись ни одна из современных промышленных отраслей. Это в равной мере относится к строительству, авиации, машиностроению, энергетике, к атомной энергетике в частности. Сам «зеленый переход» в области производства электроэнергии и всех связанных с этим отраслей, например, в автомобилестроении, невозможен без никеля, кобальта, лития, меди, палладия. Следует отметить, что данная отрасль очень капиталоемка и энергоёмка,

сложна в своей технологической составляющей и характеризуется острой конкуренцией на мировом рынке среди производителей. Многие из прямых конкурентов российских производителей защищены национальным законодательством. Сильные конкуренты в области производства, например, никеля и меди, у нашей страны находятся в Японии, Чили, Индонезии, Австралии, Бразилии и Китае.

Таким образом, развитие (реконструкция) существующих металлургических производств и строительство новых должно проходить детальное технико-экономическое обоснование (ТЭО), чтобы обеспечить успешную конкуренцию и экономические выгоды на весь период жизненного цикла инвестиционного проекта [1].

В начале прошлого века такого рода обоснование не являлось слишком сложной задачей. В основу обоснования ложилась потребность рынка в том или ином металле, его текущая и прогнозная

стоимость, далее либо выбирался существующий тип агрегата, либо осуществлялись научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы по разработке нового или адаптации имеющегося типа агрегата. Определяющими параметрами выбора агрегата считались его производительность и себестоимость получаемого металла, что являлось обратной функцией от извлечения целевого компонента.

Другой тенденций уже с середины прошлого века при производстве цветных металлов из сульфидных руд была необходимость снижения потребления энергии и уменьшения эмиссии диоксида серы [6; 8]. Именно этими факторами определилась разработка нового типа агрегатов – автогенных. Автогенные или теплогенерирующие агрегаты представляют особую группу металлургических аппаратов, широко распространенных при производстве тяжелых цветных металлов – меди, никеля, кобальта, свинца и цинка. Их широкое распространение во всем мире пришлось на середину XX века и было обусловлено рядом неоспоримых достоинств – высокой производительностью по сравнению с традиционными ранее процессами отражательной и шахтной плавками, использованием тепловой энергии, заключенной в самой перерабатываемой шихте, возможностью получения более богатых по сравнению с иными процессами продуктов: штейнов, вплоть до черновой меди, файнштейна и шлаков, высоким уровнем автоматизации процессов и, наконец, получением относительно небольшого объема высокосернистых, «крепких» газов.

Развитием этих агрегатов, в целях повышения извлечения целевых компонентов и снижения капитальных затрат, были неоднократные попытки совместить в одном агрегате два процесса – плавки и обеднения. Примерами таких агрегатов могут служить КИВЦЕТ – процесс [2; 9] и агрегат взвешенной плавки WMC/ Kalsoorlie (рис. 1). Другим

примером такого рода агрегата может служить разработка двухзонной печи Ванюкова.

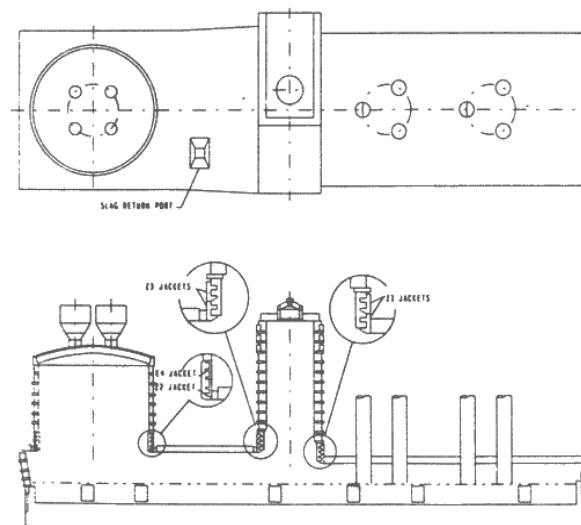


Рис. 1. Взвешенная печь WMC/ Kalsoorlie

Обязательным условием устойчивого ведения процесса была достаточная автогенность перерабатываемого сырья или, иными словами, достаточное наличие в шихте таких минералов, как пирит, пирротин – соединений, обеспечивающих в процессе окисления достаточное количество выделяемого тепла для расплавления всех компонентов шихты и последующего процесса штейно- и шлакообразования. На период разработки такого рода процессов во всем мире не ощущался дефицит богатых, высокосернистых руд. К концу прошлого века подобные агрегаты практически повсеместно вытеснили ранее применявшиеся типы агрегатов – шахтные и рудно-термические печи [2].

Однако в то же время, уже с конца 20-го и в начале 21-го века, ситуация стала меняться. Усилилась конкуренция на мировом рынке среди производителей металла, стала ощущаться нехватка качественного высокосернистого сырья, пригодного для переработки в автогенных агрегатах [3; 8; 10]. Появились новые экологические вызовы и требования общества, связанные с глобальным потеплением, обусловленным эмиссией парниковых газов (ПГ) в результате де-

тельности человека [4; 5; 7]. Как известно, в Парижском соглашении, которое с 2021 г. пришло на смену Киотскому протоколу, еще в 2015 г. было прописано стремление всех стран мира не допустить повышения средней температуры на планете к 2100 г. более чем на 2 градуса по Цельсию по сравнению с доиндустриальной эпохой. Степень влияния антропогенного фактора на изменение климата еще остается полем для дискуссий, в том числе научных, но снижение антропогенной эмиссии парниковых газов признается всеми странами в качестве практического средства для борьбы с глобальным потеплением на предстоящие десятилетия [5; 11; 12]. Задача по снижению парниковых выбросов в России была прописана еще в Климатической доктрине РФ, утвержденной распоряжением Президента РФ 17 декабря 2009 г., и в комплексном плане по ее реализации.

Наконец, мировая экономическая нестабильность, вызванная мировыми пандемиями, и санкционная политика ряда стран по отношению к нашей стране сделали подготовку ТЭО весьма нетривиальной задачей. Погрешность ТЭО, которая закладывается в статью «непредвиденные расходы», составляет в настоящее время ~25–30%, в некоторых случаях, на стадии первичной оценки в условиях отсутствия четкого представления о тенденциях развития рынка и общества, и до 50% от стоимости инвестиционного проекта.

Представляется весьма перспективным методом для исключения оценки через ТЭО изначально неэффективных вариантов выбора головных плавильных агрегатов применять SWOT-анализ [14]. Такой анализ позволяет выделить из всего многообразия несколько перспективных вариантов, которые дальше можно рассмотреть уже детально, выполнив подробное ТЭО. SWOT-анализ является одним из популярных инструментов метода стратегического анализа. Он заключается в выявлении факторов

внутренней и внешней среды организации и разделении их на четыре категории: Strengths (сильные стороны), Weaknesses (слабые стороны), Opportunities (возможности) и Threats (угрозы). Такой анализ проводят на основании полученных данных базового инжиниринга: сильные и слабые стороны выявляют на основании анализа внутренней среды, возможности и угрозы – по результатам анализа микро- и макросреды. Результаты SWOT-анализа помогают выявить несколько возможных вариантов реализации проекта реконструкции плавильного цеха и/или выбора конкретного типа плавильного агрегата [13].

Такой анализ проводят на основании полученных имеющихся данных группой (сообществом) профессиональных экспертов: сильные и слабые стороны выявляют на основании анализа технологических характеристик и особенностей той или иной технологии, возможности и угрозы – по результатам анализа внешней среды – потребности рынка, наличия различных ресурсов, требования общества и государства.

Методика SWOT-анализа основывается на экспертной оценке и включает следующие этапы:

1. Формирование перечня факторов SWOT-анализа:

- 1.1) определение перечня внутренних факторов;

- 1.2) определение перечня внешних факторов, характеризующих среду.

2. Оценка факторов (количественный SWOT-анализ):

- 2.1) оценка факторов по следующей методологии: оценка внутренних и внешних факторов по пятибалльной шкале относительно степени воздействия на параметры технологического процесса (типа агрегата) или среды;

- 2.2) присвоение каждому фактору для соответствующего агрегата коэффициента влияния.

3. Составление матрицы оценок SWOT-анализа на основе полученных

результатов и коэффициентов. Суммарные результаты подсчета баллов по каждому элементу вносятся в таблицу.

4. Расчет технико-экономических показателей технологии (дополнительный этап количественного SWOT-анализа) и выбор наилучшей технологии, соответствующей целям данной работы.

В данной работе сравниваются два наиболее распространённых в РФ и мире типа автогенных агрегата – печь Ванюкова (плавка в жидкой ванне) и печь взвешенной плавки Outotek (взвешенная плавка). В качестве еще одного из типов плавильного агрегата для анализа, в данном случае теплопотребляющего агрегата, принята печь рудно-термической плавки, в двух подвариантах – с использованием «зеленой» и «серой» энергии. До недавнего времени это был один из наиболее распространенных типов агрегатов для плавки сульфидного медно-никелевого сырья [2].

Все типы данных агрегатов продолжительное время эксплуатировались в Норильском промышленном районе и авторы хорошо знакомы с особенностями каждого типа.

Авторами данной работы были выделены 10 внутренних факторов и 8 внешних для оценки каждого из трех типов головных плавильных агрегата, а также определены коэффициенты значимости для каждого фактора, отражающие воздействие того или иного параметра на капитальные и эксплуатационные затраты технологии, выражаемые в долях процента. Коэффициенты значимости были определены авторами на основе их актуальности, освещенной в публикациях специализированных периодических изданий за последние 5 лет и личного опыта. В табл. 1 и 2 представлены результаты анализа.

Таблица 1

Матрица оценок SWOT-анализа пиromеталлургических технологий

№п/п	Литера	Критерии	K _{зн} , %100	Оценка, в баллах, для типа правильного агрегата			
				1	2	3	
						3,1	3,2
Внутренние факторы							
1	а	Степень освоенности процесса	0,05	5	3	5	5
2	б	Сложность достижения высокой степени утилизации серы	0,15	5	5	2	2
3	в	Требования к подготовке сырья	0,25	2	4	3	3
4	г	Степень извлечения Ni, Cu, Co	0,1	3	3	4	4
5	д	Степень извлечения драгоценных металлов	0,1	3	3	4	4
6	е	Продолжительность межремонтной кампании	0,1	4	3	4	4
7	ж	Потребность в дополнительной энергии для ведения процесса. Возможность ее повторного использования	0,05	5	5	2	2
8	з	Удельная производительность, т.шт./м²/сут.	0,05	4	5	2	2
9	и	Требования к дополнительной энергии для ведения процесса (эл/энергия/углеводородное топливо)	0,05	4	4	3	3
10	к	Возможность переработки материалов рециклинга	0,1	3	4	5	5
		Суммарный коэффициент SWOT-анализа внутренних факторов		3,45	3,9	3,35	3,35
			1.00				

Примечание: * $K_{зн}$ – коэффициент значимости фактора.

1. Технология взвешенной плавки (ПВП).
2. Технология плавки в жидкой ванне (печь Ванюкова).
3. Рудно-термическая печь (РТП):

3.1. РТП, работающая на «зеленой/голубой» ** эл.энергии.

3.2. РТП, работающая на «серой» *** эл. энергии.

** Зеленая энергия производится из возобновляемых источников энергии; голубая – от сжигания природного газа.

*** Серая энергия производится путем сжигания твердых углеродсодержащего сырья и тяжелых углеводородов – уголь, нефть, мазут, сланец.

Следует отметить, что впервые при проведении SWOT-анализа экспертами были приняты в расчет такие факторы, значимость которых проявилась в последние годы – возможность перерабатывать вторичное сырье (рециклинг), требования ESG повестки по снижению эмиссии парниковых газов (далее ПГ) и

использования преимущественно «зеленой» электроэнергии, а также санкционное давление недружественных стран. Во внутренних факторах это литеры «и» и «к», во внешних – литеры «п» и «с». На основе оценок технологий, сведенных в матрице (табл. 1, 2), в табл. 3–6 приведены перекрестные классические описания сильных и слабых сторон каждого из агрегатов, а также возможности и вызовы внешней среды.

Таблица 2

Внешние факторы

Внешние факторы							
№ п/п	Литера	Критерии	K _{зн}	Оценка, в баллах, для типа плавильного агрегата			
				1	2	3	
						3,1	3,2
1	л	Наличие на месте обслуживающего персонала	0,050	5	4	3	3
2	м	Наличие команды специалистов, способных квалифицированно разработать, построить, ввести в эксплуатацию и вывести на проектную мощность общий проект производства на базе выбранной технологии	0,050	4	5	4	4
3	н	Перспектива стабильности цены на электроэнергию	0,150	5	5	3	3
4	о	Поставщики необходимых ресурсов для проведения межремонтной кампании	0,050	3	5	4	4
5	п	Тип производства энергии в данной локации (зеленая/голубая/серая)	0,200	4	4	5	2
6	р	Ужесточение экологического законодательства	0,200	4	4	3	3
7	с	Наличие санкционных рисков из-за использования лицензий недружественных стран	0,150	3	5	5	5
8	т	Поддержка науки государством и Компанией	0,150	3	4	3	3
		Суммарный коэффициент SWOT-анализа внешних факторов	1,000	3,85	4,1	3,35	3,2
		Общий суммарный коэффициент SWOT-анализа (внутренние и внешние факторы)		7,3	8	6,7	6,55

Таблица 3

Перекрестный SWOT-анализ технологической схемы №1

Сильные стороны	Слабые стороны
Высокая степень освоенности процесса (а)	Высокие требования к подготовке сырья (дополнительные затраты на подготовку сырья) (в)
Высокая степень утилизации серы (б)	Низкая степень извлечения Ni, Cu, Co (г)
Высокая степень извлечения драгоценных металлов (д)	Средняя степень удельной производительность плавильного агрегата (печи), т.шт./ м ² /сут. (з)
Высокая продолжительность межремонтной кампании основных плавильных агрегатов (е)	Низкий уровень возможность переработки материалов рециклинга (к)
Низкий уровень потребности в дополнительной энергии для ведения процесса. Высокая возможность ее повторного использования (ж)	

Окончание табл. 3

Сильные стороны	Слабые стороны
Низкая потребность в дополнительной энергии для ведения процесса (эл/энергия/углеводородное топливо) (и)	
Возможности	Угрозы
Наличие на месте необходимого квалифицированного технологического персонала (л)	Необходимость (средний уровень) формирования команды специалистов, способных квалифицированно разработать, построить, ввести в эксплуатацию и вывести на проектную мощность общий проект производства на базе выбранной технологии (м)
Высокая перспектива стабильности цены на электроэнергию (н)	Отсутствие поставщиков, необходимых ресурсов для проведения межремонтной компании (о)
Наличие типа производства энергии в данной локации (зеленая/голубая/серая) (п)	Высокий уровень риска ужесточения экологического законодательства (р)
Поддержка науки (пирометаллургии) Компанией (НН) (т)	Высокий уровень возникновения санкционных рисков из-за использования лицензий недружественных стран (с)

Таблица 4

SWOT-анализ технологической схемы №2

Сильные стороны	Слабые стороны
Высокая степень утилизации серы (практически полная утилизация газов) (б)	Средняя степень извлечения Ni и Cu, Co (г)
Практически не требуется дополнительная подготовка сырья (нет затрат) (в)	Средняя степень освоенности процесса(а)
Низкий уровень потребности в дополнительной энергии для ведения процесса. Высокая возможность ее повторного использования (ж)	
Высокая удельная производительность, т.шт./ м ² /сут. (з)	
Низкая потребность в дополнительной энергии для ведения процесса (эл/энергия/углеводородное топливо) (и)	
Высокий уровень возможности переработки материалов рециклинга (к)	
Возможности	Угрозы
Наличие на месте необходимого квалифицированного технологического персонала (л)	Необходимость (средний уровень) формирования команды специалистов, способных квалифицированно разработать, построить, ввести в эксплуатацию на проектную мощность общий проект (м)
Наличие поставщиков необходимых ресурсов для проведения межремонтной компании (о)	
Низкий уровень ужесточения экологического законодательства (р)	
Низкий уровень возникновения санкционных рисков из-за использования лицензий недружественных стран (с)	
Поддержка науки (пирометаллургии) Компанией (НН) (т)	

Таблица 5

SWOT-анализ технологической схемы №3.1 (РТП на зеленой/голубой энергии)

Сильные стороны	Слабые стороны
Высокая степень освоенности процесса (а)	Высокая степень сложности утилизации серы (б)
Высокая степень извлечения Ni, Cu, Co (г)	Высокие требования к подготовке сырья (дополнительные затраты) (в)
Высокая степень извлечения драгоценных металлов (д)	Высокий уровень потребности в дополнительной энергии для ведения процесса. Низкая возможность ее повторного использования (ж)
Высокая продолжительность межремонтной кампании основных плавильных агрегатов (е)	Низкая удельная производительность печи (плавильного агрегата), т.шт/ м ² /сут. (з)
Высокий уровень возможности переработки материалов рециклинга (к)	Средняя потребность в дополнительной энергии для ведения процесса (эл/энергия/углеводородное топливо) (и)
Возможности	Угрозы
Наличие команды специалистов, способных квалифицированно разработать, построить, ввести в эксплуатацию и вывести на проектную мощность общий проект производства на базе выбранной технологии (м)	Средняя степень наличия на месте необходимого обслуживающего персонала (необходимость обучения персонала) (л)
Наличие поставщиков необходимых ресурсов для проведения межремонтной кампании (о)	Низкий уровень перспективы стабильности цены на электроэнергию (н)
Низкий уровень ужесточения экологического законодательства (р)	Наличие типа производства энергии в данной локации (зеленая/голубая/серая) (п)
Низкий уровень возникновения санкционных рисков из-за использования лицензий недружественных стран (с)	
Поддержка науки (пирометаллургии) Компанией (НН) (т)	

Таблица 6

SWOT-анализ технологической схемы №3.2 (РТП на серой энергии)

Сильные стороны	Слабые стороны
Высокая степень освоенности процесса (а)	Высокая степень сложности утилизации серы (б)
Высокая степень извлечения Ni, Cu, Co (г)	Высокие требования к подготовке сырья (дополнительные затраты) (в)
Высокая степень извлечения драгоценных металлов (д)	Высокий уровень потребности в дополнительной энергии для ведения процесса. Низкая возможность ее повторного использования (ж)
Высокая продолжительность межремонтной кампании основных плавильных агрегатов (е)	Низкая удельная производительность печи (плавильного агрегата), т.шт./ м ² /сут. (з)
Высокий уровень возможности переработки материалов рециклинга (к)	Средняя потребность в дополнительной энергии для ведения процесса (эл/энергия/углеводородное топливо) (и)

Возможности	Угрозы
Наличие команды специалистов, способных квалифицированно разработать, построить, ввести в эксплуатацию и вывести на проектную мощность общий проект производства на базе выбранной технологии (м)	Низкий уровень перспективы стабильности цены на электроэнергию (н)
Наличие поставщиков необходимых ресурсов для проведения межремонтной компании (о)	Отсутствие типа производства энергии в данной локации (зеленая/голубая/серая) (п)
Низкий уровень возникновения санкционных рисков из-за использования лицензий недружественных стран (с)	Низкая перспектива стабильности цены на электроэнергию (н)
	Законодательные ограничения по причине экологической не безупречности процесса (р)

Согласно выполненному SWOT-анализу, на основе определенных критериев сильных и слабых сторон, из рассмотренных современных методов переработки медно-никелевых сульфидных концентратов на примере Норильского промышленного района наиболее перспективными являются автогенные технологии, использующие плавку в жидкой ванне, в данном случае плавку Ванюкова.

Они располагаются в следующей последовательности по эффективности:

- технологическая схема 2, основанная на плавке в печи Ванюкова;
- технологическая схема 1, основанная на плавке печи взвешенной плавки (ПВП);
- технологическая схема 3.1 – плавка в печах РТП, работающих на «зеленой» и «голубой» энергии;
- технологическая схема 3.2 – плавка в печах РТП, работающих на «серой» энергии.

Показано, что существенное влияние на балльную оценку SWOT-анализа оказывает уровень значимости оценки технологических рисков, что особенно актуально при рассмотрении новых, еще не внедренных в производство процессов, а также риски законодательных и санкционных ограничений, как элемент внешних угроз.

Выполненный количественный SWOT-анализ является базой для расчета технико-экономических показателей, основанных на экспертных оценках

и помогающих более углубленно проанализировать технологии с позиций возможностей роста, преодоления угроз, нарастания слабых сторон и прочих важных показателей.

Выводы. Проведенные исследования позволили выделить постоянно действующие факторы для оценки технологий плавки сульфидного медно-никелевого сырья (к ним относится производительность агрегатов, извлечение цветных и драгоценных металлов, потребность в дополнительной энергии для ведения процесса и т.п.) и новые факторы, значение которых проявилось в последнее время – санкционное влияние недружественных стран, включающее в себя отказ от предоставления лицензий, оборудования и т.п., эмиссия ПГ, возможность перерабатывать техногенное сырье.

Проведенный SWOT-анализ показал существенное преимущество автогенных агрегатов по сравнению с рудно-термической плавкой.

Ввиду близких значений оценки конкуренцию ПВП может составить только РТП, работающая на «зеленой» энергии, в том случае, если в данной промышленной локации имеется доступная электроэнергия, а цены на нее будут оставаться стабильными в прогнозируемом временном горизонте.

Еще одним из факторов, который может повлиять на результаты такой оценки, это наличие обширной сырьевой базы, представленной техногенными,

тугоплавкими материалами, технологически пригодными для переработки в подобного рода агрегатах. В остальных случаях преимущество автогенных агрегатов бесспорно.

Таким образом, для дальнейшей технико-экономической оценки, в рамках проведенного SWOT-анализа, следует принять технологии взвешенной плавки Оутотек и плавки Ванюкова.

Список источников

1. Крупнов Л.В., Ванеева И.Б. Экономическая оценка технических решений в металлургии: учеб. пособие. Норильск, 2023. 119 с.
2. Промышленные плавильные агрегаты для производства тяжелых цветных металлов: монография / Л.В. Крупнов, Н.В. Марченко [и др.]. Норильск, 2022. 234 с.
3. Рециклинг / под ред. А.Я. Травянова. М., 2020. 261 с.
4. Мотасова Е.А., Генгут И.Б. Экономическое регулирование природоохранной деятельности за рубежом: приоритеты в области использования отходов и энергосбережения // Экономика природопользования. 2011. №5. С. 114–126.
5. Энергоэффективность медных компаний России как основа обеспечения их глобальной конкурентоспособности / В.В. Криворотов, А.В. Калина, С.Е. Ерыпалов, П.А. Корякина // Journal of Applied Economic Research. 2021. Т. 20. №3. С. 428–460.
6. Крупнов Л.В., Мидюков Д.О., Малахов П.В. Направление поддержания сырьевой базы медно-никелевой подотрасли // Обогащение руд. 2022. №2. doi: 10.17580/or.2022.02.06.
7. Мероприятия по сокращению выбросов парниковых газов // Экология производства. 2014. №5. С. 4–5.
8. Крупнов Л.В., Мидюков Д.О., Малахов П.В. Ухудшение качества минерально-сырьевой базы горно-металлургических компаний – вызов 21 века: доклад // XXX Международный симпозиум «Неделя Горняка 2022». М., 2022.
9. Практика работы автогенных агрегатов в ЗФ ПАО «ГМК «Норильский никель» в условиях переработки сырья с пониженным энергетическим потенциалом / Л.В. Крупнов, П.В. Малахов, С.С. Озеров, Л.Б. Цымбулов // Цветные металлы. 2022. №2. С. 39–47.
10. Крупнов Л.В. Механизм образования тугоплавкой настлы в печах взвешенной плавки и способы ее устранения: автореф. дис. канд. техн. наук. СПб., 2015. 19 с.
11. Стратегия в области экологии и изменения климата. Группа Норильский никель. 2021, 27 с.
12. ESG investor presentation. Nor Nickel. 2018. 28 p.
13. Применение SWOT-анализа для выбора вариантов пирометаллургической переработки медно-никелевых сульфидных концентратов. Ч. 1. Выбор вариантов пирометаллургической переработки медно-никелевых сульфидных концентратов на основе SWOT-анализа / И.Ю. Пархоменко, Л.Б. Цымбулов, К.П. Злотников, Е.Ю. Сидорова // Цветные металлы. 2020. №12. С. 9–16. doi: 10.17580/tsm.2020.12.01.
14. Крупнов Л.В., Пархоменко И.Ю. Применение SWOT-анализа для выбора технологии плавки сульфидного медно-никелевого сырья с учетом различных факторов: доклад // XVI Международная конференция им. Г.Л. Пашкова. Красноярск, 2023: [сайт]. URL: <https://doi.org/10.47813/sfu.mnfrpm.2023.1>

References

1. Krupnov L.V., Vaneeva I.B. Economic assessment of technical solutions in metallurgy: textbook. stipend. Norilsk, 2023. 119 p.
2. Industrial melting units for the production of heavy non-ferrous metals: monograph / L.V. Krupnov, N.V. Marchenko [et al.]. Norilsk, 2022. 234 p.
3. Recycling / ed. A.Ya. Travyanov. M., 2020. 261 p.
4. Motasova E.A., Gengut I.B. Economic regulation of environmental protection activities abroad: priorities in the field of waste management and energy conservation. *The economics of nature use*. 2011;(5):114–126. (In Russ.).
5. Energy efficiency of Russian copper companies as a basis for ensuring their global competitiveness / V.V. Krivorotov, A.V. Kalina,

S.E. Yerypalov, P.A. Koryakina. *Journal of Applied Economic Research*. 2021;20(3):428–460. (In Russ.).

6. Krupnov L.V., Midyukov D.O., Malakhov P.V. The direction of maintaining the raw material base of the copper-nickel sub-sector. *Ore enrichment*. 2022;(2). doi: 10.17580/or.2022.02.06. (In Russ.).

7. Measures to reduce greenhouse gas emissions. *The ecology of production*. 2014;(5):4–5. (In Russ.).

8. Krupnov L.V., Midyukov D.O., Malakhov P.V. Deterioration of the quality of the mineral resource base of mining and metallurgical companies - the challenge of the 21st century: report // XXX International Symposium «Mining Week 2022». M., 2022.

9. The practice of autogenous aggregates in the ZF of PJSC MMK «Norilsk Nickel» in the conditions of processing raw materials with reduced energy potential / L.V. Krupnov, P.V. Malakhov, S.S. Ozerov, L.B. Tsymbulov. *Non-ferrous metals*. 2022;(2):39–47. (In Russ.).

10. Krupnov L.V. The mechanism of formation of refractory melt in suspended melting furnaces and ways to eliminate it: abstract

of the thesis of the Candidate of Technical Sciences. SPb., 2015. 19 p.

11. Strategy in the field of ecology and climate change. The Norilsk Nickel Group. 2021, 27 p.

12. ESG investor presentation. Nornickel. 2018. 28 p.

13. The use of SWOT analysis to select options for pyrometallurgical processing of copper-nickel sulfide concentrates. Part 1. The choice of options for pyrometallurgical processing of copper-nickel sulfide concentrates based on SWOT analysis / I.Yu. Parkhomenko, L.B. Tsymbulov, K.P. Zlotnikov, E.Yu. Sidorova. *Non-ferrous metals*. 2020;(12):9–16. doi: 10.17580/tsm.2020.12.01. (In Russ.).

14. Krupnov L.V., Parkhomenko I.Y. Application of SWOT analysis for the choice of technology for melting sulfide copper-nickel raw materials, taking into account various factors: report // XVI International Conference named after G.L. Pashkov. Krasno-yarsk, 2023. URL: <https://doi.org/10.47813/sfu.mnfrpm.2023.1>

Научный вестник Арктики. 2024. №16. С. 23–29.
Scientific Bulletin of the Arctic. 2024;(16):23–29.

Технические науки

Научная статья
УДК 004:697.34
doi: 10.52978/25421220_2024_16_23–29

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИНФОРМАЦИОННЫХ
ПРОЦЕССОВ В АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ
СИСТЕМАХ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ**

Алексей Михайлович Петров

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

Даниил Васильевич Мозгунов

Заполярный государственный университет им. Н.М. Федоровского, Норильск, Россия
E-mail: mozgunovdaniil722@gmail.com

Аннотация. В статье сформулированы современные подходы к автоматизации технологических процессов, связанных с теплоснабжением. Автоматизация структуризации, через аппараты многовариантной структуризации для цифровой среды, как концептуальная основа оптимизации управления в цифровизированной системе теплоснабжения.

Ключевые слова: оптимизация управления, цифровая энергетика, системы теплоснабжения, структуризация, автоматизация управления.

Для цитирования: Петров А.М., Мозгунов Д.В. Повышение эффективности информационных процессов в автоматизированных системах теплоснабжения // Научный вестник Арктики. 2024. №16. С. 23–29. https://doi.org/10.52978/25421220_2024_16_23–29.

Technical sciences

Original article

**INCREASING THE EFFICIENCY OF INFORMATION PROCESSES
IN AUTOMATED HEAT SUPPLY SYSTEMS**

Alexey M. Petrov

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

Daniil V. Mozgunov

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

Abstract. The article formulates modern approaches to the automation of technological processes related to heat supply. Automation of structuring, through multivariate structuring devices for the digital environment, as a conceptual basis for optimizing management in a digitalized heat supply system

Keywords: management optimization, digital energy, heat supply systems, structuring, automation of management.

For citation: Petrov A.M., Mozgunov D.V. Increasing the efficiency of information processes in automated heat supply systems. *Scientific Bulletin of the Arctic*. 2024;(16):23–29. (In Russ.). https://doi.org/10.52978/25421220_2024_16_23–29.

Системы автоматического управления процессами теплоснабжения являются сверхсложными системами, которые включают в себя разнообразные элементы, сложно формализуемые потоки данных и на техническом уровне могут занимать огромные территории [1].

При корректном функционировании системы теплоснабжения города взаимодействует значительное количество объектов и ресурсов, совместно направленных на реализацию транспортировки, распределения и управления отпуском энергоресурсов. Для эффективного управления процессами со столь большим числом переменных на данный момент используются различные программно-технические комплексы, способные реализовывать сервисное обслуживание и централизованное диспетчерское управление оборудованием систем теплоснабжения (далее АСУЭО).

АСУЭО реализуется для решения различных задач обработки, передачи и формирования измерительных и управляющих сигналов в каналах связи (далее КС), поступающих от контрольных пунктов (далее КП) на центральный пункт управления (далее ЦПУ) [1]. С учетом развития ключевых технологий для АСУЭО, функциональные возможности последней постоянно расширяются и уже сейчас существует возможность учета внешних факторов, влияющих на качество и полноту передаваемого сигнала для его последующей корректировки. Однако подобные корректировки приводят к необходимости работы АСУЭО в условиях максимального использования пропускной способности КС и перманентного роста вычислительных ресурсов.

Поэтому можно сделать выводы о том, что для повышения эффективности обработки и передачи данных в АСУЭО необходимо разработать методы и алгоритмы, способные оптимизировать обмен данными между различными объектами системы теплоснабжения за счет

учета вероятности возникновения негативных процессов и явлений, влияющих на искажение сигнала на КС.

Целью данной работы является представление разработанных методов и алгоритмов, повышающих эффективность процессов передачи и обработки данных в АСУЭО теплоснабжения.

При реализации данной работы применялись такие методы исследования, как математическое и имитационное моделирование систем массового обслуживания (далее СМО). В качестве теоретической составляющей работы использовались основные положения теории информации и теории массового обслуживания.

Представим АСУЭО теплоснабжения в виде компонентной модели (рис. 1). Данный этап необходим для получения математического аппарата, который с помощью теории графов и теории СМО даст возможность расчета среднего времени реализации процессов обмена данными и пропускной способности КС [1; 2].

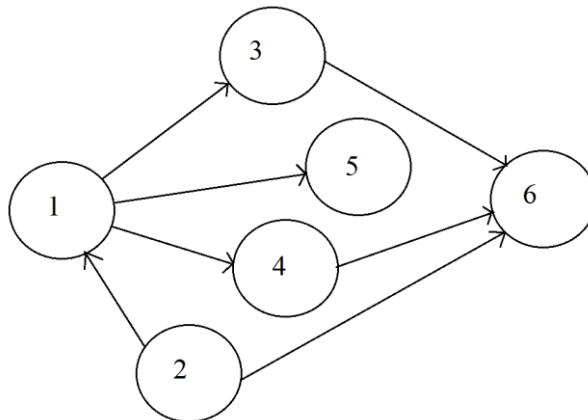


Рис. 1. Компонентная модель АСУЭО, выраженная в виде графа: 1 – ЦПУ; 2 – устройство учета тепловой энергии; 3 – измерительное устройство; 4 – устройство контроля состояния; 5 – устройство управления; 6 – устройство для информационного обмена в канале связи

Расширим компонентную модель АСУЭО, обозначив в ней информационные процессы (рис. 2). Полученная информационная модель представляет собой СМО, относящуюся к типу $M|M|n$, являющуюся при этом линейной стохастической сетью.

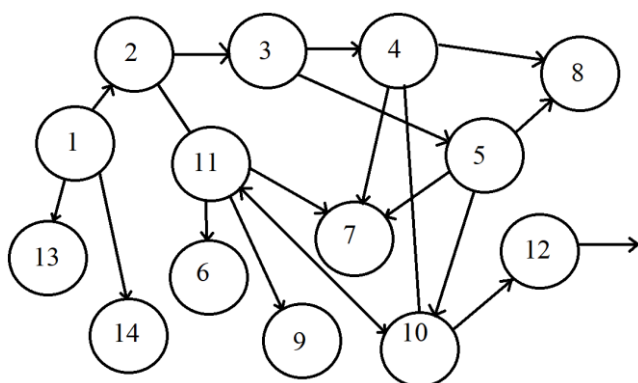


Рис. 2. Информационная модель потоков данных АСУЭО, выраженная виде графа:
 1 – съем данных; 2 – измерение параметров;
 3 – контроль параметров; 4 – вывод дискретных сигналов; 5 – вывод аналоговых сигналов;
 6 – формирование управляющего сигнала;
 7 – техническая диагностика объектов системы теплоснабжения; 8 – промежуточная обработка данных; 9 – процедура декодирования;
 10 – передача данных по КС; 11 – анализ и обработка данных на ЦПУ; 12 – отображение данных; 13 – учет потребления тепловой энергии; 14 – диагностика объектов АСУЭО

Зная классификацию данной модели, можно прийти к умозаключению о том, что ее можно описать через уравнение сохранения потока и получить количественное значение времени пребывания триггер-запроса в АСУЭО, а именно:

$$T = T_n = \sum_i a_i T_i, \quad (1)$$

где T_i – усредненное значение времени пребывания триггер-запроса в i -м элементе АСУЭО; a_i – усредненное значение числа передач между i -ми элементами АСУЭО [3; 4].

В свою очередь:

$$a_i = \frac{\lambda_i}{\lambda_0}, \quad (2)$$

здесь λ_i – интенсивность триггер-запросов для i -го элемента АСУЭО; λ_0 – общая интенсивность триггер-запросов для всех i -х элементов АСУЭО.

Таким образом, можно рассчитать вероятность передачи триггер-запроса от i -го элемента далее по графу как:

$$P_{ij} = \frac{\lambda_j}{\lambda_i}, \quad i = [0...n]; j = [0...n], \quad (3)$$

где λ_j – интенсивность передачи триггер-запроса от j -го элемента далее по графу.

Загрузку элементов АСУЭО за единицу времени находим как:

$$\rho_i = \lambda_i T_n = \lambda_i a_i T_i. \quad (4)$$

Расчет был произведен для системы теплоснабжения города Норильска, в результате чего было определено, что загрузка элементов АСУЭО составила $\rho_i = 0,8$, что является довольно высоким показателем, а среднее значение $\lambda_i = 0,007 \text{ с}^{-1}$ при среднестатистическом $\lambda_{cp} = 0,005 \text{ с}^{-1}$.

Повышение интенсивности с одновременным снижением загрузки элементов АСУЭО решается за счет балансировки нагрузки на сервере предприятия благодаря использованию алгоритмов распределения. Существует два больших семейства подобных алгоритмов, это:

1. Cache-unaware. Отличительной особенностью данных алгоритмов является то, что при обработке данных не принимается во внимание какое-либо различие между данными, закодированными в кэше локально на каждом сервере АСУЭО.

2. Cache-aware. Отличительной особенностью данных алгоритмов является то, что триггер-запросы направляются на локальный сервер, максимизируя количество cache hit'ов.

В результате были выбраны алгоритмы семейства cache-unaware, так как рассматриваемая система теплоснабжения обладает различными типами данных и источников, а образование очередей триггер-запросов (максимизации cache hit'ов) является нежелательным ввиду ограниченности вычислительных ресурсов АСУЭО.

Самые эффективные и используемые алгоритмы распределения нагрузки семейства cache-unaware на сегодняшний день: циклический алгоритм с весами, циклический алгоритм, алгоритм случайного выбора и алгоритм наименьшей очереди.

Именно алгоритм наименьшей очереди является ключевым для изменения

с целью повышения эффективности, поскольку единственный его недостаток заключается в возможности потери информации о размерах очередей триггер-запросов [1]. Естественно, с учетом требуемых показателей от загрузки АСУЭО данный недостаток может являться критичным, но наряду с ним алгоритм имеет ряд преимуществ, таких как равномерность загрузки элементов, возможность учета загрузки и минимум затрат ресурсов на внедрение в систему.

Для улучшения алгоритма сначала необходимо представить математическую модель процесса обработки триггер-запросов и распределения загрузки АСУЭО. В виде схемы он выглядит следующим образом (рис. 3).

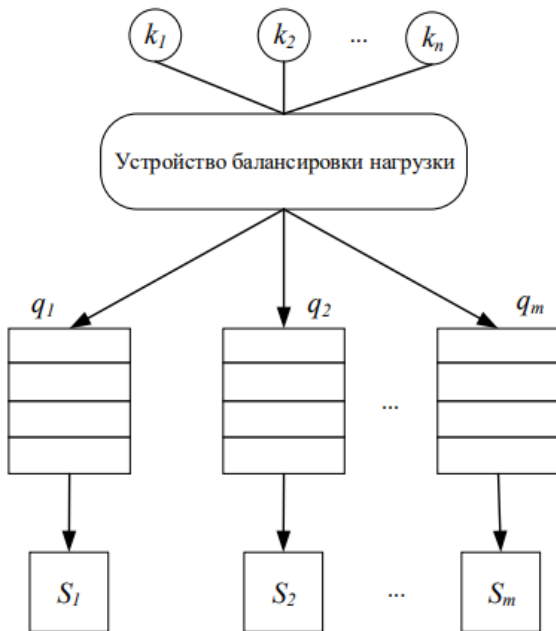


Рис. 3. Схема распределенной обработки триггер-запросов в АСУЭО: $k_1...k_n$ – количество объектов-клиентов, направляющих триггер-запросы; $q_1...q_n$ – размер очередей к центрам обработки данных АСУЭО; $S_1...S_n$ – множество центров обработки данных АСУЭО

Математическая модель распределения загрузки элементов АСУЭО будет выглядеть следующим образом:

$$S: R \rightarrow F, \quad (5)$$

где $R = [r_1...r_n]$ – множество триггер-запросов.

Тогда загруженность отдельно взятого центра обработки данных АСУЭО будет вычисляться как:

$$X_i = \frac{F_i}{\rho_i}. \quad (6)$$

Отсюда же можно вывести степень равномерности загруженности центров обработки данных АСУЭО:

$$\delta = \frac{\sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}}{\bar{X}}. \quad (7)$$

Таким образом можно будет понять, что условные центры обработки данных будут загружены равномерно при $\delta \rightarrow 0$. Естественно, что подобное возможно исключительно при идеальных условиях, либо же в случае отсутствия работы АСУЭО [1]. На практике подобного достичь практически невозможно, так как длины очередей триггер-запросов неравномерны.

Для этого модернизируем алгоритм наименьшей очереди, а разработанную модель δ будем использовать как идентификатор эффективности. Проверка эффективности работы алгоритма осуществляется на симитированной АСУЭО с помощью Linux VPS.

Принцип алгоритма наименьшей очереди заключается в возможности исключения триггер-запросов за счет сверки повторений с хронологической базой данных записей. Таким образом, происходит ранжирование триггер-запросов за счет интенсивности их появлений за рассматриваемый период времени. При наличии высокоранговых триггер-запросов и данных по ним алгоритм наименьшей очереди эффективен, но увеличение рассматриваемого периода и загрязнение кэша приводят к падению эффективности.

Если расширить критерий присвоения рангов по частоте обращений относительно периода времени, то:

$$K_{range} = \frac{\sum_{i=1}^n [q_1 \dots q_n]}{T_i}, \quad (8)$$

где T_i – рассматриваемый временной период.

Тогда при наличии дополнительной очереди для хронологической записи всех кэш данных, к которым были обращены триггер-запросы, возможно будет регулировать помещение данных в кэш в зависимости от величины λ_i . Чистка кэша в этом случае будет осуществляться удалением данных с наименьшим λ_i за T_i . Графически это выглядит следующим образом [5] (рис. 4):

1. Доступ к данным по триггер-запросам осуществляется в первый раз и добавляется в хронологическую базу данных.

2. В случае если данные не достигают требуемой величины K_{range} , они будут удалены.

3. В случае если данные достигают необходимой величины K_{range} , происходит удаление индекса триггер-запроса из очереди и данные перемещаются в кэш, который снова ранжируется по величине λ_i .

4. В случае повторного доступа к данным, уже находящимся в кэше, производится их переранжирование.

5. Данные удаляются из кэша в случае, если наблюдается наименьшее λ_i за T_i .

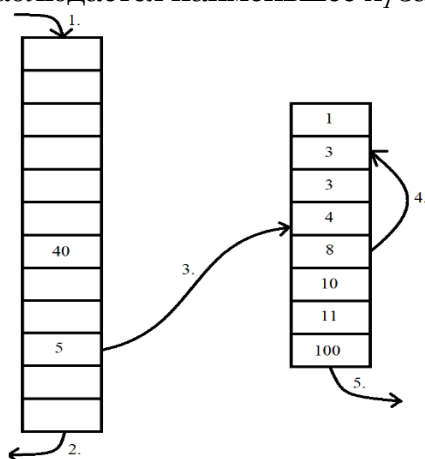


Рис. 4. Изображение работы усовершенствованного алгоритма наименьшей очереди

Далее перейдем к разработке метода повышения эффективности обработки и передачи данных в системах автоматического управления процессами тепло-

снабжения через особенности формирования информационных сообщений в АСУЭО.

Для этого перечислим существующие особенности системы:

1. Все элементы доставки информации от передатчика до приемника, кроме модуля источника, являются ретрансляторами и не влияют на формат данных в триггер-запросе.

2. Буфер передачи данных настроен только на однократную передачу триггер-запроса, затем он очищается, после чего центральный контроллер начинает новый цикл с учетом расставленных приоритетов.

3. Целостность полученных конечных данных подтверждается адресной квитанцией, которая идентифицирует источник квитируемой информации. В случае отсутствия информации в течение установленного времени осуществляется повторная попытка вывода данных.

В АСУЭО осуществляется централизованный способ формирования информационных сообщений, который позволяет осуществить процедуру интеграции данных в одно сообщение события, фиксируемое центральным контроллером при обработке информации от всех элементов системы [6]. Это дает возможность математически описать временные параметры системы:

$$T_c = n \left(t_{opr} + 2t_p + \frac{1,5 \cdot m}{F_{in}^{mag}} \right) + (n \cdot m \cdot T_{obr}^1) + \frac{300}{F_{per}}, \quad (9)$$

где n – число модулей одного вида информации КС; t_{opr} – время передачи данных от контроллера до выбранного элемента; t_p – пауза между подачей триггер-запроса и подготовкой данных элементом; m – число элементов АСУЭО, подключенных к одному КС; F_{in}^{mag} – скорость передачи (частота тактовых импульсов) данных по КС; T_{obr}^1 – время обработки информации одного

измерительного устройства/датчика; F_{per} – скорость передачи информации по КС.

Из формулы (9) видно, что ключевым параметром, влияющим на временные параметры системы, будет F_{per} . Сымитировав АСУЭО с помощью Linux VPS, с учетом математической модели T_c была получена следующая зависимость:

$$T_c(\text{сек}) F_{per}$$

Осталось совместить усовершенствованный алгоритм наименьшей очереди с сымитированной АСУЭО в Linux VPS и провести анализ степени изменения зависимостей на рис. 5.

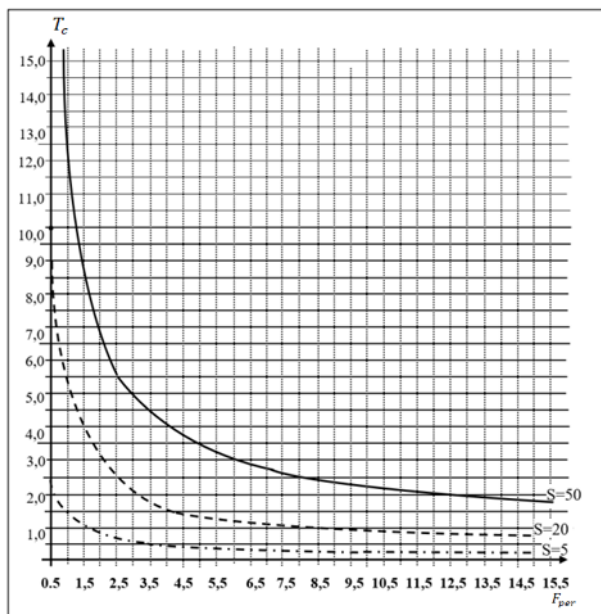


Рис. 5. Зависимость времени сбора данных системой от F_{per} с учетом количества центров обработки данных АСУЭО

Структурная схема имитируемой системы выглядит следующим образом (рис. 6).

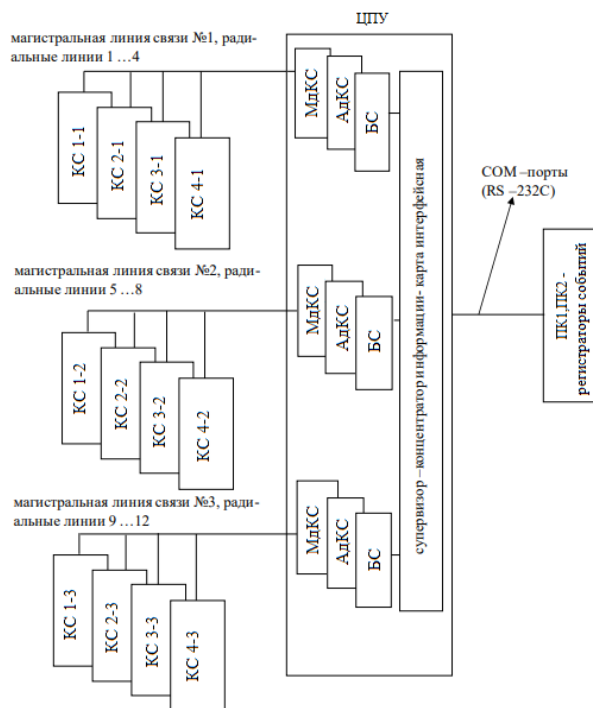


Рис. 6. Структурная схема АСУЭО для экспериментальной проверки усовершенствованного алгоритма наименьшей очереди: МдКС – модем для канала связи; АдКС – адаптер для канала связи; БС – блок сопряжения; ПК – персональный компьютер

Логично, что наибольшие проблемы при увеличении пропускной способности АСУЭО возникали на магистральных КС. Однако усовершенствованный алгоритм наименьших очередей осуществил процедуру ранжирования триггер-запросов, в результате чего $\rho_i = 0,67$, $\lambda_i = 0,006 \text{ с}^{-1}$, $\delta = 0,5$. За счет этого время сбора данных системой от F_{per} сократилось на 17%.

Выводы. В результате данной работы были получены:

1. Математическая модель процесса обработки триггер-запросов в АСУЭО, использующая алгоритм семейства cache-unaware, способный осуществить балансировку загрузки центров обработки данных в системе теплоснабжения.

2. Усовершенствованный алгоритм наименьшей очереди, производящий ранжирование данных в зависимости от интенсивности обращения за определенный временной период [1].

3. Методика формирования информационных сообщений в АСУЭО теплоснабжения, основанная на централизованной передаче данных.

4. Экспериментально подтвержденный способ повышения эффективности

передачи данных в АСУЭО на основе использования усовершенствованного алгоритма наименьшей очереди, который обеспечил повышение эффективности таких параметров системы, как ρ , λ_i и δ .

Список источников

1. Петров А.М., Хамица А.С. Разработка средств повышения эффективности обработки и передачи данных в системах автоматического управления процессами теплоснабжения // Направления совершенствования научно-технического потенциала общества в стратегическом периоде: сборник статей Международной научно-практической конференции. Уфа, 2023. С. 38–41.

2. Натурно-математическое моделирование в системах управления: учеб. пособие / В.П. Авдеев, С.Р. Зельцер, В.Я. Карташов, С.Ф. Кисилев. Кемерово: Кемеровский гос. университет, 1987. 84с.

3. Системы автоматизации на основе натурно-модельного подхода: монография. Т. 2: Системы автоматизации производственного назначения / под ред. Л.П. Мышляева. М.: Наука, 2006. 483 с.

4. Лебедев С.А., Мельников В.А. Общее описание БЭСМ и методика выполнения операций. М.: Физматгиз, 1959. С. 208.

5. Глушков В.М. Проектирование и внедрение АСУП. Киев, 1974. С. 435.

6. Солодовников В.В. Введение в статистическую динамику систем автоматического управления. М.: Наука, 1952. С. 111–123.

References

1. Petrov A.M., Khamitsa A.S. Development of means for increasing the efficiency of data processing and transmission in automatic control systems for heat supply processes // Collection of articles of the International Scientific and Practical Conference. Ufa, 2023. P. 38–41.

2. Natural mathematical modeling in control systems / V.P. Avdeev, S.R. Zeltser, V.Ya. Kartashov, S.F. Kisilev. Kemerovo: Kemerovo State University, 1987. 84 p.

3. Automation systems based on a full-scale model approach: monograph. Vol. 2: Industrial

automation systems // ed. L.P. Myshlyayev. M.: Nauka, 2006. 483 p.

4. Lebedev S.A., Melnikov V.A. General description of BESM and methods of performing operations. M.: Fizmatgiz, 1959. P. 208.

5. Glushkov V.M. Design and implementation of automated control systems. Kiev: 1974. P. 435.

6. Solodovnikov V.V. Introduction to statistical dynamics of automatic control systems. M.: Nauka, 1952. Pp. 111–123.

Научный вестник Арктики. 2024. №16. С. 30–37.
Scientific Bulletin of the Arctic. 2024;(16):30–37.

Технические науки

Научная статья

УДК 691.54:666.9

doi: 10.52978/25421220_2024_16_30–37

ВИДЫ ЦЕМЕНТА И ТЕХНОЛОГИИ ЕГО ПОЛУЧЕНИЯ

Антон Александрович Юрченко

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

E-mail: alexx6490@mail.ru

Михаил Анатольевич Елесин

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

E-mail: ema0674@mail.ru

Аннотация. Цемент является одним из самых распространенных строительных материалов в мире. Имеет большое количество разновидностей в зависимости от состава, свойств и области применения. Технология производства цемента весьма разнообразна и определяется большим числом различных факторов: сырьем, климатическими условиями, технологическим и транспортным оборудованием, способом производства и т.д.

Ключевые слова: цемент, портландцемент, виды цемента, марка, технология, свойства цемента.

Для цитирования: Юрченко А.А., Елесин М.А. Виды цемента и технологии его получения // Научный вестник Арктики. 2024. №16. С. 30–37. https://doi.org/10.52978/25421220_2024_16_30–37.

Technical sciences

Original article

TYPES OF CEMENT AND TECHNOLOGIES FOR ITS PRODUCTION

Anton A. Yurchenko

Fedorovsky Polar State University, Norilsk, Russia

E-mail: alexx6490@mail.ru

Mikhail A. Yelesin

Fedorovsky Polar State University, Norilsk, Russia

E-mail: ema0674@mail.ru

Abstract. Cement is one of the most common building materials in the world. It has a large number of varieties depending on the composition, properties and application area. The technology of cement production is very diverse and is determined by a large number of different factors: raw materials, climatic conditions, technological and transport equipment, production method, etc.

Keywords: cement, Portland cement, types of cement, brand, technology, properties of cement.

For citation: Yurchenko A.A., Yelesin M.A. Types of cement and technologies for its production. *Scientific Bulletin of the Arctic*. 2024;(16):30–37. (In Russ.). https://doi.org/10.52978/25421220_2024_16_30–37.

Процесс строительства сопровождается человечесество на протяжении всего времени его существования. Во всем мире в строительстве применяются различные строительные материалы в зависимости от наиболее распространенного сырья и климатических условий региона.

К распространенным строительным материалам можно отнести и минеральные вяжущие вещества – порошковые материалы, которые после смешения с водой (а в отдельных случаях с растворами некоторых солей) образуют

массу, постепенно затвердевающую и переходящую в камневидное состояние.

Существует значительное количество разнообразных вяжущих. Однако в строительстве применяется лишь часть из них. Их называют строительными вяжущими веществами и делят на две основные группы:

1) неорганические (минеральные), главные из которых – портландцемент и его разновидности, известь, гипс и другие;

2) органические, из которых больше всего используют продукты перегонки нефти и каменного угля (битумы, дегти) [1].

Наиболее зарекомендовавшим себя по набору физических и химических свойств, самым распространенным в мире на текущий момент является цемент, обладающий способностью набирать прочность во влажных условиях, чем принципиально отличается от других минеральных вяжущих, таких как, например, воздушная известь [2].

Цемент делится на несколько видов, в зависимости от объема основного минерала, содержащегося в нем:

- романцемент – данный вид цемента приведен ретроспективно и на данный момент не производится; основное вещество – белит;

- портландцемент – преимущественно состоит из алита, он наиболее широко применяется в строительстве;

- глинозёмистый цемент – преимущественно состоит из алюминатной фазы;

- магнезиальный цемент (также известен как цемент Сореля или альболит) – преимущественно состоит из магнезита, который затворяется водным раствором солей;

- кислотоупорный цемент – сырьём служит гидросиликат натрия ($\text{Na}_2\text{O} \cdot m\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$), с примесью кварцевого песка и кремнефтористого натрия, затворённым гидрораствором жидкого стекла.

Также существует еще один вид цемента – биоцемент, в производстве которого задействованы биотехнологии.

Как правило, в обиходе, когда предполагается обозначение портландцемента или цемента на основе клинкера, используется слово «цемент». По виду клинкера цементы подразделяют на основе: портландцементного клинкера, глинозёмистого клинкера и сульфатно-алюминатного клинкера [3]. В прошлом веке различных разновидностей цемента уже насчитывалось около 30.

Цемент разделяется на марки. Данное деление происходит на основании прочности той или иной марки. Есть несколько видов тестирования прочности. Как правило, это разрушающий, неразрушающий и комбинированный методы тестирования. Для классификации марок цемента используются следующие обозначения, выраженные в числах М200–М600, обозначающие прочность сжатия соответственно в 100–600 кг/см² (или 10–60 МПа в других исчислениях). Самый прочный из данных марок – это цемент марки М600, который называется «военным» или «фортификационным» благодаря своей прочности, но стоит он гораздо дороже марки 500. Преимущественно он применяется при строительстве военных объектов, бункеров, ракетных шахт и т.п.

На основании прочности цемент также делится на классы. Но в отличие от марок, классы определяют прочность не как средний показатель, а требуют ответственности не менее 95 образцов из 100 заявленному классу. Единица измерения класса – МПа, обозначается как числа от 30 до 60, которые обозначают прочность при сжатии.

По прочности при сжатии в 28-суточном возрасте цемент подразделяется на марки:

- портландцемент – 400, 500, 550 и 600;

- шлакопортландцемент – 300, 400 и 500;

- портландцемент быстротвердеющий – 400 и 500;

- шлакопортландцемент быстротвердеющий – 400 [4].

По объему производимого цемента Россия всегда занимала одну из лидирующих позиций. По количеству вырабатываемого цемента цементная промышленность СССР в 1962 г. заняла первое место в мире. Качество цемента продолжает улучшаться из года в год.

Развитие отрасли отражается в выпуске цемента высокого качества, что происходит благодаря оснащению цементных заводов новым и высокопроизводительным технологическим оборудованием.

Одной из ведущих тяжелых индустрий комплексной механизации в мире является Россия. Высокий технический уровень большинства предприятий цементной промышленности, механизация и автоматизация процессов производства требуют от специалистов цементной промышленности разносторонних знаний [5].

В нашей стране наибольшей популярностью пользуются следующие виды цемента:

- портландцемент (алит – 40–55%, белит – 20–30%, алюминат – до 15%, алюмоферрит – 10–20%);
- шлакопортландцемент (портландцемент + 20–80% шлака);
- пластифицированный цемент (в основе содержится портландцемент с добавлением пластифицирующих поверхностно-активных добавок; такими добавками может служить концентрат сульфитно-спиртовой бражки, который в обязательном порядке должен соответствовать требованиям МРТУ 13–04–35–66);
- пуццолановый цемент (состоящий на 60–80% из портландцементного клинкера и на оставшиеся 20–40% из активных минеральных добавок с добавлением небольшого количества гипса);
- цемент глиноземистый (состоит из мелкодисперсного обожженного клинкера, сырьем для которого служат бокситы и известняк; процесс обжига происходит в специализированных устройствах (вращающиеся доменные электри-

ческие печи или газoeлектрические вагранки); данный вид цемента в свою очередь подразделяется на обычный глиноземистый цемент (до 55% Al_2O_3 в готовой продукции) и высокоглиноземистый цемент (до 70% Al_2O_3 в готовой продукции);

- кислотоупорный цемент – смесь из базальта, шамота, диабазы, кварца, ке-рамзита и др. с добавлением ускорителя твердения кремнефтористого натрия.

Все эти виды являются формами портландцемента, модифицированными с помощью различных минеральных добавок, добавок-катализаторов и т.д.

За рубежом популярностью пользуется схожий набор видов цемента, а именно портландцемент, шлакопортландцемент, глиноземистый цемент и аналогичные гидравлические цементы, соответствующие стандарту EN 197–1, который устанавливает единую для всех стран ЕС классификацию, технические требования и методы установления соответствия качества цемента требованиям стандарта [6].

Решающим фактором для выбора технологии производства цемента на цементных заводах является целый ряд характеристик и условий: сырьё (которое находится максимально близко к заводу), климатическая зона (в которой планируется размещение завода), оборудование (имеющееся в наличии у заказчика производства) и т.п. В настоящее время основными способами изготовления цемента являются мокрый, сухой и комбинированный способы.

Рассмотрим сухой способ получения цемента, изображенный на рис. 1.

Исходное сырьё (при сухом способе) – известняк, мел, мергель – доставляется к приемному бункеру 1 и подается питателем 2 в дробильную установку 3. Далее материал уже более мелкой фракции с помощью конвейерной ленты 4 направляется в бункер 5 и затем – на помол в мельницу 6. При помоле материала происходит одновременная сушка с конечной влажностью не выше 2%. Ма-

териал поступает в сепаратор 7, в котором более мелкую фракцию продукта направляют на силосы 8, а более крупную – обратно в мельницу на дополнительный помол. Помольное отделение оборудовано специальными пылеулавливающими устройствами для снижения влияния производства на окружающую среду. Глина, которая была просушена в сушильных барабанах, также подается в мельницу 6.

Сырье, называемое сырьевой мукой или смесью, в процессе помола и транспортирования в силосы перемешивают. Перед сырьевыми силосами (для улучшения перемешивания) применяют механические смесители. После силосов смесь подается в циклонные теплообменники 9, нагревается до температуры 700–800 °С. Смесью из циклонных теплообменников направляется во вращающуюся печь 10, где в результате нагрева смесь превращается в цементный клинкер. После данного процесса клинкер охлаждается в специализированной холодильной установке 11, и с помощью конвейера 12 транспортируется на склад 13. Дополнительные добавки (гипс и прочие) находятся на складе 14. В дальнейшем клинкер и добавки перемешиваются и перемалываются в мельнице 15. Полученный продукт подается

в силосный склад 16. Далее готовая продукция (в данном случае это цемент) грузится в вагоны или специализированные биг-бэги 17. Дополнительными устройствами на предприятии являются пылеосадители (циклоны, электрофильтры и т.п.) 18 и 19, предназначенные для улавливания пыли из печи и обеспечивающие её рециркуляцию в производство, а также для очистки воздуха в цехах.

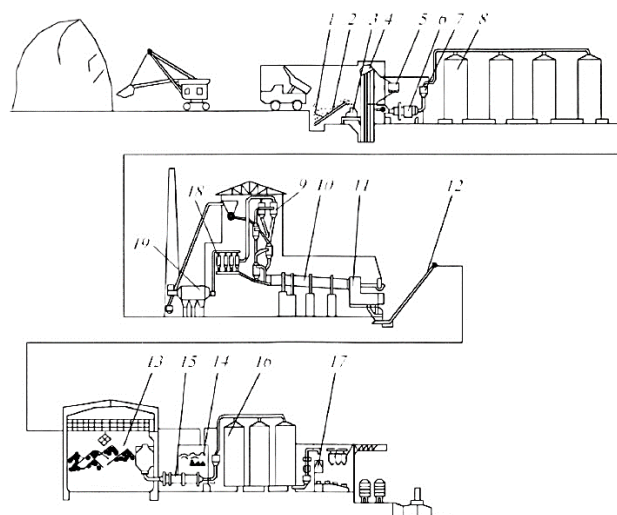


Рис. 1. Технологическая линия по производству цемента сухим способом

Для дополнительной визуализации процесса можно рассмотреть следующую иллюстрацию (рис. 2).

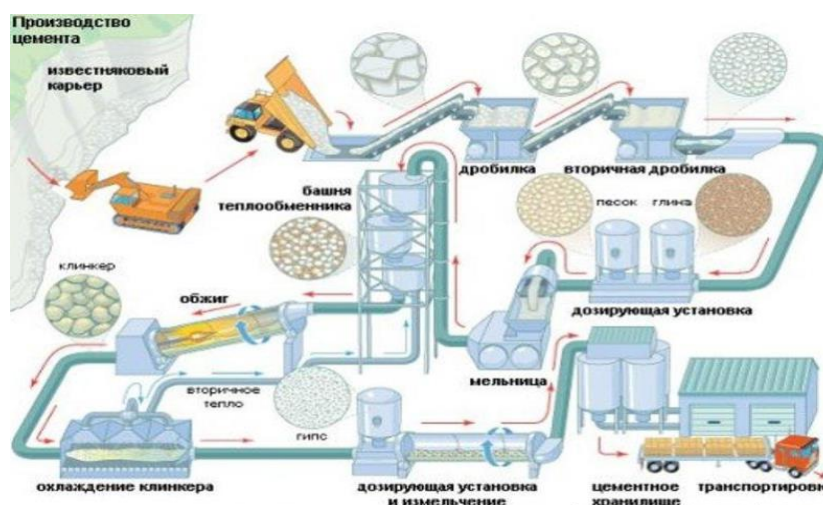


Рис. 2. Аппаратурно-технологическая схема производства цемента

В работах Ю.М. Баженова, Л.А. Алимова, В.В. Воронина и Н.В. Тресковой

рассматриваются общие вопросы проектирования и реконструкции предприятий сборного железобетона, заводов по

производству строительной керамики, асбоцементных изделий, изделий из древесины, из природных каменных материалов [7].

Параллельно технологическому процессу получения цемента происходит химическое взаимодействие всех содержащихся в смеси веществ.

Рассмотрим химический процесс создания цементной смеси на различных этапах её формирования.

Материалы за счет неустановившегося равновесия внутренних химических связей склонны к самопроизвольным структурным изменениям, что приводит к разрушению бетонных конструкций агрессивными жидкостями и газами [8].

Базово сырьё состоит из следующих элементов:

- CaO, обозначающий наличие известняка, мела и мергеля в составе;
- SiO₂, которым обозначается песок, шлак, глина и прочие схожие материалы;
- Al₂O₃, указывающий на наличие в составе глины, золы или боксита;
- Fe₂O₃, который обозначает железную руду и пирит.

Далее следует процесс получения клинкера путем запекания сырья.

Печной агрегат условно можно разделить на зоны со следующими функциями:

- зона испарения свободной влаги (температура достигает 100 °C) – применяется для печей при мокром способе производства;
- дегидратация (происходит при температуре от 350 до 650 °C) – при данном процессе глина теряет влагу из кристаллической решетки;
- декарбонизация (температура от 650 до 950 °C) – процесс, приводящий к разложению карбоната кальция и магния, в результате чего получается оксид кальция и магния;
- клинкерообразование (процесс запекания, происходящий при температуре от 1300 до 1450 °C), формирование основного клинкерного минерала;

– охлаждение – стабилизация клинкерных фаз в результате резкого охлаждения.

Минеральный состав полученного полуфабриката представлен в табл. 1.

Таблица 1

Минеральный состав клинкера

Название минерала	Символ	Химический состав	Содержание	
Алит (силикат)	C ₃ S	3CaO*SiO ₂	60–70%	C = CaO
Белит (силикат)	C ₂ S	2CaO*SiO ₂	8–20%	S = SiO ₂
Алюминат	C ₃ A	3CaO*Al ₂ O ₃	5–11%	A = Al ₂ O ₃
Алюмоферрит	C ₄ AF	4CaO*Al ₂ O ₃ * *Fe ₂ O ₃	9–14%	F = Fe ₂ O ₃

Свойства цемента определяют клинкерные минералы, а именно:

- силикат трехкальциевый (он же алит) C₃S – основной компонент цемента, который способствует ускорению набора прочности, имеет более высокую стартовую и марочную прочность;
- силикат двухкальциевый (он же алит) C₂S – способствует более медленному набору прочности, имеет низкую начальную и высокую прочность в долгие сроки затвердевания, высокопрочный компонент;
- алюминат трехкальциевый C₃A – способствует высокой скорости набора прочности, имеет высокую начальную прочность и значительно влияет на конечные свойства бетона (такие как реология и коррозионная стойкость);
- алюмоферрит четырехкальциевый C₄AF – служит для придания цвета цементу, практически не влияя на его свойства.

Помимо вышеперечисленных клинкерных минералов, в состав конечного готового продукта также входят минералы, поступившие во время прочих процессов получения клинкера, а именно: в процессе поступления побочных минералов сырья (Mg, K, Na, Cl, SO₃) и при термических процессах

(Fe_2O_3 , P_2O_5 , K, Na, Cl, SO_3). Как правило, они содержатся в незначительном количестве и влияют:

- на размер гранул клинкера и нарастание колец в печах;
- затруднение перекачки воздушной массы циклонными теплообменниками;
- содержание вредных веществ в пыли из печей;
- выбросы в атмосферу;
- качество цемента.

Далее следует процесс помола клинкера на специальных мельницах, с добавлением в смесь гипса.

Существуют разные виды гипса, отличающиеся преимущественно по свойствам, в том числе по активности. Самым активным видом можно назвать полуводный гипс (с химической формулой $\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$), за ним – двуводный гипс (с химической формулой $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$). Завершает список низкоактивная форма – ангидрит (с химической формулой CaSO_4). На этапе помола температура в мельнице достигает показателя более 70°C . При такой температуре двуводная форма гипса превращается в полуводную форму с отрицательным влиянием на реологические показатели цемента и всей дальнейшей цепочки продукции, в состав которой будет входить данный цемент (бетон и растворы). Это происходит в связи с тем, что увеличение водопотребности снижает показатель подвижности.

Формирование структуры цементного камня при взаимодействии минералов с водой сопровождается физическими процессами. При этом для интенсификации процесса гидратации портландцемента и повышения прочности цементного камня используют различные добавки, в том числе введение электролитов. Из числа водорастворимых солей кальция к ним относится полисульфид, используемый для повышения прочности бетона [9; 10].

Не следует забывать о том, что скорость гидратации гидроалюминатов

прямо пропорционально зависит от концентрации гидроксида кальция [11].

На основании вышеизложенного, авторы делают следующие **выводы** о дальнейшем развитии цементной отрасли и будущих видах цемента.

Получив представление, из чего производится цемент, и изучив технологию производства, можно сделать вывод о том, насколько важно соблюдать качество сырья, а также строго следовать технологии производственного процесса при изготовлении строительного материала.

Анализ информации, полученной при написании данной работы, дает возможность сделать вывод о высокой значимости рассмотрения процесса получения цемента как ряда механических операций, как череды химических процессов, каждый этап которого по-своему влияет на состав готовой продукции, превращая из обычной горной породы составляющую для строительства зданий и сооружений, которыми будет пользоваться человек.

Важной стороной данного процесса является оценка химического состава как базового сырья, так и полученной готовой продукции, в зависимости от области и географии её применения, которые могут иметь весьма специфические требования, в том числе к морозостойким характеристикам, устойчивости (защитаемости) внутренних металлоконструкций от коррозии, необходимой твердости и нагрузке материала.

Для регулирования свойств бетонной смеси и бетона, а также экономии цемента в бетон при приготовлении вводят различные виды добавок [12]. ГОСТ 24211–2008 регулирует перечень химических добавок и их применение.

Имея в своём арсенале дополнительные присадки, при производстве материалов можно вносить дополнительные составляющие в строительную смесь, корректируя тот химический состав, который имеется при добыче базового сы-

рья. В итоге каждый регион мира сможет получать тот химический состав цемента, который будет отвечать требуемым характеристикам. Для более жарких регионов мира это, возможно, создание такого цементного раствора, который будет удерживать прохладную температуру в помещениях и, наоборот, для регионов Севера и Арктических зон – цемент, который будет обладать такими качествами, которые будут в большей мере сохранять тепло в помещении.

Уже на современном этапе развития технологий можно создавать строительный материал из отходов производства и использовать в более безопасных для человека отраслях, таких как строительство дорог и прочее. Конечно, при этом

не забывая о безопасности использования таких материалов и проверяя их на соответствие ГОСТ (в т.ч. определяя удельную эффективную активность радионуклидов [13]).

На кафедре строительства и теплогазоснабжения ФГБОУ ВО «Заполярный государственный университет им. Н.М. Федоровского» проводятся исследования с целью получения портландцементов и других вяжущих с использованием отходов металлургического и других производств с заданной прочностью и стойких к морозной и внутренней коррозии путем модифицирования составов и структуры материалов.

Список источников

1. Волженский А.В., Буров Ю.С., Колокольников В.С. Минеральные вяжущие вещества. М.: Стройиздат, 1979. 476 с.
2. Цемент // Материал из Википедии: [сайт]. URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Цемент>
3. ГОСТ 30515–97. Цементы. Общие технические условия.
4. ГОСТ 10178–85. Портландцемент и шлакопортландцемент. Технические условия.
5. Холина И.М. Справочник по производству цемента. М., 1963.
6. ГОСТ 31108–2003. Цементы общестроительные. Технические условия.
7. Проектирование предприятий по производству строительных материалов и изделий / Ю.М. Баженов, Л.А. Алимов, В.В. Воронина, Н.В. Трескова. М.: Изд-во ассоциации строительных вузов, 2005. 472 с.
8. Домокеев А.Г. Строительные материалы. М.: Высшая школа, 2008.
9. Елесин М.А., Павлов А.В., Бердов Г.И. Исследование механизма гидратационного преобразования портландцемента в растворе полисульфида кальция // Журнал прикладной химии. 2002. Т. 75. Вып. 6. С. 903–907.
10. Елесин М.А., Бердов Г.И. Исследование гидратации минералов портландцемента в известково-серном затворителе // Изв. вузов. Химия и хим. технология. 2016. Т. 59. Вып. 5. С. 55.
11. Тейлор Х. Химия цемента; пер. с англ. М.: Мир, 1996. 560 с.
12. Технология бетона, строительных изделий и конструкций: учебник / Ю.М. Баженов, Л.А. Алимов, В.В. Воронин, У.Х. Магдеев. М.: Изд-во ассоциации строительных вузов, 2008. 350 с.
13. ГОСТ 30108-94. Материалы и изделия строительные. Определение удельной эффективной активности естественных радионуклидов.

References

1. Volzhensky A.V., Burov Yu.S., Kolokolnikov V.S. Mineral binders. M.: Stroyizdat, 1979. 476 p.
2. Cement // Material from Wikipedia. URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Цемент>
3. GOST 30515–97. Cements. General technical conditions.
4. GOST 10178–85. Portland cement and slag Portland cement. Technical conditions.
5. Kholina I.M. Handbook of cement production. M., 1963.
6. GOST 31108–2003. General construction cements. Technical conditions.
7. Designing enterprises for the production of building materials and products / Yu.M. Bazhenov,

L.A. Alimov, V.V. Voronina, N.V. Treskova. M.: Publishing House of the Association of Construction Universities, 2005. 472 p.

8. Domokeyev A.G. Building materials. M.: Higher School, 2008.

9. Elesin M.A., Pavlov A.V., Berdov G.I. Investigation of the mechanism of hydration transformation of Portland cement in a solution of calcium polysulfide. *Journal of Applied Chemistry*. 2002;75(6):903–907. (In Russ.).

10. Elesin M.A., Berdov G.I. Investigation of hydration of Portland cement minerals in a

lime-sulfur reclus. *Izv. vuzov. Chemistry and chemical technology*. 2016;59(5):55. (In Russ.).

11. Taylor H. Chemistry of cement; translated from English. M.: Mir, 1996. 560 p.

12. Technology of concrete, building products and structures: textbook / Yu.M. Bazhenov, L.A. Alimov, V.V. Voronin, U.H. Magdeev. M.: Publishing House of the Association of Construction Universities, 2008. 350 p.

13. GOST 30108-94. Construction materials and products. Determination of the specific effective activity of natural radionuclides.

Научный вестник Арктики. 2024. №16. С. 38–43.
Scientific Bulletin of the Arctic. 2024;(16):38–43.

Технические науки

Научная статья

УДК 624.02/07: 69.059.4

doi: 10.52978/25421220_2024_16_38–43

ОБСЛЕДОВАНИЕ ЗДАНИЙ, ЭКСПЛУАТИРУЕМЫХ В УСЛОВИЯХ КРАЙНЕГО СЕВЕРА

Наталья Анатольевна Губина

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

E-mail: GubinaNA@norvuz.ru

Татьяна Игоревна Вакуленко

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

E-mail: tanyshaa.va2002@gmail.com

Римма Камыловна Рагимова

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

E-mail: rimma.ragimova@icloud.com

Аннотация. В статье изложены проблемы обеспечения полноценной эксплуатации и увеличения срока службы зданий и сооружений, затронута актуальная тема соответствия технического состояния зданий требованиям действующих нормативных документов, определение возможности их дальнейшей безаварийной эксплуатации с учетом дефектов и повреждений, выявленных при обследовании на примере здания теплого склада. Определены работы, выполняемые в ходе проведения обследования: подготовительные, предварительное (визуальное) обследование, детальное инструментальное обследование. В составе технического обследования выполняется поверочный расчет металлоконструкций здания, который является важной частью технического мониторинга. Получены фактические данные о техническом состоянии строительных конструкций здания, эксплуатируемого в условиях Крайнего Севера. Проведена оценка соответствия их технического состояния требованиям действующих нормативных документов. Установлены категории технического состояния строительных конструкций. Определены возможности дальнейшей безаварийной эксплуатации здания с учетом дефектов и повреждений, выявленных при обследовании.

Ключевые слова: строительные конструкции, обследование зданий, Крайний Север, техническое состояние, дефекты, поверочные расчеты, технический мониторинг.

Для цитирования: Губина Н.А., Вакуленко Т.И., Рагимова Р.К. Обследование зданий, эксплуатируемых в условиях Крайнего Севера // Научный вестник Арктики. 2024. №16. С. 38–43. https://doi.org/10.52978/25421220_2024_16_38–43.

Technical sciences

Original article

SURVEY OF BUILDINGS OPERATED IN THE CONDITIONS OF THE FAR NORTH

Natalya A. Gubina

Fedorovsky Polar State University, Norilsk, Russia

E-mail: GubinaNA@norvuz.ru

Tatyana I. Vakulenko

Fedorovsky Polar State University, Norilsk, Russia

E-mail: tanyshaa.va2002@gmail.com

Rimma K. Ragimova

Fedorovsky Polar State University, Norilsk, Russia

E-mail: rimma.ragimova@icloud.com

Abstract. The article outlines the problems of ensuring full operation and increasing the service life of buildings and structures, touches on the current topic of compliance of the technical condition of buildings with the requirements of current regulatory documents, determining the possibility of their further trouble-free operation, taking into account the defects and damage identified during the inspection using the example of a warm warehouse building. The work performed during the examination is defined: preparatory, preliminary (visual) examination, detailed instrumental examination. As part of the technical inspection, a verification calculation of the building's metal structures is performed, which is an important part of technical monitoring. Factual data on the technical condition of building structures operated in the Far North were obtained. The compliance of their technical condition with the requirements of current regulatory documents was assessed. Categories of technical condition of building structures have been established. The possibilities for further trouble-free operation of the building are determined, taking into account the defects and damage identified during the inspection.

Keywords: building structures, building inspection, Far North, technical condition, defects, verification calculations, technical monitoring.

For citation: Gubina N.A., Vakulenko T.I., Ragimova R.K. Survey of buildings operated in the conditions of the Far North. *Scientific Bulletin of the Arctic*. 2024;(16):38–43. (In Russ.). https://doi.org/10.52978/25421220_2024_16_38-43.

Обследование зданий является ключевым этапом для достижения более длительного срока службы зданий и сооружений, а также для обеспечения их полноценной эксплуатации [1].

Обследование выполняется в строгом соответствии с требованиями нормативной документации, прежде всего, ГОСТ 31937–2011 [2]. Целью данной работы является получение фактических данных о техническом состоянии строительных конструкций объекта, эксплуатируемого в условиях Крайнего Севера, оценка соответствия их технического состояния требованиям действующих нормативных документов, определение возможности их дальнейшей безаварийной эксплуатации с учетом дефектов и повреждений, выявленных при обследовании [3].

Объектом обследования является здание теплого склада (рис. 1), предназначенное для хранения товарно-материальных ценностей. Введен в эксплуатацию с 1988 г. и в ходе суровых климатических условий и длительной эксплуатации возникли определенные дефекты, моральный и физический износ [3]. Для увеличения сроков службы здания требовалось

провести ряд мероприятий по техническому мониторингу [1; 2].



Рис. 1. Здание теплого склада

Здание теплого склада – одноэтажное, двухпролетное, размером по осям $48,6 \times 72$ м (рис. 2, 3). Конструктивная схема здания – каркасная. Каркас составлен из металлических рам, пролетом 24 м, шагом 6 м. Стойки и ригели рам выполнены из легких металлоконструкций замкнутого профиля (рис. 4). Прочность и устойчивость здания обеспечивается жесткими узлами рам и системой связей по колоннам и в покрытии.

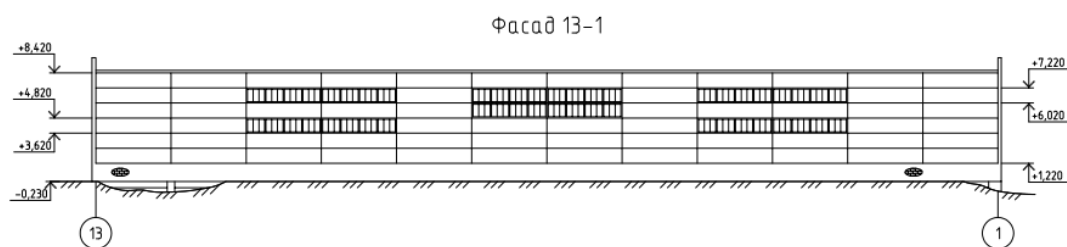


Рис. 2. Продольный фасад теплого склада

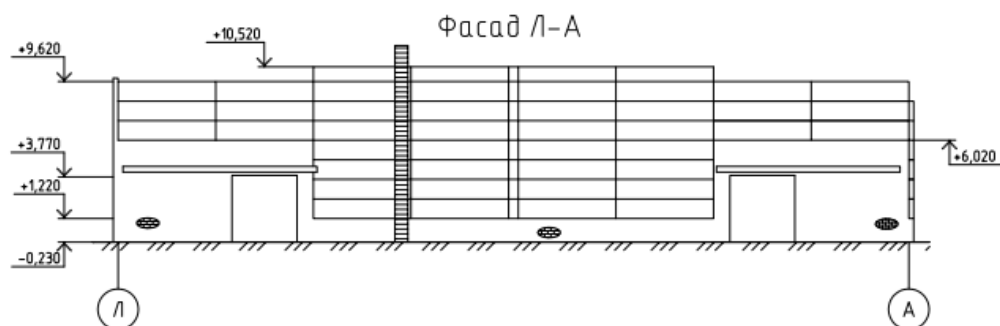


Рис. 3. Поперечный фасад теплого склада

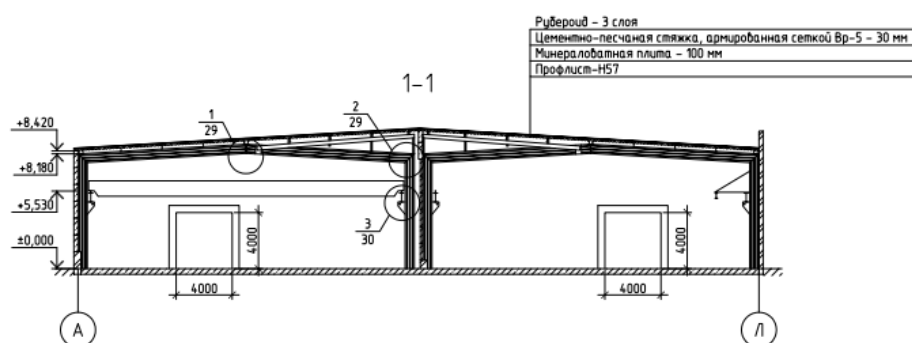


Рис. 4. Разрез теплого склада 1-1

В состав выполненных работ при обследовании объекта входят:

– *подготовительные работы*: ознакомление с объектом обследования, его объемно-планировочным и конструктивным решениями; подбор и анализ технической документации;

– *предварительное (визуальное) обследование*: сплошное визуальное обследование строительных конструкций здания; выявление дефектов и повреждений (рис. 5, 6); составление ведомостей обнаруженных дефектов и повреждений конструкций; предварительная оценка технического состояния строительных конструкций здания;

– *детальное инструментальное обследование*: работы по обмеру необходимых геометрических параметров здания, конструкций, их элементов и узлов; инструментальное определение параметров дефектов и повреждений; установление вероятных причин появления дефектов и повреждений строительных конструкций сооружения; определение фактических прочностных характеристик материалов основных несущих конструкций здания; расчет фактической несущей способности строительных конструкций здания с учетом дефектов и повреждений, выявленных при натурных работах.



Рис. 5. Сквозная деструкция бетона стеновой панели



Рис. 6. Разрушение стеновых панелей

Инструментальное обследование производится при помощи следующих приборов: лазерный дальномер; толщиномер ультразвуковой; штангенциркуль; нивелир с компенсатором; рейка нивелирная телескопическая.

В составе технического обследования выполняется поверочный расчет металлоконструкций здания теплого склада, который является важной частью технического мониторинга (рис. 7). Целью поверочных расчетов является определение устойчивости, выносливости и прочности конструкций, а также выявление причин деформаций и повреждений [4]. Исходя из результатов поверочных расчетов, можно определить категории тех-

нического состояния обследуемого объекта, а также получить конструктивные решения по его усилению [5].

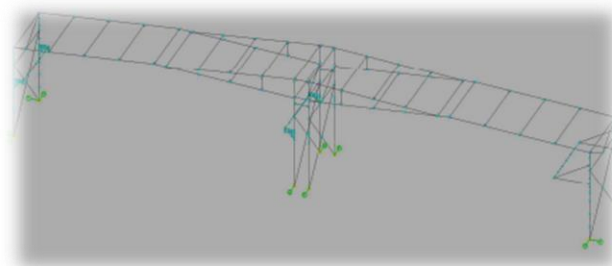


Рис. 7. Расчетная схема основных несущих конструкций каркаса здания

В ходе обследования и поверочных расчетов выполнены анализ и оценка соответствия технического состояния строительных конструкций здания теплого склада требованиям действующих нормативных документов, сделаны заключения о возможности их усиления и дальнейшей безопасной эксплуатации с учетом дефектов и повреждений, выявленных при обследовании [6; 7].

Заключительные положения поверочных расчетов. На основании выполненных поверочных расчетов и анализа несущих конструкций каркаса здания теплого склада можно сделать следующие основные выводы:

1. В качестве основных несущих конструкций здания теплого склада применены конструкции коробчатого поперечного сечения типа «Плауэн» по серии 400-0-2 пролётом 24 м, предназначенные для использования при нормативной величине снеговой нагрузки $\text{form} = 120 \text{ кг/м}^2$. Действующими нормами СП 20.13330.2016 «Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85*» для рассматриваемого района строительства нормативная снеговая нагрузка предусмотрена нормативная нагрузка $= 245 \text{ кг/м}^2$ [4].

2. По результатам поверочных расчетов установлено, что нормативные требования по предельным вертикальным прогибам и горизонтальным перемещениям к несущим конструктивным элементам каркаса здания **выполняются**.

3. Несущая способность ригелей коробчатого сечения **не обеспечена**, коэффициент использования материала сечения **превышает** нормативно допускаемые значения на 112,8%.

Требования первой группы предельных состояний **не удовлетворяются**.

Следует указать, что дополнительными исследовательскими расчетами установлено, что несущая способность ригелей рам коробчатого сечения **обеспечена** при действии нормативной снеговой нагрузки $= 100 \text{ кг/м}^2$ [4].

4. Несущая способность колонн коробчатого сечения **не обеспечена**, коэффициент использования материала сечения **превышает** нормативно допускаемые значения на 53,6%.

5. Требования первой группы предельных состояний для балок-прогонов покрытия, балок стропильной надстройки, подкрановых балок и балок подвешного кранового пути, элементов вертикальных связей по колоннам **удовлетворяются**.

Заключения и рекомендации по дальнейшей безопасной эксплуатации здания. На основании результатов проведенного анализа визуально-инструментального обследования и поверочных расчетов строительных конструкций здания теплого склада выявлено, что объект обследования соответствует представленной проектной документации, принятые проектные решения на данный момент являются **неактуальными** в связи с изменениями нормативных требований. Несущая способность ригелей и колонн коробчатого сечения **не обеспечена** и требования первой группы предельных состояний **не удовлетворяются**.

По результатам обследования и поверочных расчетов строительных конструкций здания склада установлены следующие категории технического состояния для 15 стеновых панелей в осях 1/В-Г, 13/Г-Д, 6-3/Л, 11-10/Л, 1/И-Ж – **аварийное** (рис. 8).

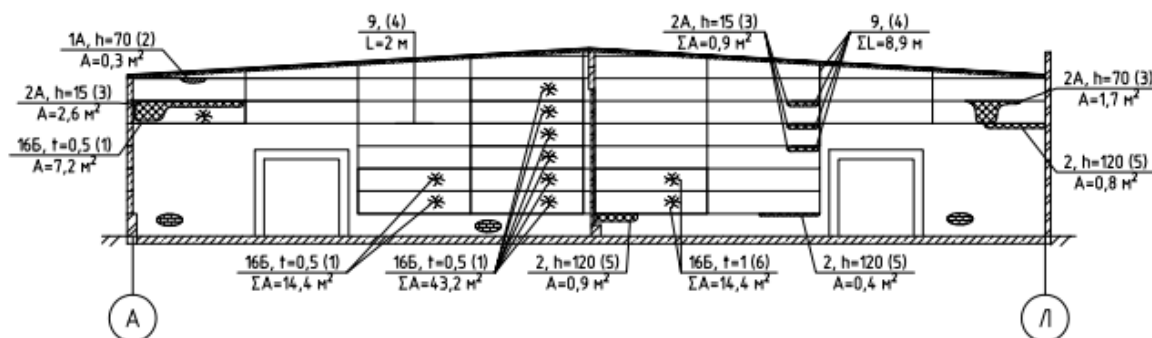


Рис. 8. Схема расположения дефектов и повреждений стенового ограждения по оси 13

Полы здания, колонны, ригели коробчатого сечения, подкрановые балки в осях 1-2,6-7 ряда Д, стеновое ограждение, отсotka отнесены к состоянию **ограниченно-работоспособное** (рис. 9).

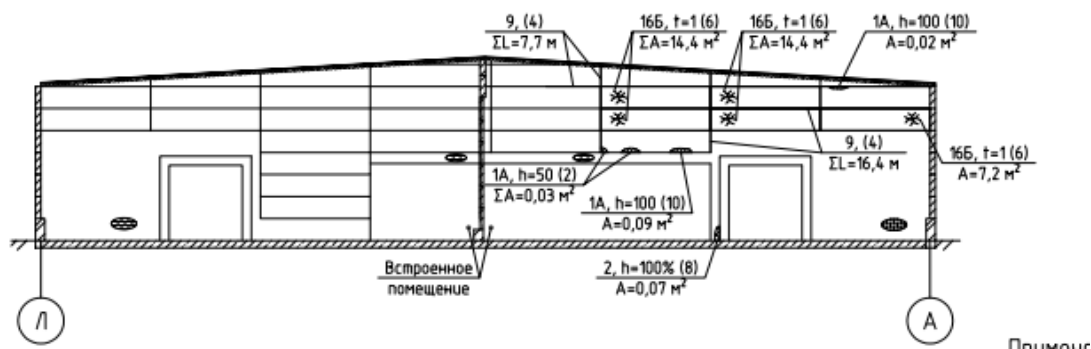


Рис. 9. Схема расположения дефектов и повреждений стенового ограждения по оси 1

Для конструкций, не отмеченных в части дефектов, установлена категория – **работоспособное**.

Разработаны общие рекомендации по эксплуатации здания:

– предусмотреть проект производства работ, обеспечивающий их безопасное выполнение;

– производить регулярный надзор за состоянием строительных конструкций,

включая сезонные геодезические наблюдения за сооружениями.

Работы по ремонту строительных конструкций выполняются специализированной организацией либо силами предприятия при наличии исполнителей необходимой квалификации, имеющих право на выполнение этих работ.

Список источников

1. СП 255.1325800.2016. Здания и сооружения. Правила эксплуатации. Основные положения.
2. ГОСТ 31937–2011. Межгосударственный стандарт. Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния.
3. Проблемы экологии и рационального использования ресурсов в суровых условиях Заполярья: монография / М.А. Елесин, Н.А. Губина, О.П. Рысева, Н.В. Кармановская, О.В. Носова; Норильский гос. индустр. ин-т. Норильск: НГИИ, 2019. 193 с.
4. СП 20.13330.2016. Нагрузки и воздействия.
5. Прищепова Н.А., Рысева О.П. Проектирование реконструкции зданий и сооружений: учеб. пособие; Норильский индустр. ин-т. Норильск: НИИ, 2008.
6. Иванов, Ю.В. Реконструкция зданий и сооружений: усиление, восстановление, ремонт: учеб. пособие. М.: АСВ, 2013. 312 с.
7. Техническая эксплуатация зданий и сооружений на севере Красноярского края: монография. Ч. 1 / В.Ю. Сетков, Т.Р. Гамидов, Н.А. Губина, А.Г.-о Керимов, И.П. Кардашев, А.А. Копылов, В.В. Копылов, В.П. Пикulev, Н.А. Прищепова, О.П. Рысева, Ж.А. Старостина; Норильский индустр. ин-т. Норильск, 2005. 229 с.
8. Реконструкция промышленных предприятий. Т. 1 / В.Д. Топчий, Р.А. Гребенник, В.Г. Клеменко [и др.]; под ред. В.Д. Топчия, Р.А. Гребенника. М.: Стройиздат, 1990. 591 с.

References

1. SP 255.1325800.2016. Buildings and structures. Operating rules. The main provisions.
2. GOST 31937-2011. The interstate standard. Buildings and structures. Rules for inspection and monitoring of technical condition.
3. Problems of ecology and rational use of resources in the harsh conditions of the Arctic: monograph / M.A. Yelesin, N.A. Gubina, O.P. Ryseva, N.V. Karmanovskaya, O.V. Nosova; Norilsk State University. industry in-t. Norilsk: NGII, 2019. 193 p.
4. SP 20.13330.2016. Loads and impacts.
5. Prishchepova N.A., Ryseva O.P. Design of reconstruction of buildings and structures: textbook. the manual; Norilsk industry. in-t. Norilsk: Research Institute, 2008.
6. Ivanov, Yu.V. Reconstruction of buildings and structures: reinforcement, restoration, repair: studies. manual. M.: DIA, 2013. 312 p.
7. Technical operation of buildings and structures in the north of the Krasnoyarsk Territory: monograph. Part 1 / V.Yu. Setkov, T.R. Gamidov, N.A. Gubina, A.G.-o Kerimov, I.P. Kardashev, A.A. Kopylov, V.V. Kopylov, V.P. Pikulev, N.A. Prishchepova, O.P. Ryseva, J.A. Starostina. Norilsk, 2005. 229 p.
8. Reconstruction of industrial enterprises. Vol. 1/V.D. Topchiy, R.A. Grebennik, V.G. Klemenko [et al.]; ed. by V.D. Topchiya, R.A. Grebennik. M.: Stroyizdat, 1990. 591 p.

Научный вестник Арктики. 2024. №16. С. 44–55.

Scientific Bulletin of the Arctic. 2024;(16):44–55.

Технические науки

Научная статья

УДК 62-97/-98

doi: 10.52978/25421220_2024_16_44–55

**УСТАРЕВАЮЩЕЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ
В УСЛОВИЯХ КРАЙНЕГО СЕВЕРА ПРИ ВЫБОРЕ СТРАТЕГИЙ
РАЗВИТИЯ И ОБСЛУЖИВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ**

Максим Владимирович Кочетков

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

E-mail: m-kochetkov@yandex.ru

Вячеслав Алексеевич Панфилов

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

E-mail: panfilovvyacheslav92@mail.ru

Аннотация. Старение электромеханического оборудования в районах Крайнего Севера может быть вызвано ухудшением изоляции электрических компонентов (например, у трансформаторов), усталостным повреждением механических частей (например, у генераторов и двигателей), эрозией металлических конструкций (например, у оболочек подземного кабеля), множеством иных причин. По мере старения часть оборудования выходит из строя чаще, требует больше времени для ремонта и в конечном итоге достигает завершения своего срока службы. Выход из строя отдельных элементов технологических процессов может повлечь тяжёлые последствия. Поэтому существенное внимание в Норильском промышленном районе уделяется профилактическим ремонтам и регулярным проверкам. Мероприятия по техническому обслуживанию могут продлить срок службы оборудования, однако это не всегда экономически оправдано. Особое внимание в настоящей статье уделяется феномену продолжительного жизненного цикла технических изделий. Исследование таких устройств или хотя бы аккумулирование информации об оборудовании, проявившем устойчивость к износу, составляет актуальнейшую основу для выявления универсальных факторов надёжности. Кроме того, отдельные образцы такого оборудования вызывают существенный краеведческий интерес, являясь богатой источниковой базой для исследования истории развития Норильского промышленного района.

Ключевые слова: интеллектуальные системы, неразрушающий контроль, цифровизация, электроэнергетическая система, Норильский промышленный район, мерзлота, холод.

Для цитирования: Кочетков М.В., Панфилов В.А. Устаевающее электрическое оборудование в условиях Крайнего Севера при выборе стратегий развития и обслуживания технологических процессов // Научный вестник Арктики. 2024. №16. С. 44–55. https://doi.org/10.52978/25421220_2024_16_44–55.

Technical sciences

Original article

**AGING ELECTRICAL EQUIPMENT IN THE CONDITIONS OF THE FAR
NORTH WHEN CHOOSING STRATEGIES FOR THE DEVELOPMENT
AND MAINTENANCE OF TECHNOLOGICAL PROCESSES**

Maksim V. Kochetkov

Fedorovsky Polar State University, Norilsk, Russia

E-mail: m-kochetkov@yandex.ru

Vyacheslav A. Panfilov

Fedorovsky Polar State University, Norilsk, Russia

E-mail: panfilovvyacheslav92@mail.ru

Abstract. The aging of electromechanical equipment in the Far North regions can be caused by deterioration of the insulation of electrical components (for example, transformers), fatigue damage to mechanical parts (for example, generators and engines), erosion of metal structures (for example, shells of underground cable), and many other reasons. As a piece of equipment ages, it fails more often, takes longer to repair, and eventually reaches the end of its service life. Failure of individual elements of technological processes can lead to serious consequences. Therefore, significant attention in the Norilsk industrial district is paid to preventive repairs and regular inspections. Maintenance activities can extend the service life of equipment, but this is not always economically feasible. Special attention in this article is paid to the phenomenon of a long life cycle of technical products. The study of such devices, or at least the accumulation of information about equipment that has shown resistance to wear, forms the most relevant basis for identifying universal reliability factors. In addition, individual samples of such equipment arouse significant local history interest, being a rich source base for the study of the history of the development of the Norilsk industrial district.

Keywords: intelligent systems, non-destructive testing, digitalization, electric power system, Norilsk industrial district, permafrost, cold.

For citation: Kochetkov M.V., Panfilov V.A. Aging electrical equipment in the conditions of the far north when choosing strategies for the development and maintenance of technological processes. *Scientific Bulletin of the Arctic*. 2024;(16): 44–55. (In Russ.). https://doi.org/10.52978/25421220_2024_16_44-55.

Введение. Электрическое оборудование, используемое в регионах с холодным климатом, подвергается такому воздействию условий окружающей среды, которое нередко существенно отличается от тех параметров, исходя из которых спроектировано стандартизированное оборудование.

Сказанное кратно справедливо в отношении всё более усложняющейся электронной, микропроцессорной составляющей современных энерготехнических комплексов и систем.

Для некоторого электронного оборудования могут потребоваться специальные меры предосторожности для удовлетворительной работы при отрицательных температурах [1], так как низкие температуры сильно влияют на характеристики сопротивлений и ёмкостей, временные параметры интегральных схем, формы сигналов и другие свойства электрических и электронных компонентов, в конечном итоге существенно ухудшая работу оборудования.

Различные материалы, используемые для изготовления и монтажа компонентов, могут сильно зависеть от эффектов дифференциального расширения, сжатия и термоциклирования. Используемые компоненты должны либо подходить для требуемой низкой температуры окружающей среды, что может существенно увеличивать их стоимость, либо

должно предусматриваться повышение температуры внутри корпуса, в котором они установлены.

Воздействие низких температур – это один из факторов, угрожающих работоспособности оборудования в районах Крайнего Севера. В Норильском промышленном районе, учитывая специфику его горнодобывающих и металлургических производств, электрооборудование подвергается потенциальной опасности воздействия не только низких, но и очень высоких температур, агрессивному влиянию факторов взрывных работ, химических производственных операций, мерзлотных грунтов с их подвижностью и проблемами для заземления, шквалистого ветра, обледенения проводов и конструкций.

Анализ всей совокупности факторов, учитывая сложно предсказуемые системные эффекты, когда ключевую роль могут сыграть на первый взгляд маловажные причины, является крайне сложной задачей. Её решение порой возможно только с применением самых современных методов, например, регулярно осуществляемого непараметрического контроля или анализа больших баз данных на основе искусственного интеллекта. Практическое решение вопроса тесно связано с выбранными стратегией управления жизненным циклом продукции, направлением модернизации.

Обозначенному комплексу вопросов и посвящено предлагаемое исследование.

Результаты и обсуждение. Развитие электроэнергетических систем и сетей началось в советский период, когда формировался основной потенциал электроэнергетического комплекса страны. В этот же период были разработаны основные теоретико-методологические основы, обеспечивающие надёжную и бесперебойную работу электроэнергетики [2]. Назрело их переосмысление в результате настойчивого «наступления» радикально иных подходов к развитию технологий (например, «революционный» отказ от передачи на большие расстояния переменного тока в пользу постоянного, активно претворяемый Китаем, Бразилией и др.). Действительно, мировая электроэнергетическая отрасль за последние годы отметилась созданием качественно новых технологий производства и передачи электрической энергии, управления и контроля за состоянием оборудования. Для научно-технического прогресса в электротехнической и электроэнергетической отрасли свойственен постоянно нарастающий темп.

Для Норильского промышленного района во многом характерны ещё «советские» электроэнергетические сети и системы, которые отчасти уже не приносят запланированного эффекта, требуют больших эксплуатационных затрат, связанных с содержанием и поддержанием этого оборудования в рабочем состоянии.

Ниже представлен трансформатор (рис. 1) ТМ-1000/6 (номинальная мощность 1000 кВА). Заводской номер №339000. Ввод в эксплуатацию – 1947 г. Общий срок эксплуатации – 73 г.

Используемый трансформатор основан на работе преобразования электрической энергии трёхфазного переменного тока, спроектирован на промышленную частоту 50 Гц. Номинальное напряжение 6-10 кВ, преобразованное – 0,4 кВ.

О предприятии-изготовителе свидетельствует сохранившаяся маркировка «Сделано в СССР 1947 г.».

Маслоуказатель трансформатора изготовлен в Лондоне (рис. 2).



Рис. 1. Трансформатор ТМ-1000/6



Рис. 2. Маслоуказатель трансформатора ТМ-1000/6

На рис. 3 представлен высоковольтный выключатель FKR-255-100. Заводской номер К-6346089-207. Высоковольтный выключатель FKR-255-100 обладает номинальным напряжением 7,5 кВ; номинальный ток – 600 А, а ток отключения – 20 кА. Оборудование изготовлено в США (General Electric).

Компания General Electric основана в 1878 г. изобретателем Томасом Эдисоном и Гросвенором Лаури как «Эдисон электрик лайт» («Электрическое освещение Эдисона»).



Рис. 3. Высоковольтный выключатель

Сегодня это исключительно успешная, многопрофильная транснациональная корпорация. Судя по всему, она активно сотрудничала с СССР в послевоенные годы. В марте 2022 г. компания объявила о приостановке деятельности на российском рынке из-за начала специальной военной операции.

Пример с General Electric весьма показательен во многих аспектах. Например, сегодня в связи с известными причинами вновь становится актуальным самостоятельное производство российской промышленностью широкого спектра электротехнических систем, электромеханического оборудования. Интегрирующей задачей является обеспечение безопасности, высокой надёжности, производительности и низкой энергоёмкости изделий [3–6]. При этом одной из сквозных технологий является цифровизация [7–11], которая призвана ускорить и оптимизировать, интеллектуализировать процессы принятия решений, снизить эксплуатационные расходы, повысить эффективность отдельных процессов и всей технологической цепочки.

Современные инновации требуют значительных капитальных и эксплуатационных затрат, мобилизации творческого потенциала страны, её научно-технических возможностей. Это исключительно тяжёлый вызов для России, и в первую очередь в связи с отсутствием в достаточном количестве высококвалифицированных кадров, цифровой инфраструктуры, лабораторно-исследовательских и опытно-конструкторских структур.

Учитывая вышесказанное, в ближайшие годы сложно рассчитывать на быструю замену устаревшего оборудования новым и современным. Модернизация будет носить постепенный и многоэтапный характер. Проблема продления срока службы оборудования останется исключительно актуальной.

Старение технического оборудования чревато тем, что увеличивается вероятность отказа работы при приближении окончания службы. Техническое обслуживание нацелено на отсрочивание данного неблагоприятного события.

В настоящее время существуют две стратегии обслуживания: корректирующее и профилактическое (рис. 4, 5).



**Рис. 4. Оборудование, требующее профилактического обслуживания.
Привод грузовой ручной 1962 г. выпуска (с двух ракурсов)**



**Рис. 5. Оборудование, требующее профилактического обслуживания.
Выключатель масляный ВМГ-133
1962 г. выпуска**

Корректирующее обслуживание – это ремонтная деятельность, связанная с устранением возникших неисправностей. *Профилактическое обслуживание* заключается в продлении срока функционирования оборудования и уменьше-

нии его износа посредством упреждающего ремонта, замены отдельных элементов оборудования, наиболее predisposed к поломке.

Профилактическое обслуживание нацелено на сдерживание процесса уменьшения экономической ценности оборудования, когда происходит потеря финансовых выгод при эксплуатации. Профилактическое обслуживание, однако, полностью не может остановить процесс старения.

Существуют два подхода к осуществлению профилактического обслуживания: регулярное и «по мере необходимости» (т.е. когда появляются выраженные признаки возможного выхода оборудования из строя). Регулярное техническое обслуживание осуществляется через фиксированные промежутки времени. Этот подход связан с постоянным техническим обслуживанием, соответствующим расходу ресурсов, которое нередко кажется излишним на фоне исправно функционирующих технологических процессов. При этом, как показывает практика, поскольку вероятность выхода оборудования из строя сохраняется, то, когда такие события происхо-

дят, «крайними» оказываются те, в отношении деятельности которых делались попытки (успешные или не очень) различных «оптимизаций».

В последние 10–15 лет в районах Крайнего Севера в электроэнергетике интенсифицировано профилактическое техническое обслуживание, особенно на ряде коммунальных предприятий. Этот подход требует инновационного наполнения, включая цифровое моделирование, интеллектуальные алгоритмы, современный, в том числе неразрушающих, мониторинг состояния и пр. [1].

Интеллектуальные системы выступают в роли актуального направления автоматизации [7–8; 10; 12–14]. Автоматизация чрезвычайно важна во многих сферах деятельности человека [15–21].

Автоматизация, в том числе на основе цифровизации, способна решать проблемы самого широкого спектра в системе *человек-машина* [22–26]. Цифровизация позволяет повысить эффективность системы *человек-машина*, однако контроль и подходы к моделированию должны реализовываться так, чтобы функционирование технологических систем характеризовалось предсказуемостью, особенно при использовании интеллектуальных алгоритмов [22–26].

Возвращаясь к профилактическому обслуживанию, отметим, что один из инновационных подходов к профилактическому обслуживанию связан с таким интегрирующим функциональным целеполаганием производства, как надёжность (RCM или Reliability-centered maintenance). RCM имеет широкий спектр интерпретаций, по-разному определяется в различной научно-технической литературе.

В русскоязычной специальной литературе встречаются следующие варианты: техническое обслуживание, которое обеспечивает надёжность (МЭК 60300-3-11:2009), техническое обслуживание в связке с надёжностью (ТООН), надёжностно-ориентированное техобслуживание (НОТО – по ГОСТ 27.601-

2011 и ГОСТ Р 55.0.05-2016), техническое обслуживание в связке с безотказностью технических систем (по ГОСТ 18322-2016).

Авторы считают, что развитие данного подхода должно учитывать следующие моменты:

- аккумуляция больших баз данных, сбор разнообразной статистической информации, обусловленной историей эксплуатации (в том числе отказов оборудования), состоянием старения на основе усложняющихся инновационных систем оценки;

- оценка вероятностей отказов из-за ремонтпригодных и фатальных поломок оборудования;

- оценка влияния отказов отдельных устройств на всю систему;

- количественная оценка влияния мероприятий по техническому обслуживанию на снижение частоты отказов оборудования, времени ремонта, на надёжность всей системы;

- применение экономических критериев или критериев надёжности для определения наилучшей схемы технического обслуживания, графика технического обслуживания, оптимизирующего процессы по рискам, времени, экономическим эффектам, рабочей силе, с учётом особенностей её квалифицированности.

Вывод из эксплуатации устаревшего оборудования в конечном итоге неизбежен. Решение о продлении технического обслуживания устаревшего оборудования связано с анализом следующих проблемных моментов:

- по мере старения оборудования увеличивается стоимость его обслуживания;

- многократное техническое обслуживание в течение очень длительного времени не может гарантировать первоначальную производительность оборудования, что приводит к увеличению эксплуатационных расходов;

- вероятность отказа оборудования по мере приближения к окончанию срока

службы увеличивается, хотя техническое обслуживание может и замедлить износ;

- с экономической точки зрения на каком-то этапе справедлива ситуация, когда затраты на техническое обслуживание, эксплуатацию и обеспечение надёжности становятся неоправданными – замена оборудования оказывается целесообразнее, учитывая возможности новых технологий и фактор снижения себестоимости компонентов энергосистемы по мере их широкого внедрения;

- с финансовой точки зрения очень низкая балансовая стоимость устаревшего оборудования может иметь невыгодные для предприятия последствия в контексте результатов расчёта тарифов на электроэнергию, которые обусловлены стоимостью активов и требованиями возврата инвестиций;

- стратегия «чрезмерного обслуживания» препятствует развитию новых технологий, динамизм которого важен сам по себе.

Ключевым моментом является определение того, когда часть устаревшего оборудования всё-таки должна быть выведена из эксплуатации.

Справедливо выделить как минимум четыре достаточно распространённые стратегии для установления «даты выхода на пенсию»:

1. Старое оборудование постоянно используется до тех пор, пока оно не «умрёт». Недостатки данного подхода характеризуются тем, что для основного оборудования системы передачи и трансформации (например, кабелей, трансформаторов, реакторов и т.д.), относительно неожиданно возникшая проблема замены оборудования, включая покупку, транспортировку, монтаж и пуско-наладочные работы, может подвергать энергосистему серьёзным рискам аварий из-за несоответствия критериям безопасности в течение периода замены.

2. Устаревшее оборудование постоянно используется под пристальным наблюдением. Процесс закупки нового оборудования для замены начинается при возникновении явлений, свидетельствующих о приближении фатального отказа. К сожалению, некоторое оборудование не может контролироваться таким образом. Так, практически невозможно с высокой достоверностью отслеживать процесс старения кабеля, поскольку выборка участка кабеля не может отображать состояние всего кабеля. В реальной жизни имеется много примеров, когда в старом кабеле внезапно возникали множественные утечки, которые одновременно приводили к фатальному отказу. Для силового трансформатора, несмотря на то, что отбор проб масла может выполняться для частичного контроля за состоянием его износа, такой контроль не может реализовываться часто, что снижает точность предсказания окончания срока службы данной электрической машины [27].

3. Срок службы оборудования устанавливается исходя из анализа среднего срока службы аналогичных установок. Как только эксплуатируемое оборудование достигает соответствующего возраста, его снимают с эксплуатации. Покупка и транспортировка замещающего оборудования могут осуществляться заранее. Проблема этой политики заключается в том, что любая конкретная единица оборудования может выйти из строя до указанного срока. Если же оборудование просуществует существенно дольше, то его отсроченная замена является признаком упущенной выгоды вследствие рано осуществлённых затрат на замещающее оборудование (последнее должно где-то складироваться, пока не будет введено в эксплуатацию, что нередко приводит ещё и к снижению его эксплуатационных свойств, моральному устареванию).

4. Основная идея состоит в том, чтобы количественно оценить ожидаемую сто-

имость системного риска и экономию капитала за счёт отсрочки вывода из эксплуатации устаревшего оборудования. Подход использует распределение Вейбулла в теории вероятностей. Ожидаемая стоимость системного риска из-за задержки вывода из эксплуатации может быть затем оценена с использованием метода оценки системного риска [28].

В последние годы было проведено много исследований по оценке работоспособности энергосистем, электромеханических систем и их отдельных составляющих, предложены различные решения по повышению их надёжности [1–6; 10; 11; 16; 19; 21; 29–33]. Так, в работе Е.Ю. Юрлова оцениваются характеристики нового генератора, прежде всего его влияние на надёжность энергосистемы. В работе описана конструкция силовых формирователей, представлена математическая модель рабочих характеристик силового формирователя. Модель была составлена, используя уравнение электромагнитного поля и внешней цепи генератора, когда происходит расчёт рабочих кривых формирователя мощности при различных условиях, характеристики короткого замыкания, характеристики холостого хода, характеристики регулирования и внешней характеристики [29].

В работе В.К. Гаак и А.В. Гаак исследуются требования к системе электропитания в аспекте её конструктивных особенностей, а также оптимальное применение формирователя мощности. Кроме того, обосновываются преимущества кабелей из сшитого полиэтилена, применяемых в формирователях мощности [30].

В работе С.А. Байкова и Н.В. Иванова фокус внимания сосредоточен на надёжности энергосистем и формирователей мощности на основе показателей комплексной надёжности [31].

Заключение. Завершая исследование, акцентируем внимание на следующих его аспектах. Для России и Норильского промышленного района в частности исключительно актуальна проблематика устаревания оборудования энергосистем, включая анализ различных стратегий отношения к сроку службы оборудования, подходов к оценке среднего срока службы, взаимосвязи между старением и техническим обслуживанием, ограничениями технического обслуживания для продления срока службы оборудования. Мероприятия по техническому обслуживанию могут продлить срок службы оборудования, но могут на каком-то этапе существования технологического процесса оказаться нецелесообразными по сравнению с конечным выигрышем от глубокой модернизации производства. Компромисс между обслуживанием и заменой должен быть тщательно продуман.

Мониторинг и контроль за состоянием объектов электроэнергетики является важнейшей задачей функционирования электроэнергетического комплекса. Соответствующие мероприятия в энергетике проводятся круглосуточно, так как любое нарушение в электроснабжении потребителей может вызвать значительные проблемы для государственного аппарата, промышленного комплекса, организаций, обеспечивающих жизнедеятельность человека. Безусловно, такой контроль и управление должны совершенствоваться, осуществляться с использованием современных технологий, в том числе с применением дистанционных автоматических и автоматизированных технологий, неразрушающего перманентного контроля элементов электроэнергетических систем, с использованием цифровых моделей и интеллектуальных алгоритмов.

Список источников

1. Прохоров Д.В., Прохоров В.А., Петров Н.А. Надежность систем энергетики Крайнего Севера // Журнал Сибирского федерального университета. Серия: Техника и технологии. 2017. Т. 10. №8. С. 1007–1011.
2. Байбаков С.А., Иванов Н.В. Основные направления повышения эффективности комбинированного производства тепла и электроэнергии // Энергетик. 2015. №1. С. 1–10.
3. Сапсалева А.В., Харитонов С.А., Ачитаев А.А. Устойчивость нелинейных электромеханических систем с магнитным релактором // Вестник машиностроения. 2023. №8. С. 636–642.
4. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2022612513 Российская Федерация. Программный комплекс по идентификации режимов однофазного замыкания и места повреждения в кабельных и воздушных линиях сетей с изолированной нейтралью: № 2021669234: заявл. 25.11.2021; опубл. 28.02.2022 / А.А. Ачитаев, В.Е. Кожемякин; заявитель ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет».
5. Single-Phase Short Circuit Determining Algorithm at Hydroelectric Power Plant Auxiliaries Network / V.E. Kozhemyakin, A.A. Achitaev, A.Y. Arestova, A.G. Rusina // Proceedings of the 2021 15th International Scientific-Technical Conference on Actual Problems of Electronic Instrument Engineering, APEIE 2021. Novosibirsk, 2021. P. 206–211.
6. The problem of heating power transformers when working with a non-linear load / A. Toropov, E. Platonova, G. Chistyakov [et al.] // AIP Conference Proceedings. Vol. 2402. Melville, New York, United States of America: AIP Publishing, 2021. P. 60033.
7. Дулесов А.С., Федоренко Н.С., Байшев А.В. Когнитивное моделирование в задаче повышения надёжности компьютерных сетей // Вестник Хакасского государственного университета им. Н.Ф. Катанова. 2022. №2(40). С. 104–108.
8. Дулесов А.С., Байшев А.В. Обзор основных на техниках машинного обучения методов обнаружения выбросов в данных // Инженерный вестник Дона. 2023. №6(102). С. 12–23.
9. Предварительная обработка статистических данных о состоянии однородных технических объектов / А.С. Дулесов, А.В. Байшев, Д.Ю. Карандеев [и др.] // Научно-технический вестник Поволжья. 2023. №4. С. 80–83.
10. Computer visualization of optimality criterion's weighting coefficients of electromechanical system / N.S. Kurochkin, V.P. Kochetkov, A.V. Kolovsky [et al.] // Advances in Intelligent Systems and Computing. 2020. Vol. 1226. P. 201–209.
11. Пример использования системы цифрового управления при решении задачи модернизации продольно-шлифовального станка ЗЛ 722В-70 / И.Г. Майзель, В.В. Платонов, Е.Я. Глушкин, А.В. Коловский // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2016. № 8(115). С. 85–92.
12. Efficiency of using solar electric panels with grid-tie inverter for public buildings / E.V. Platonova, G.N. Chistyakov, A.S. Toropov [et al.] // Journal of Physics: Conference Series: International Scientific Conference «Conference on Applied Physics, Information Technologies and Engineering–APITECH-2019». Vol. 1399. Krasnoyarsk, 2019. P. 55013.
13. Kozhemyakin V.E. Proposals for modernization of algorithms for determination of single-phase earth faults in auxiliary networks of hydroelectric power plants // Prospect Svobodny. 2021. P. 2582–2584.
14. Khoroshilov V., Kobeleva N., Noskov M. Analysis of Possibilities to Use Predictive Mathematical Models for Studying the Dam Deformation State // Journal of applied and computational mechanics. 2022. Vol. 8. No.2. P. 733–744.
15. Петров А.М., Кочетков М.В., Попов А.Н. Концептуальные особенности развития цифровой энергетики в условиях Крайнего Севера (на примере Норильского промышленного района) // Инновации и инвестиции. 2022. №4. С. 232–237.
16. Применение адаптивного регулятора скорости вращения гидрогенератора с учётом технологического состояния турбины клапана / А.А. Ачитаев, А.И. Валецкая, М.Ф. Носков, В.И. Татарников // iPolytech Journal. 2022. Т. 26. №3. С. 415–425.
17. 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.

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

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

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

21. Юдин О.А., Кочетков М.В. Модернизация термоконтроля гидроагрегата Куршавской группы ГЭС, ГЭС-1 // Гидроэлектростанции в XXI веке: сборник материалов VI Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых, специалистов, аспирантов и студентов. Саяногорск-Черемушки: Саяно-Шушенский филиал Сибирского федерального университета, 2019. С. 305–310.

22. 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. №2. P. 268–277.

23. Kochetkov M.V., Avdeeva E.A. Humanitarian “Reversing” in the education development in the Russian Federation education under the conditions of transhumanistic challenges in the era of globalisation // International Journal of Criminology and Sociology. 2020. Vol. 9. P. 2813–2824.

24. 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.

25. Авдеева Е.А., Кочетков М.В. Человекоориентированный смысловой дискурс в

теории и практике образования // Философия образования. 2022. Т. 22. №1. С. 87–102.

26. Авдеева Е.А., Кочетков М.В. Об архитектонике личности и сознания как непроявленной структуре человека // Alma Mater (Вестник высшей школы). 2021. №12. С. 38–46.

27. Иванищев А.А. Исследования целесообразности использования устаревшей электроавтоматики, а также других блоков при модернизации станков // Наука, техника и образование. 2016. №4(22). С. 48–51.

28. Бушуев В.В., Троицкий А.А. Энергетическая стратегия России и экономика страны // Теплоэнергетика. 2014. №1. С. 21–27.

29. Юрлов Е.Ю. Методический подход к организации ремонтного (обменного) фонда оборудования региональных электросетевых компаний, функционирующих в условиях крайнего севера России // Вестник университета. 2013. №13. С. 61–65.

30. Гаак В.К., Гаак А.В. Износ оборудования – возрастающая проблема теплоэнергетики // Национальные приоритеты России. 2017. №1(23). С. 99–102.

31. Байбаков С.А., Иванов Н.В. Основные направления повышения эффективности комбинированного производства тепла и электроэнергии // Энергетик. 2015. №1. С. 1–10.

32. Кочетков М.В. Ветроэнергетика для Норильского промышленного района и его устойчивое развитие // Государство. Политика. Социум: Материалы всероссийского симпозиума по комплексному развитию территорий. В 2-х ч. / Науч. редакторы Е.В. Попов, Т.Е. Зерчанинова. Ч. 1. Екатеринбург, 2023. С. 24–32.

33. Подтяжкин В.С., Кочетков М.В. Повышение надёжности собственных нужд Чебоксарской ГЭС // Гидроэлектростанции в XXI веке: сборник материалов VI Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых, специалистов, аспирантов и студентов. Саяногорск-Черемушки: Саяно-Шушенский филиал Сибирского федерального университета, 2019. С. 64–69.

References

1. Prokhorov D.V., Prokhorov V.A., Petrov N.A. Reliability of energy systems in Far North. *J. Sib. Fed. Univ. Eng. technol.* 2017;10(8):1007–1011. (In Russ).

2. Baibakov S.A., Ivanov N.V. The main directions of increasing the efficiency of combined heat and electricity production. *Energy man.* 2015;(1):1–10. (In Russ).

3. Sapsalev A.V., Kharitonov S.A., Achitaev A.A. Stability of nonlinear electromechanical systems with a magnetic gearbox. *Bulletin of Mechanical Engineering*. 2023;(8): 636–642. (In Russ).
4. Certificate of state registration of the computer program No. 2022612513 Russian Federation. A software package for the identification of single-phase short circuit modes and damage locations in cable and overhead lines of networks with an isolated neutral: No. 2021669234: application 25.11.2021: publ. 28.02.2022 / A.A. Achitaev, V.E. Kozhemyakin; applicant of the Siberian Federal University.
5. Single-Phase Short Circuit Determining Algorithm at Hydroelectric Power Plant Auxiliaries Network / V.E. Kozhemyakin, A.A. Achitaev, A.Y. Arestova, A.G. Rusina // Proceedings of the 2021 15th International Scientific-Technical Conference on Actual Problems of Electronic Instrument Engineering, APEIE 2021. Novosibirsk, 2021. P. 206–211.
6. The problem of heating power transformers when working with a non-linear load / A. Toropov, E. Platonova, G. Chistyakov [et al.] // AIP Conference Proceedings. Vol. 2402. Melville, New York, United States of America: AIP Publishing, 2021. P. 60033.
7. Dulesov A.S., Fedorenko N.S., Baishev A.V. Cognitive modeling in the problem of increasing the reliability of computer networks. *Bulletin of the N.F. Katanov Khakass State University*. 2022;2(40):104–108. (In Russ).
8. Dulesov A.S., Baishev A.V. Review of methods for detecting outliers in data based on machine learning techniques. *Engineering Bulletin of the Don*. 2023;6(102):12–23.
9. Preliminary processing of statistical data on the state of homogeneous technical objects / A.S. Dulesov, A.V. Baishev, D.Y. Karandeov [et al.]. *Scientific and Technical Bulletin of the Volga region*. 2023;(4):80–83.
10. Computer visualization of optimality criterion's weighting coefficients of electromechanical system / N.S. Kurochkin, V.P. Kochetkov, A.V. Kolovsky [et al.]. *Advances in Intelligent Systems and Computing*. 2020;(1226):201–209.
11. An example of using a digital control system in solving the problem of modernization of a longitudinal grinding machine ZL 722V-70 / I.G. Maisel, V.V. Platonov, E.Ya. Glushkin, A.V. Kolovsky. *Bulletin of the Irkutsk State Technical University*. 2016;8(115):85–92. (In Russ).
12. Efficiency of using solar electric panels with grid-tie inverter for public buildings / E.V. Platonova, G.N. Chistyakov, A.S. Toropov [et al.] // Journal of Physics: Conference Series: International Scientific Conference «Conference on Applied Physics, Information Technologies and Engineering – APITECH-2019». Vol. 1399. Krasnoyarsk, 2019. P. 55013.
13. Kozhemyakin V.E. Proposals for modernization of algorithms for determination of single-phase earth faults in auxiliary networks of hydroelectric power plants. *Prospect Svobodny*. 2021:2582–2584.
14. Khoroshilov V., Kobeleva N., Noskov M. Analysis of Possibilities to Use Predictive Mathematical Models for Studying the Dam Deformation State. *Journal of applied and computational mechanics*. 2022;8(2):733–744.
15. Petrov A.M., Kochetkov M.V., Popov A.N. Conceptual features of digital energy development in the conditions of the Far North (on the example of the Norilsk industrial district). *Innovations and investments*. 2022;(4):232–237. (In Russ).
16. Application of an adaptive regulator of the hydrogenerator rotation speed taking into account the technological state of the valve turbine / A.A. Achitaev, A.I. Valetskaya, M.F. Noskov, V.I. Tatarnikov. *iPolytech Journal*. 2022;26(3):415–425. (In Russ).
17. Kochetkov M.V., Kazakov M.I., Lisichenko P.E. Production-technological and socio-economic features of solving the problem of solid household waste disposal in the Norilsk industrial district. *Scientific Bulletin of the Arctic*. 2021;(11):23–35. (In Russ).
18. Kochetkov M.V. Innovations in education. How to separate the wheat from the chaff? *Higher education in Russia*. 2020;29(11):153–166. (In Russ).
19. Kochetkov M.V. Wind power plant for the Norilsk industrial district – pros and cons. *Culture. Science. Production*. 2020;(5):85–89. (In Russ).
20. Kochetkov M.V. Special equipment of internal affairs bodies. Saratov: University education, 2015. 96 p.
21. Yudin O.A., Kochetkov M.V. Modernization of thermal control of the hydroelectric unit of the Kurshavskaya group of HPP, HPP-1 // Hydroelectric power plants in the XXI century: a collection of materials of the VI All-Russian scientific and practical conference of young scientists, specialists, graduate students

and students. Sayanogorsk-Cheryomushki: Sayano-Shushensky Branch of Siberian Federal University, 2019. P. 305–310.

22. Kochetkov M.V., Kovalevich I.A. Specific Features of Educational and Pedagogical Discourse in the Context of Anthropological Challenges: Socio-Cultural Approach. *J. Sib. Fed. Univ. Humanities and Social Sciences*. 2020;13(2):268–277.

23. Kochetkov M.V., Avdeeva E.A. Humanitarian «Reversing» in the education development in the Russian Federation education under the conditions of transhumanistic challenges in the era of globalization. *International Journal of Criminology and Sociology*. 2020;(9):2813–2824.

24. Kochetkov M.V., Smolyaninova O.G. Anthropoecological aspects of sustainable development and intelligence as an adequate response of higher education. *J. Sib. Fed. Univ. Series: Humanities*. 2022;15(9):1269–1278. (In Russ).

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

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

27. Ivanishchev A.A. Studies of the expediency of using outdated electroautomatics, as well as other blocks during the modernization of machine tools. *Science, technology and education*. 2016;4(22):48–51. (In Russ).

28. Bushuev V.V., Troitsky A.A. Energy strategy of Russia and the economy of the country. *Thermal power engineering*. 2014;(1):21–27. (In Russ).

29. Yurlov E.Y. Methodical approach to the organization of the repair (exchange) fund of equipment of regional electric grid companies operating in the conditions of the far North of Russia. *Bulletin of the University*. 2013;(13):61–65. (In Russ).

30. Gaak V.K., Gaak A.V. Equipment wear – an increasing problem of heat power engineering. *National priorities of Russia*. 2017; 1(23):99–102. (In Russ).

31. Baibakov S.A., Ivanov N.V. The main directions of improving the efficiency of combined heat and electricity production. *Energy man*. 2015;(1):1–10. (In Russ).

32. Kochetkov M.V. Wind energy for the Norilsk industrial district and its sustainable development // State. Politics. Society: Materials of the All-Russian symposium on integrated development of territories. In 2 parts / Scientific editors E.V. Popov, T.E. Zerchaninova. Part I. Yekaterinburg, 2023. P. 24–32.

33. Podtyazhkin V.S., Kochetkov M.V. Improving the reliability of the Cheboksary HPP's own needs // Hydroelectric power plants in the XXI century: a collection of materials of the VI All-Russian Scientific and Practical Conference of young scientists, specialists, postgraduates and students. Sayanogorsk-Cheryomushki: Sayano-Shushensky Branch of Siberian Federal University, 2019. P. 64–69.

Научный вестник Арктики. 2024. №16. С. 56–63.
Scientific Bulletin of the Arctic. 2024;(16):56–63.

Технические науки

Научная статья

УДК 624.19:625.712.34(571.51)

doi: 10.52978/25421220_2024_16_56–63

ОПТИМИЗАЦИЯ ИНФРАСТРУКТУРЫ ЗАПОЛЯРНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА

Ольга Павловна Рысева

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

E-mail: RisevaOP@norvuz.ru

Тимофей Валерьевич Богачев

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

E-mail: timabogach@mail.ru

Дмитрий Витальевич Лаврентьев

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

E-mail: dimalavrentev54516@gmail.com

Андрей Андреевич Матусевич

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

E-mail: Aezakmier70@gmail.com

Шамиль Рустамович Мулькаманов

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

E-mail: severpolus.shamili@gmail.com

Аннотация. В статье представлено конструктивное решение пешеходной подземной галереи. Галерея объединит здание Университета и Кампуса, который будет построен напротив, в единую зону для организации места обучения и проживания студентов. Суровый климат Заполярья создаёт тяжелые условия для передвижения по территории Норильского района. Строительство подземной галереи создаст единое комфортное и безопасное пространство для успешного обучения и отдыха студентов и преподавателей на территории субарктической зоны.

Ключевые слова: климат, галерея, территория, здание, сооружение, студенты, строительство.

Для цитирования: Оптимизация инфраструктуры Заполярного государственного университета / О.П. Рысева, Т.В. Богачев, Д.В. Лаврентьев, А.А. Матусевич, Ш.Р. Мулькаманов // Научный вестник Арктики. 2024. №16. С. 56–63. https://doi.org/10.52978/25421220_2024_16_56–63.

Technical sciences

Original article

OPTIMIZATION OF THE INFRASTRUCTURE OF THE FEDOROVSKY POLAR STATE UNIVERSITY

Olga P. Ryseva

Fedorovsky Polar State University, Norilsk, Russia

E-mail: RisevaOP@norvuz.ru

Timofey V. Bogachev

Fedorovsky Polar State University, Norilsk, Russia

E-mail: timabogach@mail.ru

Dmitry V. Lavrentyev

Fedorovsky Polar State University, Norilsk, Russia

E-mail: dimalavrentev54516@gmail.com

Andrey A. Matusевич

Fedorovsky Polar State University, Norilsk, Russia

E-mail: Aezakmier70@gmail.com

Shamil R. Mulkamanov

Fedorovsky Polar State University, Norilsk, Russia

E-mail: severpolus.shamili@gmail.com

Abstract. In this article represented the constructive solution which was used for the underground gallery. The gallery will connect the current building of the University and Campus which would be built on the opposite side into a single space for studying and living of the students. Severe climate of the Polar region creates the hard conditions for the movements across the Norilsk area. The construction of the underground gallery will create a single comfortable and safe space for successful studying and rest of the students and lecturers in the territory of subarctic zone.

Keywords: constructive solution, gallery, university, campus, single, area, conditions.

For citation: Optimization of the Infrastructure of the Polar State University / O.P. Ryseva, T.V., Bogachev, D.V. Lavrentiev, A.A. Matusевич, S.R. Mulkamanov. *Scientific Bulletin of the Arctic*. 2024;(16):56–63. (In Russ.). https://doi.org/10.52978/25421220_2024_16_56-63.

В 2022 г. Заполярный государственный университет (ЗГУ) впервые участвовал в уникальном федеральном проекте «Платформа университетского технологического предпринимательства», направленном на формирование у обучающихся навыков групповой работы, анализа проблемного поля и управления технологическими проектами. Одним из творческих коллективов, участвовавших в Акселераторе, был разработан проект подземной пешеходной галереи (рис. 1).



Рис. 1. Творческая группа разработчиков в составе О.П. Рысейвой, А. Матусевича, Т. Богачева, Д. Лаврентьева, Ш. Мульткаманова

Под инфраструктурой ЗГУ подразумевается совокупность зданий и сооружений, систем и служб, необходимых для нормального функционирования и обеспечения повседневной деятельности студентов, преподавателей. На текущий

момент университету принадлежат здания по улице 50 лет Октября и Молодежному проезду, в котором находится Политехнический колледж (ПТК).

В настоящее время создание сети студенческих городков в нашей стране находится в центре внимания. ЗГУ вошел в число вузов Федерального проекта «Строительство кампусов мирового уровня», согласно которому до 2030 г. будет построен кампус для норильских студентов и преподавателей. Университет готовит инженерные и научные кадры для воплощения проектов в субарктической зоне России. Построенный кампус и введенный в эксплуатацию после реконструкции обновленный основной корпус ЗГУ, а также Лицей им. В.И. Долгих, физкультурно-оздоровительный комплекс «Айка будут представлять современный заполярный технологический кластер, единственный в мире. Создание научно-исследовательских лабораторий, оборудованных новейшими цифровыми технологиями и новых образовательных пространств позволит студентам получать глубокие знания передовых технологий, участвовать в прикладных исследовательских разработках. В этих условиях ЗГУ получит возможность выпускать не только новое по-

коление инженеров, но и целые технологические команды, которые смогут сразу включаться в решение сложных стратегических задач в Арктике.

Университет расположен на улице 50 лет Октября и здание будущего кампуса будет расположено здесь же (рис. 2).



Рис. 2. Ситуационный план участка ул. 50 лет Октября

После возведения кампуса появится студенческая специальная обособленная территория для реализации конкретной миссии: организации места обучения и проживания студентов, содействия научному развитию, досуга и т.д. Элемент, который позволит объединить два здания в единое пространство — это подземная пешеходная галерея.

Актуальность проекта продиктована и региональными особенностями Норильского района (рис. 3). Среднегодовая температура Норильска отрицательная и составляет $-9,8^{\circ}\text{C}$. К примеру, среднегодовая температура в г. Москве составляет $-3,27^{\circ}\text{C}$. Кроме того, на проезжей части, из-за отсутствия застройки в начале улицы 50 лет Октября и небольшой ширины полотна, создаются условия для формирования ветровых снежных потоков значительной скорости. Иногда улицу называют «аэродинамической трубой», поскольку порывы

ветра могут составлять более 30 м/с. Величины снежных отложений — более 7 м высотой. Продолжительность присутствия снежного покрова на улицах города в среднем 240 сут.

а)



б)



Рис. 3. Климатические воздействия в Норильском районе: а — ветровые порывы; б — сугробы вдоль проезжей части

В условиях суровой и продолжительной зимы Заполярья минимизировать время нахождения на открытом воздухе студентов в период учебы и отдыха, а также для улучшения коммуникационных связей на территории кластера актуальность проекта очевидна. Однопролетные подземные пешеходные переходы — это подземные сооружения с тоннельной частью прямоугольной или иной конфигурации, предназначенные для движения пешеходов, оборудованные внутренними инженерными системами.

Таким образом, целью проекта является создание единого комфортного и

безопасного пространства для успешного обучения и отдыха студентов, преподавателей на территории субарктической зоны.

Для достижения цели были поставлены следующие задачи:

1. Определить геологический состав грунтов и гидрогеологические условия площадки.

2. Изучить нормативную базу, справочную и техническую литературу на проектирование и эксплуатацию подземных сооружений.

3. Провести аналитические расчеты по определению глубины заложения галереи.

4. Исследовать проектную документацию на здание ЗГУ.

5. Произвести замеры территории площадки.

6. Выполнить графическое эскизирование профиля галереи.

Выбор конструктивного решения был основан на сравнении основных технических показателей и конкурентных качеств типов сооружений (таблица).

Сравнительные показатели

Показатели продукта	Подземная галерея 	Надземная галерея 	Пешеходная эстакада 
Безопасность	Обеспечена, т.к. сооружение является объектом капитального строительства	Обеспечена, т.к. сооружение является объектом капитального строительства	Сооружение пониженного уровня ответственности
Срок службы	Не ограничен	Нормативный – 50 лет	Не установлен в условиях севера
Себестоимость	Минимальная, за счет местных строительных материалов (железобетон)	Высокая, за счет использования привозного металла высоких марок стали и устройства фундаментов	Высокая, за счет использования привозного металла из высоких марок стали и устройства фундаментов

В качестве сравнительных сооружений были приняты три типа конструктивных пешеходных сооружений:

- 1) подземная пешеходная галерея;
- 2) надземная пешеходная галерея;
- 3) пешеходная наземная эстакада.

Следует отметить, что на территории Норильского района присутствуют все три типа сооружений, хотя подземные галереи являются только технологическими. Строительство любых типов подземных сооружений на севере связано с рядом проектных ограничений, которые делают возведение этих сооружений недопустимым. Ограничения напрямую продиктованы принципами проектирования зданий и сооружений на вечномерзлых грунтах. По первому принципу (возведение фундаментов с сохранением мерзлых грунтов) устройство подземных сооружений невозможно из-за привноса

положительных температур в грунт, нарушения целостности мерзлого грунта и др. По второму принципу (возведение фундаментов без сохранения мерзлых грунтов) из-за глубокого залегания несущего слоя более 15 м, что многократно увеличивает стоимость и трудоёмкость работ.

Грунты площадки ЗГУ составлены коренными породами вулканического происхождения горы Медвежья – долеритами, которые классифицируются как скальные, крупнообломочные, глубина заложения которых составляет от 3 м с поверхности. Верхний слой выложен галечниковым крупнообломочным грунтом. Температура грунтов на площадке колеблется от 2,8° до 8 °С. Наличие положительных температур грунтов и отсутствие мерзлоты делают возможным

устройство подземной галереи, стены которой не будут промерзать в зимний период.

При проектировании подземных пешеходных переходов необходимо предусмотреть не только безопасность его будущей эксплуатации, но и безопасное проведение строительных и ремонтных работ. Подземные переходы сохраняют ландшафт и не нарушают общую архитектуру. Именно поэтому в городах чаще всего строятся переходы такого типа. При проектировании подземных переходов необходимо предусмотреть возможность передвижения для инвалидов и других немобильных групп населения.

Исходя из объёмно-планировочного решения здания ЗГУ, решено галерею «завести» под подвальным этажом на отм. -3.9 в осях В–Г и рядах 27–28. Наличие свободных полостей под перекрытием позволяет не задеть фундаменты, глубина заложения которых ниже 9 м.

Основной сложностью при разработке явилось наличие двухъярусного коллектора между зданиями. Чтобы обойти это препятствие, пришлось заглубить галерею еще на 4 м (рис. 4).

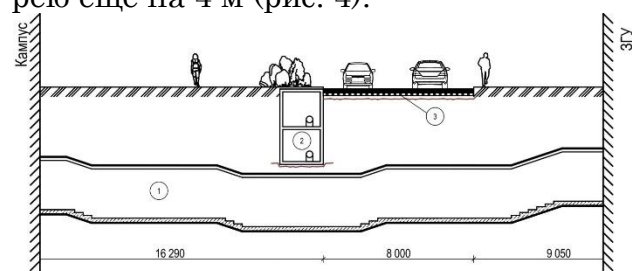


Рис. 4. Схема разреза по ул. 50 лет Октября:
1 – галерея; 2 – коллектор; 3 – проезжая часть

Конструктивное решение галереи – однопролетная, тоннельная, из монолитного железобетона длиной 55 м, с переменной глубиной заложения относительно поверхности земли от 3 до 8 м (рис. 5). Размеры сечения галереи пешеходного пространства: ширина $b = 2,5$ м, высота $h = 3,05$ м с учетом подвесного потолка (рис. 6, 7).

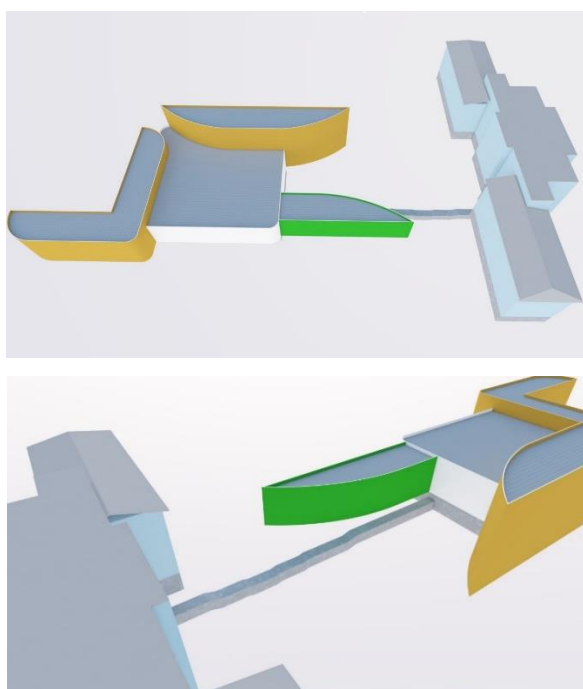


Рис. 5. Общий вид подземной галереи между зданиями ЗГУ и кампуса (уровень поверхности земли условно не показан)

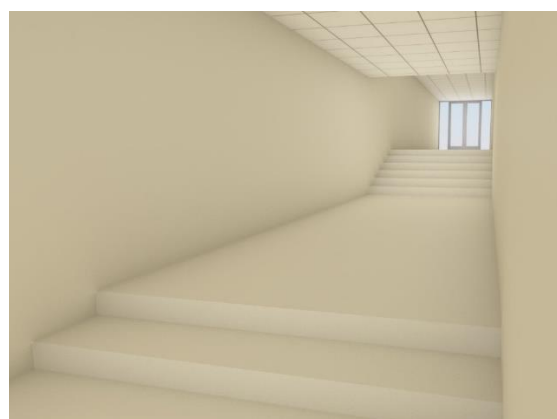
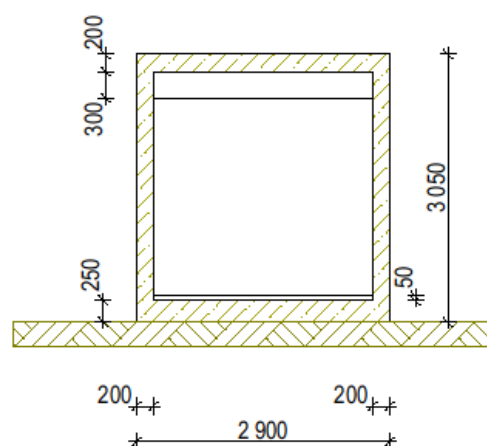


Рис. 6. Поперечное сечение галереи

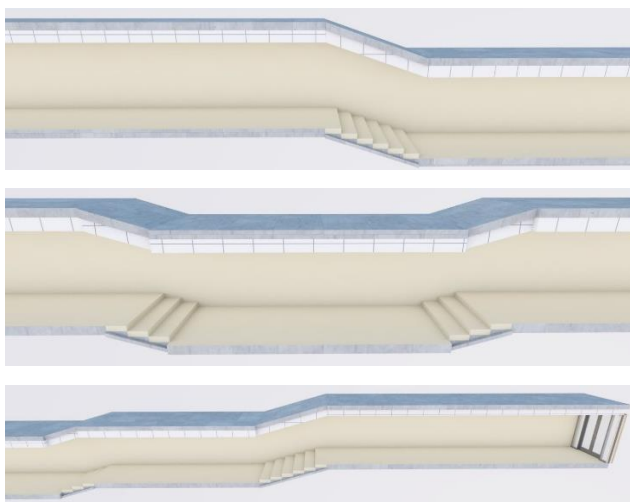


Рис. 7. Визуализация участков галереи

В галерее предусмотрены системы отопления, вентиляции, освещения, пожарной безопасности, видеонаблюдения. По длине подземного пешеходного перехода и у лестничных сходов для сбора воды от мытья полов предусмотрены водоприемные приемки с чугунными решетками и отводом воды по трубам в городскую систему канализации.

Обогрев помещений пешеходного перехода следует выполнять электроконвекторами с автоматическими терморегуляторами и тепловой защитой в соответствии с обогреваемой площадью.

В холодный период времени обеспечен постоянный обогрев помещений до температуры не ниже $+16^{\circ}\text{C}$.

Для вентиляции помещений следует предусмотреть установку приточно-вытяжных вентиляторов с ручным управлением с забором и выбросом воздуха в ствол пешеходного перехода, как для помещений без постоянного присутствия обслуживающего персонала.

Для прокладки конструкции галереи наиболее приемлемы два способа строительства: закрытый и открытый.

Закрытый способ строительства подземных сооружений осуществляется без вскрытия земной поверхности над ними с использованием проходческих щитов (рис. 8).

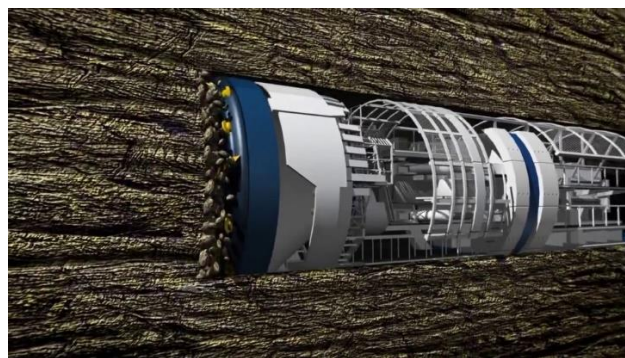


Рис. 8. Один из типов проходческих щитов

Проходческий щит – подвижная сборная металлическая конструкция, обеспечивающая безопасное проведение горной выработки и сооружение в ней постоянной крепи. Применяется при сооружении тоннелей различного назначения, при разработке месторождений полезных ископаемых подземным способом. Недостаток – огромная масса механизма, высокая стоимость производства работ, сложность использования в условиях городской застройки.

Открытый способ строительства подземных сооружений заключается в прокладке траншеи со вскрытием земной поверхности над ней (рис. 9).

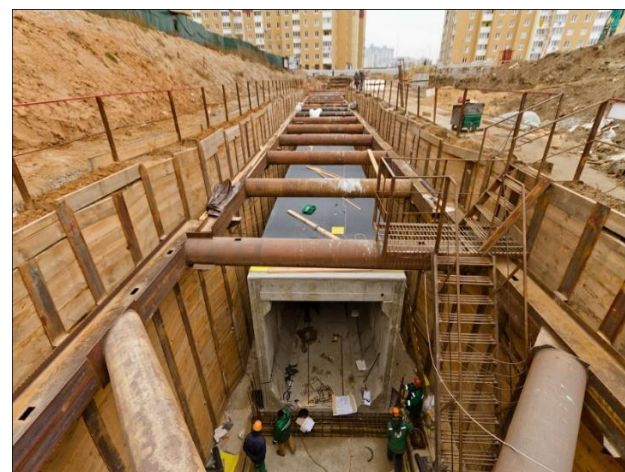


Рис. 9. Открытый способ строительства

Выбор землеройных машин должен определяться грунтовыми условиями, техническими возможностями машин и наличием землеройной техники в подрядной организации. Способ и технология устройства котлованов должны определяться рабочей документацией в зави-

симости от типов работ. Недостаток – повреждение дорожного полотна на период работ.

Технологически галерею целесообразно выполнить открытым способом, т.к. на территории Норильска и всего Красноярского края отсутствует проходческий щит.

Пешеходная галерея будет востребована не только среди студентов и преподавателей, но ею смогут воспользоваться:

– школьники, потенциальные абитуриенты и их родители;

– гости-представители Компании «Норильский никель» и специалисты любого производственного предприятия или организации;

– туристы, приезжающие на Таймыр;

– участники конференций и других научных мероприятий, проводимых в ЗГУ.

Сметная стоимость сооружения в ценах 2023 г. составила 14 млн. руб. Продолжительность строительства – около двух месяцев.

Список источников

1. ГОСТ 21.501–2018. СПДС. Правила выполнения рабочей документации архитектурных и конструктивных решений // Межгосударственный стандарт. М.: Стандартинформ, 2019. 51 с.

2. ГОСТ 25100–2020. Грунты. Классификация // Межгосударственный стандарт. М.: Стандартинформ, 2020. 40 с.

3. СП.22.1330.2016. Основания зданий и сооружений. Актуализированная редакция СНиП 2.02.01–83*. Утв. приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства РФ от 16 декабря 2016 г. №970. Введ. в действие с 17.06.2017 г. М.: Минстрой России, 2016. 220 с.

4. СП 25.13330.2012. Основания и фундаменты на вечномерзлых грунтах. Актуализированная редакция СНиП 2.02.04-88: Утв. приказом Минрегион России от 29.12.2011 г. №622. Введен в действие с 1.01.2013. С изм.

от 25.11.2019 г. №730/пр с 26.05.2020. М.: Строительство, 2020.

5. СП 63.13330.2018. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. СНиП 52–01–2003: Утв. Приказом Минстрой России от 06.20.2019 №832. Срок введ. в действие 20.06.2019. М.: Строительство, 2018.

6. СП 20.13330.2016. Нагрузки и воздействия Актуализированная редакция СНиП 2.01.07–85*. Утв. Минстрой России 03.12.2016. М.: Строительство, 2016. 104 с.

7. СП 42.13330.2016. Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских поселений. Актуализированная редакция СНиП.

8. СНиП. 2.07.01-89*. Утв. Минстрой России 19.09.2019. М.: Стандартинформ, 2019. 100 с.

References

1. GOST 21.501–2018. SPDS. Rules for the implementation of the working documentation of architectural and constructive solutions // Interstate standard. M.: Standartinform, 2019. 51 p.

2. GOST 25100-2020. Soils. Classification // Interstate standard. M.: Standartinform, 2020. 40 p.

3. SP.22.1330.2016. Foundations of buildings and structures. Updated version of SNiP 2.02.01–83*. Approved by Order No. 970 of the Ministry of Construction and Housing and Communal Services of the Russian Federation

dated December 16, 2016. Introduction. effective from 06/17/2017. M.: Ministry of Construction of Russia, 2016. 220 p.

4. SP 25.13330.2012. Foundations and foundations on permafrost soils. Updated version of SNiP 2.02.04-88: Approved by Order No. 622 of the Ministry of Regional Development of the Russian Federation dated 12/29/2011. It has been in effect since 1.01.2013. With the change. dated 11/25/2019, No.730/pr from 05/26/2020. M.: Construction, 2020.

5. SP 63.13330.2018. Concrete and jelly-concrete structures. The main provisions. SNIIP 52-01-2003: Approved By Order of the Ministry of Construction of the Russian Federation dated 06.20.2019 No. 832. The deadline is entered. effective 06/20/2019. M.: Stroitelstvo, 2018.

6. SP 20.13330.2016. Loads and impacts Updated version of SNIIP 2.01.07–85*. Approved Ministry of Construction of Russia 03.12.2016. M.: Construction, 2016. 104 p.

7. SP 42.13330.2016. Urban planning. Planning and development of urban and rural settlements. Updated version of the SNIIP.

8. SNIIP. 2.07.01–89*. Approved. Ministry of Construction of Russia 09/19/2019. M.: Standartinform, 2019. 100 p.

Научный вестник Арктики. 2024. №16. С. 64–69.
Scientific Bulletin of the Arctic. 2024;(16):64–69.

Технические науки

Научная статья

УДК 691

doi: 10.52978/25421220_2024_16_64–69

ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ОРГАНИЧЕСКОГО СЫРЬЯ В УСЛОВИЯХ КРАЙНЕГО СЕВЕРА

Анна Сергеевна Бессонова

Заполярный государственный университет им. Н.М. Федоровского, Норильск, Россия
E-mail: bessik85@mail.ru

Михаил Анатольевич Елесин

Заполярный государственный университет им. Н.М. Федоровского, Норильск, Россия
E-mail: ema0674@mail.ru

Аннотация. Статья посвящена исследованию строительных материалов на основе органического сырья, с акцентом на их применение в экстремальных климатических условиях Крайнего Севера, в частности в г. Норильске. Освещаются классификация, технологии обработки, инновационные разработки использования органических строительных материалов в условиях сурового климата.

Ключевые слова: органические строительные материалы, Крайний Север, климатические условия, инновационные технологии.

Для цитирования: Бессонова А.С., Елесин М.А. Опыт применения строительных материалов на основе органического сырья в условиях Крайнего Севера // Научный вестник Арктики. 2024. №16. С. 64–69. https://doi.org/10.52978/25421220_2024_16_64–69.

Technical sciences

Original article

EXPERIENCE IN THE USE OF BUILDING MATERIALS BASED ON ORGANIC RAW MATERIALS IN THE FAR NORTH

Anna S. Bessonova

Fedorovsky Polar State University, Norilsk, Russia
E-mail: bessik85@mail.ru

Mikhail A. Yelesin

Fedorovsky Polar State University, Norilsk, Russia
E-mail: ema0674@mail.ru

Abstract. The article is dedicated to the study of construction materials based on organic raw materials, with a focus on their application in the extreme climatic conditions of the Far North, particularly in Norilsk. It covers the classification, processing technologies, innovative developments of using organic construction materials in harsh climate conditions.

Keywords: organic construction materials, Far North, climatic conditions, innovative technologies.

For citation: Bessonova A.S., Elesin M.A. Experience in the use of building materials based on organic raw materials in the Far North. *Scientific Bulletin of the Arctic*. 2024;(16):64–69. (In Russ.). https://doi.org/10.52978/25421220_2024_16_64–69.

Экологическая безопасность и устойчивое развитие играют ключевую роль во многих сферах, включая выбор материалов для строительства. Возрастающая популярность натуральных материалов, таких как дерево и других естественных компонентов, обусловлена их воспроизводимостью, биоразлагаемостью и минимальным влиянием на окружающую среду. Эти материалы, уменьшая углеродный след, обеспечивают превосходные свойства тепло- и звукоизоляции, делая их подходящими для использования в разнообразных климатических условиях.

В условиях Крайнего Севера, где преобладают экстремальные температуры и сложные экологические ситуации, изучение и применение органических материалов приобретает особую актуальность. Город Норильск, один из крупнейших в этом регионе, сталкивается с уникальными трудностями, связанными с изоляцией, доставкой материалов и адаптацией к арктическим условиям. Материалам на основе органического сырья принадлежит важная роль в благоустройстве города по реализации плана программы реновации: строительство нового жилищного фонда, развитие соцобъектов и модернизация инфраструктуры.

Цель работы заключается в изучении применения строительных материалов на основе органического сырья в арктических условиях, на примере их использования на территории Норильского промышленного района (НПР). В статье будут изучены разнообразные органические строительные материалы, показаны их характеристики, достоинства и недостатки.

Сырьем для строительных материалов на органической основе являются:

- **дерево:** натуральный материал ценится в строительстве за прочность, долговечность и визуальную привлекательность; может использоваться в разных формах, таких как массивная древесина, фанера и инженерная древесина;

- **солома:** доступный и возобновляемый ресурс; часто применяется для создания соломенных блоков или панелей с хорошими изоляционными характеристиками [1];

- **конопля:** применяется в производстве изоляционных материалов и экологически чистого конопляного бетона с хорошими теплоизоляционными свойствами;

- **глина и лёсс:** традиционно используются в строительстве за счет их доступности, экономичности и отличных теплоизоляционных свойств;

- **шерсть:** используется как эффективный изоляционный материал, обладающий превосходными тепло- и звукоизоляционными свойствами.

Основные *преимущества* данных строительных материалов:

- **экологичность** — возобновляемые материалы, такие как дерево, солома и конопля, имеют меньший углеродный след в сравнении с традиционными строительными материалами; их использование помогает уменьшить выбросы парниковых газов [2];

- **теплоизоляция** — многие органические материалы обеспечивают превосходную теплоизоляцию, что сокращает необходимость в дополнительном отоплении и снижает энергопотребление;

- **регулирование влажности и воздухопроницаемость:** натуральные материалы, такие как глина и дерево, способствуют поддержанию здорового микроклимата в помещении.

Недостатки:

- **долговечность и устойчивость к воздействиям:** подвержены влаге, плесени и вредителям больше, чем традиционные материалы;

- **стоимость и доступность:** в отдаленных регионах стоимость и доступность могут оказаться выше по сравнению с традиционными из-за затрат на транспортировку и ограниченного производства;

• сложности в строительстве и обработке: работа с некоторыми видами природных материалов может потребовать специфических умений, технологий и привлечения квалифицированных специалистов.

В табл. 1 показан сравнительный анализ между традиционными строительными материалами (бетон, сталь) и материалами на основе органического сырья (дерево, солома, глина). Основные критерии сравнения включают в себя устойчивость к температурам, стоимость, воздействие на окружающую среду, долговечность и теплоизоляционные свойства.

Таблица 1

**Сравнение традиционных
и органических строительных материалов**

Критерий	Традиционные материалы	Органические материалы
Устойчивость к температурам	Высокая/Средняя	Средняя/Низкая
Стоимость	Высокая	Низкая
Воздействие на окружающую среду	Высокое	Низкое
Долговечность	Высокая	Средняя
Теплоизоляционные свойства	Средние	Высокие

Сегодняшние достижения в области обработки и применения органических строительных материалов открывают новые горизонты в архитектуре. Основной целью этих инноваций является максимальное использование природных качеств материалов, при этом повышается их эффективность и расширяются области применения.

Одна из ведущих задач – улучшение прочности и устойчивости органических материалов к окружающим условиям. Применение методов термической обработки дерева значительно повышает его устойчивость к воде и сохранение формы, что особенно важно при колебаниях влажности и температуры.

Инновации в технологии играют центральную роль в создании композитных

материалов, объединяющих органические волокна с другими элементами для достижения желаемых характеристик [3].

Ключевой элемент прогресса строительной индустрии в НПП – это разработка технологий, фокусирующихся на эффективном использовании местных органических ресурсов. Их применение уменьшает расходы на транспортировку.

Важным аспектом является применение органических строительных материалов в условиях Крайнего Севера. Эти условия, характеризующиеся сильными ветрами, ограниченным солнечным светом и продолжительными сильными морозами, требуют использования материалов, способных выдерживать эти испытания и при этом обеспечивать надежную теплоизоляцию и долговечность.

Материалы для строительства, созданные из органических материалов, включая дерево и его производные, идеально подходят для эксплуатации в экстремальных условиях благодаря их высоким теплоизоляционным характеристикам и способности приспосабливаться к колебаниям влажности и температуры.

В контексте Крайнего Севера особое значение приобретает устойчивое развитие, нацеленное на минимизацию воздействия на уникальные местные экосистемы.

Эффективное применение органических строительных материалов в НПП включает несколько ключевых моментов.

Использование деревянных элементов и панелей в строительстве жилых домов способствует снижению их веса. Это уменьшает давление на промерзшие грунты и обеспечивает лучшую теплоизоляцию по сравнению с традиционными строительными материалами [4].

Экологически ориентированные проекты. В Норильске и других районах НПП в рамках экологических инициатив активно применяются натуральные

материалы для создания зеленых зон и улучшения качества городской среды.

Использование местных ресурсов.

Особое внимание уделяется применению местных органических ресурсов, в том числе древесины хвойных деревьев. Это позволяет снизить транспортные расходы и поддерживает использование традиционных строительных методов, адаптированных к местным условиям. Например, лиственница, благодаря своей прочности, особенно ценится в гидротехническом строительстве [5].

К основным препятствиям и ограничениям в использовании органических строительных материалов в условиях Крайнего Севера относятся:

- проблемы с прочностью: ключевая трудность с натуральными строительными материалами, такими как дерево, связана с их сравнительно меньшей продолжительностью службы по сравнению с их неорганическими альтернативами;
- затруднения в обеспечении изоляции и устойчивости к влажности: хотя органические материалы обладают отличными свойствами теплоизоляции, они могут страдать от воздействия влаги, включая риск развития плесени и грибка;
- логистические сложности: в изолированных и труднопроходимых зонах Крайнего Севера доставка строительных материалов, произведенных из органических источников, является серьезным вызовом; высокие затраты на транспортировку, инфраструктурные ограничения и проблемы с хранением материалов в условиях низких температур существенно повышают общую стоимость строительства и могут ограничивать использование некоторых видов органических материалов [6].

Современные научные исследования активно изучают применение органических отходов и возобновляемых источников в производстве инновационных строительных материалов. Это открывает широкие перспективы для устойчивого

развития отрасли, особенно в свете увеличивающихся проблем с утилизацией отходов и истощением природных ресурсов. Внедрение натуральных бытовых отходов, остатков сельского хозяйства и других биоматериалов может способствовать созданию экологически чистых, экономически эффективных и функциональных строительных материалов.

Главное направление текущих исследований заключается в разработке биоразлагаемых и биосовместимых строительных материалов, способствующих снижению воздействия строительной деятельности на окружающую среду. Материалы, такие как биопластики, геополимеры и композиты на базе натуральных волокон, демонстрируют впечатляющие результаты в плане прочности, износостойкости и теплоизоляции, обладая при этом утилизируемостью и экологической безопасностью. Количественные показатели, отображающие преимущества использования этих органических материалов по сравнению с традиционными строительными материалами, представлены в табл. 2.

Таблица 2

Количественное сравнение эффективности органических и традиционных строительных материалов

Показатель	Традиционные материалы	Органические материалы	Единица измерения
Теплопроводность	1,5	0,3	Вт/(м·К)
Срок службы	50	30	годы
Стоимость за 1 м ²	5000	3000	руб.
Углеродный след	10	3	кг CO ₂ /м ²

Исследования в области строительства сосредоточиваются на разработке материалов, устойчивых к экстремальным температурам, сильным ветрам и другим уникальным характеристикам региона. Цель ученых – создавать материалы, которые не только выдержат жесткие условия, но и обеспечат комфортное и безопасное применение.

Недавние исследования в строительстве фокусируются на создании прорывных решений, таких как сверхпрочные пластики, структуры из грибковых колоний и кирпичи из растительных волокон. Эти новые материалы обещают радикально трансформировать сферу строительства благодаря их уникальным свойствам, включающим повышенную прочность, устойчивость к внешним воздействиям и экологическую безвредность [7].

Исследования в этом сегменте направлены на использование естественных материалов, таких как дерево, пробка и солома.

В рамках исследований осуществляется работа над повышением специальных характеристик строительных материалов. Например, добавление растительных элементов в обычный портландцемент может значительно усилить его экологические качества.

Ведется разработка экономичных и устойчивых строительных материалов, включая геополимерный бетон с использованием переработанных заполнителей. Эти материалы не только способствуют сокращению отходов и повышению экологической устойчивости, но и обеспечивают прочность и долговечность конструкций [8].

В НПП естественные строительные материалы требуют дополнительной об-

работки и защиты для увеличения их сопротивляемости влаге, гниению и насекомым-вредителям [9].

Исследования ведутся в области создания новых композитных материалов, объединяющих органические и неорганические компоненты. Разрабатываются также специальные добавки и покрытия, которые улучшают устойчивость органических строительных материалов к экстремальным температурам и влажности. Эти научные усилия не только направлены на улучшение эффективности и надежности строительных материалов, но и предлагают новые возможности для улучшения качества жизни людей, проживающих в неблагоприятных условиях.

Выводы. Таким образом, можно сделать вывод о том, что органические строительные материалы в Норильском промышленном районе обладают значительным потенциалом. Они предлагают ряд преимуществ, в том числе экологическую безопасность, доступность и адаптивность к экстремальным климатическим условиям.

Для дальнейшего продвижения использования натуральных строительных материалов рекомендуется разработка специфических стандартов и нормативов, а также проведение дополнительных исследований, направленных на изучение их прочности и сопротивляемости внешним условиям.

Список источников

1. Пичугин А.П., Смирнова О.Е., Хританков В.Ф. Композиционные прессованные материалы на основе органического сырья // Эксперт: теория и практика. 2023. №2 (21): [сайт]. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/kompozitsionnye-pressovannye-materialy-na-osnove-organicheskogo-syrya>

2. Золотарев А.С. Разработка современных экологических теплоизоляционных материалов на основе переработки отходов растениеводства // Научный журнал молодых ученых. 2022. №5 (30): [сайт]. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/razrabotka->

[sovremennyh-ekologichnyh-teploizolyatsionnyh-materialov-na-osnove-pererabotki-othodov-rastenievodstva](https://cyberleninka.ru/article/n/razrabotka-)

3. Юрченко В.В., Хлебородова В.А. Анализ возможности производства и применения термопластичных композиционных материалов на основе отходов древесины и вторичных полимеров // Сборник научных трудов ДонИЖТ. 2019. №52: [сайт]. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-vozmozhnosti-proizvodstva-i-primeneniya-termoplastichnyh-kompozitsionnyh-materialov-na-osnove-othodov-drevesiny-i-vtorichnyh>

4. Кетов Ю.А., Словигов С.В. Синтактические полимерные композиционные материалы высоконаполненные гранулированным пеностеклом // *Computational nanotechnology*. 2019. №3: [сайт]. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sintakticheskie-polimernye-kompozitsionnye-materialy-vysokonaplnennye-granulirovannym-penosteklom>
5. Рыбьев И.А. Строительное материаловедение. М.: Высшая школа, 2003. С. 189.
6. Копаница Н.О. Структурное моделирование свойств торфа как сырья для производства строительных материалов // Вестник ТГАСУ. 2010. №2: [сайт]. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/strukturnoe-modelirovanie-svoystv-torfa-kak-syrya-dlya-proizvodstva-stroitelnyh-materialov>
7. Исаева Е.Ю. Исследование свойств строительных материалов, модифицированных гидрофобными добавками на основе торфа // Записки Горного института. 2008: [сайт]. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/issledovanie-svoystv-stroitelnyh-materialov-modifitsirovannyh-gidrofobnymi-dobavkami-na-osnove-torfa>
8. Technical Properties of Polymer Materials: refer. guide / V.K. Kryzhanovsky, V.V. Burlov, A.D. Panimatchenko, Yu.V. Kryzhanovskaya. SPb.: Profession, 2003. 147 p.
9. Kryzhanovsky V.K. Production of Products from Polymer Materials: Textbook for University Students. SPb.: Profession, 2008. 258 p.

References

1. Pichugin A.P., Smirnova O.E., Hritankov V.F. Composite pressed materials based on organic raw materials. *Expert: theory and practice*. 2023;2(21). (In Russ.). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/kom-pozitsionnye-pressovannye-materialy-na-osnove-organicheskogo-syrya>
2. Zolotarev A.S. Development of modern eco-friendly thermal insulation materials based on the processing of waste from crop production. *Scientific Journal of Young Scientists*. 2022;5(30). (In Russ.). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/razrabotka-sovremennyh-ekologichnyh-teploizolyatsionnyh-materialov-na-osnove-pererabotki-otходов-rasteniyevodstva>
3. Yurchenko V.V., Khleborodova V.A. Analysis of the possibility of production and application of thermoplastic composite materials based on wood waste and secondary polymers // Collection of scientific papers of the end of 2019. No. 52. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-voz-mozhnosti-proizvodstva-i-primeneniya-termoplastichnyh-kompozitsionnyh-materialov-na-osnove-otходов-drevesiny-i-vtorichnyh>
4. Ketov Yu.A., Slovikov S.V. Syntactic polymer composite materials highly filled with granular foam glass. *Computational nanotechnology*. 2019;(3). (In Russ.). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sintakticheskie-polimernye-kompozitsionnye-materialy-vysokonaplnennye-granulirovannym-penosteklom>
5. Rybyev I.A. Building materials science. M.: Higher School, 2003. P. 189.
6. Kopanitsa N.O. Structural modeling of the properties of peat as a raw material for the production of building materials. *Bulletin of TSASU*. 2010;(2). (In Russ.). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/strukturnoe-modelirovanie-svoystv-torfa-kak-syrya-dlya-proizvodstva-stroitelnyh-materialov>
7. Isaeva E.Y. Investigation of the properties of building materials modified with hydrophobic additives based on peat. *Notes of the Mining Institute*. 2008. (In Russ.). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/issledovanie-svoystv-stroitelnyh-materialov-modifitsirovannyh-gidrofobnymi-dobavkami-na-osnove-torfa>
8. Technical Properties of Polymer Materials: refer. guide / V.K. Kryzhanovsky, V.V. Burlov, A.D. Panimatchenko, Yu.V. Kryzhanovskaya. SPb.: Profession, 2003. 147 p.
9. Kryzhanovsky V.K. Production of Products from Polymer Materials: Textbook for University Students. SPb.: Profession, 2008. 258 p.

Научный вестник Арктики. 2024. №16. С. 70–79.
Scientific Bulletin of the Arctic. 2024;(16):70–79.

Технические науки

Научная статья

УДК 622.273:553 (571.5)

doi: 10.52978/25421220_2024_16_70–79

ВЛИЯНИЕ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО СТРОЕНИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ НОРИЛЬСКА НА УРОВЕНЬ СТАБИЛЬНОСТИ ВЕЩЕСТВЕННОГО СОСТАВА РУДНОЙ МАССЫ ПРИ ПОДЗЕМНОЙ ДОБЫЧЕ

Наталья Александровна Туртыгина

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

E-mail: natyrtigina@mail.ru.

Александр Владимирович Охрименко

ЗФ ПАО «ГМК «Норильский никель», Норильск, Россия

E-mail: Okhrimenko.av@mail.ru

Сергей Александрович Шаров

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

E-mail: galaxys2953@gmail.com

Никита Андреевич Фролов

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

E-mail: fronik1998@yandex.ru

Аннотация. В работе на основании выполненной количественной оценки геологической изменчивости качества медно-никелевых руд установлено, что характер изменчивости качественных показателей в целом по месторождениям Норильска сложный, что делает более трудными условия производства для выдачи рудопотока стабильного качества при подземной добыче.

Ключевые слова: рудные месторождения, геологическое строение, природная изменчивость, стабильность качества, подземная добыча.

Для цитирования: Влияние геологического строения месторождений Норильска на уровень стабильности вещественного состава рудной массы при подземной добыче / Н.А. Туртыгина, А.В. Охрименко, С.А. Шаров, Н.А. Фролов // Научный вестник Арктики. 2024. №16. С. 70–79. https://doi.org/10.52978/25421220_2024_16_70–79.

Technical sciences

Original article

THE INFLUENCE OF THE GEOLOGICAL STRUCTURE OF NORILSK DEPOSITS ON THE LEVEL OF STABILITY OF THE MATERIAL COMPOSITION OF THE ORE MASS DURING UNDERGROUND MINING

Natalia A. Turtygina

Fedorovsky Polar State University, Norilsk, Russia

E-mail: natyrtigina@mail.ru

Alexander V. Okhrimenko

MMC Norilsk Nickel, Norilsk, Russia

E-mail: Okhrimenko.av@mail.ru

Sergey A. Sharov

Fedorovsky Polar State University, Norilsk, Russia

E-mail: galaxys2953@gmail.com

Nikita A. Frolov

Fedorovsky Polar State University, Norilsk, Russia

E-mail: fronik1998@yandex.ru

Abstract. In the work, based on a quantitative assessment of the geological variability of the quality of copper-nickel ores, it was established that the nature of the variability of quality indicators in general for the deposits of Norilsk is very complex, which makes production conditions more difficult for producing an ore flow of stable quality during underground mining.

Keywords: ore deposits, geological structure, natural variability, quality stability, underground mining

For citation: The influence of the geological structure of the Norilsk deposits on the level of stability of the material composition of the ore mass during underground mining / N.A. Turtygina, A.V. Okhrimenko, S.A. Sharov, N.A. Frolov. *Scientific Bulletin of the Arctic*. 2024;(16):70–79. (In Russ.). https://doi.org/10.52978/25421220_2024_16_70-79.

Задача обеспечения высокого уровня качества добытых руд одновременно с задачей формирования стабильного вещественного состава рудопотока является важнейшей для дальнейшего развития Заполярного филиала ПАО «ГМК «Норильский никель».

Формирование показателей изменчивости качества руды при подземной добыче происходит в результате совокупного влияния геологических факторов, которые являются первопричиной колебаний качества в рудопотоках, направляемых на перерабатывающие производства [1]. «Величина геологической изменчивости показателей в объеме рудного тела может варьировать в очень широких пределах, в зависимости от типа полезного ископаемого, а также от условий его залегания в недрах. Наибольшее значение при этом имеет общий уровень содержания компонентов и сложность формы рудного тела» [2, с. 147].

С целью установления влияния природных условий на уровень стабильности состава добытой рудной массы при подземной добыче в работе была проведена количественная оценка геологической изменчивости качества медно-никелевых руд Норильска на примере месторождений Норильск–1, Талнахское и Октябрьское.

В настоящее время разработка **месторождения Норильск–1** осуществляется открытым и подземным способом.

Основным объектом отработки являются вкрапленные руды в интрузиве. По особенностям геологического строения и степени изученности рудное тело вкрапленных руд месторождения Норильск–1 разделено на две части: Северную, детально разведанную и эксплуатируемую рудником «Заполярный», и Южную. Запасы Северной части месторождения эксплуатируются карьером «Медвежий ручей» и шахтой рудника «Заполярный» в границах так называемого поля «Прирезки-1» (рис. 1) [3].

Интрузия Норильск–1, с которой связано одноименное месторождение, представляет собой удлиненное (15 км), уплощенное трубообразное тело шириной 1–2,5 км и мощностью 50–320 м. Интрузия плавно погружается под углом наклона 8–15° на юго-запад. Главными рудообразующими минералами месторождения являются минералы групп пирротина, пентландита, халькопирита, кубанита, магнетита: для никелевых руд основным минералом является пентландит; минимальное промышленное содержание никеля в руде – 0,5%; для медистых руд основным минералом является халькопирит; минимальное промышленное содержание никеля в руде в пределах 0,5–0,8%. Другие типы руд добывают попутно, по мере их обнаружения, вместе с вкрапленными рудами [4].

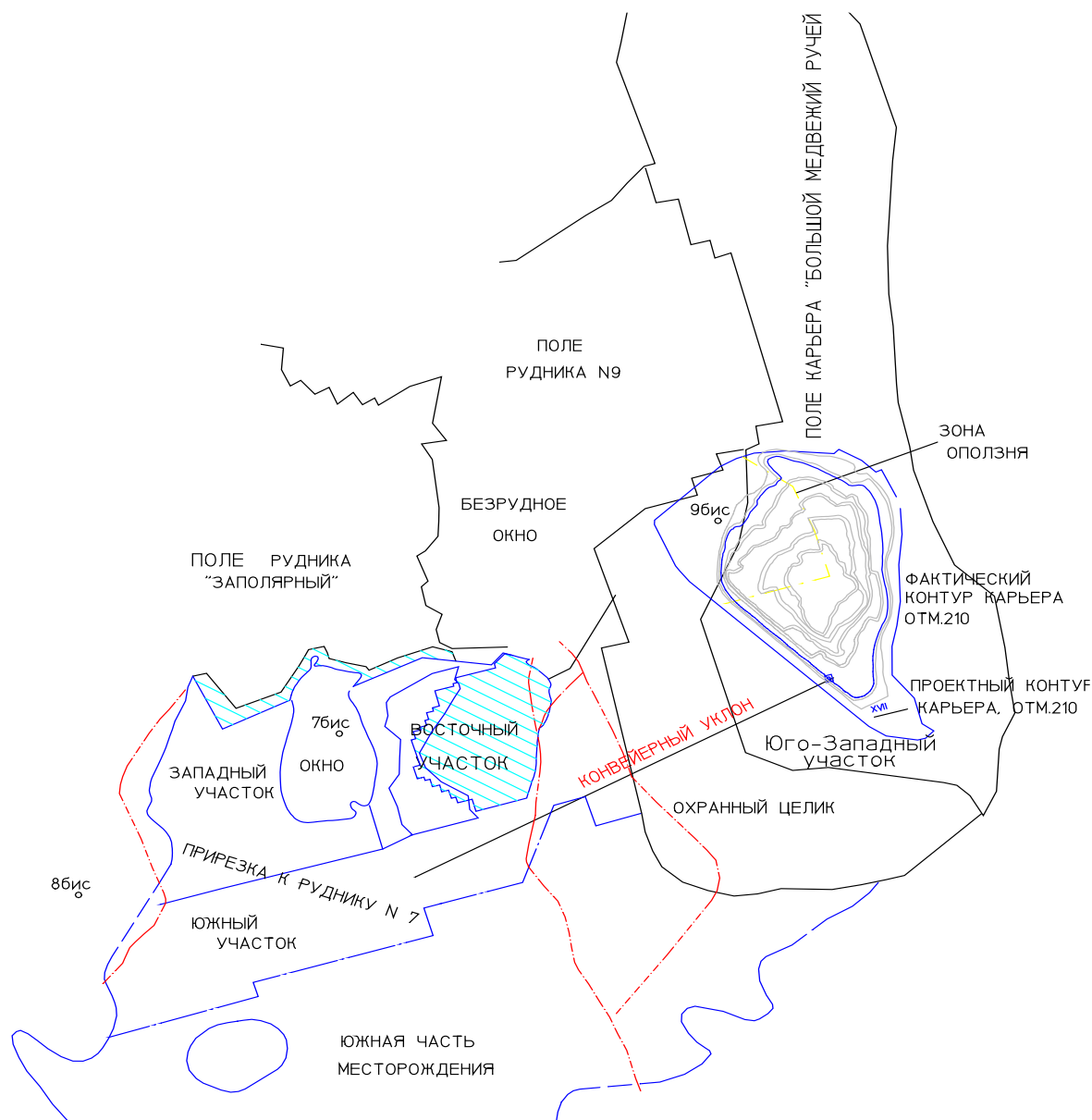


Рис. 1. Схема расположения шахтных полей на месторождении «Норильск-1»

Талнахский рудный узел приурочен к области сочленения Кайеркано-Пясинской антиклинали с юго-западной частью Хараелахской мульды на юге и протягивается вдоль Норильско-Хараелахского разлома. В него входят два крупнейших в мире медно-никелевых месторождения: Талнахское и Октябрьское, вмещающие около 90% запасов сульфидных медно-никелевых руд Но-

рильского района. Месторождения пространственно и генетически связаны с Талнахским дифференцированным интрузивом. В настоящее время месторождения Талнахского рудного узла разрабатываются подземными рудниками Компании «Норильский никель» – «Октябрьский», «Таймырский», «Маяк», «Комсомольский». Схема месторождений «Октябрьское» и «Талнахское» приведена на рис. 2 [5].

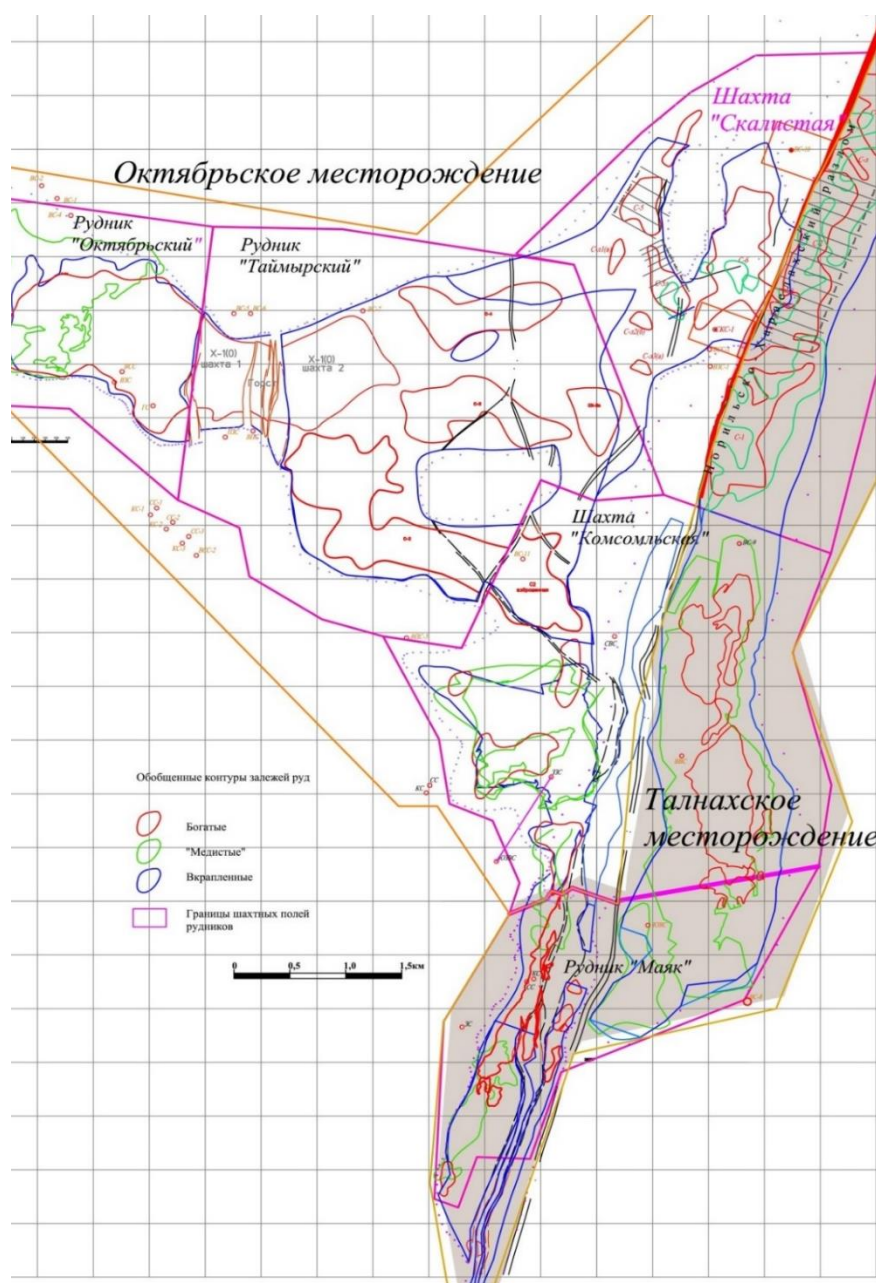


Рис. 2. Схема месторождений Талнахского рудного узла «Октябрьское» и «Талнахское»

Талнахское месторождение приурочено к Северо-Восточной и Юго-Западной ветвям Талнахского рудоносного интрузива, залегающим в отложениях тунгусской серии на западном и восточном крыльях Норильско-Хараелахского разлома.

Юго-Западная ветвь интрузива наиболее детально разведана и изучена. Она рисуется в виде узкой линзовидной в сечении залежи, вытянутой в субмеридиональном направлении на расстояние свыше 9 км. Восточная часть её дважды смещена сбросами, в результате чего интрузив делится на три блока: Западный,

или Главный, Восточный и Промежуточный.

Основные запасы руд Юго-Западного участка сосредоточены в *Главном блоке*. К нему приурочена Южная залежь сплошных сульфидных руд. Длина блока составляет 7,5 км, ширина колеблется от 0 до 800 м и в среднем составляет 300–400 м. Мощность меняется от нескольких десятков до 170 м, при этом максимальные мощности приурочены к корытообразному прогибу подошвы интрузива в центре блока, находящегося в ядре Южной локальной брахисинклинальной структуры.

Кровля интрузивного тела близка к субгоризонтальной слабо волнистой поверхности, наклоненной к востоку. Подошва интрузии имеет более сложную волнистую конфигурацию, обусловленную особенностями строения толщи вмещающих пород.

Восточный блок прослежен скважинами от южных выходов под наносы на расстояние свыше 9 км. Положение блока непосредственно в зоне грабена предопределило все его морфологические особенности. С запада блок ограничен плоскостью нарушения, восточная граница рисуется как резкое выклинивание, обусловленное близостью шва разлома. Ширина блока довольно постоянна и изменяется в пределах 100–300 м, глубина залегания меняется от 50 м на крайнем юге до 800 м и более на северо-востоке.

Промежуточный блок Юго-Западной ветви в виде узкого клина фиксируется вдоль ограничивающих его сбросов грабена на расстоянии около 7 км по направлению погружения интрузива. Ширина блока меняется от 70–150 м на юге и в центре до 20 м и менее в северной части. В крайней южной части интрузивные породы блока выходят под четвертичные отложения, а к северу – погружаются до глубины 600 м. Их мощность изменяется от 0 до 120 м [6].

Октябрьское месторождение медно-никелевых руд связано с Северо-Западной и Хараелахской интрузивными ветвями, локализованными в измененных породах нижнего и среднего девона.

Хараелахская ветвь, к которой приурочены руды западного фланга Октябрьского месторождения, располагается в пластичных породах нижнего девона, занимая фронтальное положение по отношению к основным структурам Талнахского рудного узла. В связи с характером минеральной и геохимической зональности рудных тел Талнахского узла эта ветвь контролирует участки, наиболее обогащенные медью и платиноидами. Основные морфологические

черты её обусловлены преимущественно доинтрузивной пликативной тектоникой и сопровождающими внедрение интрузии и её дальнейшее становление разрывными структурами и метасоматическими явлениями, гибридизацией, пластическими деформациями, локальными, закрытыми эксплозиями. Интрузивная ветвь представляет собой обычную, осложненную по форме на флангах, линзообразную, с пережимами и раздувами, межформационную залежь. Максимумы мощностей ветви (до 150 м) приурочены к ядрам брахисинклинальных складок и прогибов, минимумы – к апикальным частям положительных структур, где интрузивное тело, уменьшаясь в мощности, расщепляется на несколько послойно расположенных своеобразных габбро-долеритовых проводников [5].

Северо-Западная ветвь развита в центральной части Талнахского рудного узла и включает рудные поля восточного фланга Октябрьского месторождения. Её морфология, также как и Хараелахской ветви, в целом обусловлена залеганием интрузива в слоистых породах девона. Положение интрузии непосредственно на западном крыле Норильско-Хараелахского разлома определяет, на ряде участков, усложнение залегания, связанное с локальной структурно-тектонической обстановкой. Серия разрывных нарушений, параллельных Главному шву, наличие приразломной флексурной складки и расположение Нижнеталнахской интрузии приводит к резким колебаниям высотных отметок залегания интрузива в вертикальном разрезе и извилистому контуру, относительно линии разлома, в плане. Отклоняясь к западу от разлома, севернее пережима интрузии в районе Северной Пятой и Северной Шестой залежи богатых руд, Северо-Западная ветвь соединяется с Хараелахской ветвью. Далее на север обе ветви продолжают в виде единой ленто-видной залежи шириной 400–800 м.

В зависимости от соотношения содержания в рудных запасах цветных и драгоценных металлов на месторождениях Норильска выделяется три промышленных типа руд [6].

Вкрапленные руды в интрузиве являются наиболее распространенным промышленным типом медно-никелевых руд месторождений Норильского промышленного района. Они слагают многочисленные линзовидные и крупные пластообразные залежи, вытягивающиеся субпараллельно подошве или кровле интрузивов. По структурно-тектоническим и связанным с ними местными морфологическими особенностями интрузива (пережимы, расщепление в разрезе на флангах и т.д.), а также в соответствии с требованиями кондиций, вкрапленные руды разделяются во фронтальной зоне интрузива на несколько промышленных рудных горизонтов. В центральной части интрузива вкрапленные руды рисуются в виде достаточно выдержанной единой донной залежи. Повсеместно прослеживается, как правило, основной горизонт, приуроченный к пикритовым и такситовым габбро-долеритам. Его контуры в плане грубо повторяют границы рудоносного интрузива. В соответствии с положением погружением интрузива горизонт вкрапленных руд полого наклонен к северо-северо-востоку и северу.

Морфология сульфидных выделений вкрапленных руд характеризуется большим разнообразием и зависит от генезиса и приуроченности к тому или иному дифференциату интрузива.

По своему составу сульфидные руды являются полиминеральными и состоят из весьма обширного комплекса минералов, относящихся к классам сульфидов, селенидов, теллуридов, арсенидов, сульфоарсенидов, интерметаллидов, самородных элементов, окислов и др. К главным рудообразующим относятся минералы, присутствующие в количествах около или более 10% объемных и определяющие качественный состав руд.

К таким минералам можно отнести пирротин (моноклинный и гексагональный), халькопирит и пентландит – наиболее распространенные сульфиды всех медно-никелевых месторождений. Кроме этих минералов, в рудах отдельных залежей в качестве главных рудообразующих минералов присутствуют тропилит, кубанит, валлериит и нестехиометрические разновидности халькопирита: моихукит, талнахит, путоранит и Ni-путоранит.

Повсеместно в рудах среди сульфидов встречается магнетит. В зависимости от преобладания того или иного минерала выделяются пирротиновые, кубанитовые и халькопиритовые руды, являющиеся основными минеральными типами всех промышленных типов руд. Закономерно группируясь внутри минеральных типов, главные рудообразующие минералы образуют устойчивые минеральные ассоциации – минеральные разновидности. Каждая минеральная разновидность образует в рудной залежи довольно крупные и выдержанные обособления.

Богатые (сплошные, массивные) руды представляют собой минеральные образования, как правило, с массивной текстурой, состоящие более чем на 70% объемных из сульфидов. В богатых рудах содержится около 40% всех учтенных запасов металлов. Они локализируются в нижних эндо- и экзоконтактах дифференцированных интрузивов в виде жил, линзообразных и плитообразных тел.

В пределах выявленных ветвей Талнахского рудоносного интрузива в полях рудников выделяется ряд залежей богатых руд, объединенных в группы «Южных», «Центральных» и «Северных», при этом в каждой из групп одна залежь, наиболее крупная, выделяется в качестве «Основной». Залежи богатых руд Талнахского рудного узла делятся на три группы: крупнейшие (площадь свыше 2 км²); крупные (более 0,5 км²); средние (до 0,5 км²) и отдельные мелкие

тела, линзы и жилы. Крупнейшие залежи представляют собой плитообразные тела с небольшой изменчивостью мощностей на большей части площади. Крупные залежи представляют собой плитообразные тела с более изменчивой мощностью. Залежи средних размеров и мелкие тела сплошных сульфидных руд представлены желобоподобными телами и линзами, характеризуются обычно одним максимумом и наиболее четко проявленным линзовидным характером выклинивания.

«Медистые» руды являются наиболее сложными геологическими образованиями. Залежи «медистых» руд представляют собой вкрапленные, прожилково-вкрапленные и брекчиевидные руды. Они залегают в экзоконтактах интрузива или в экзоконтактах залежей богатых руд. Наиболее мощные залежи медистых руд локализуются в грабенообразных структурах, сформированных в верхних эндо- и экзоконтактах интрузивного массива. Морфология зоны оруденения определяется, главным образом, конфигурацией и пространственным положением бортов просевших тектонических блоков. Залежи представляют собой единую многоярусную, часто кулисообразную зону оруденения, мощностью от первых метров до нескольких десятков метров с многочисленными рудными апофизами, некондиционными прослоями и обломками интрузивных и апоосадочных пород.

Залежи «медистых» руд в экзоконтактах богатых руд формируются в том случае, когда на контактах богатых руд рас-

полагаются пласты апоосадочных метаморфических и метасоматических пород. Замещая, пропитывая и проникая по трещинам в пласты апоосадочных пород, сульфиды образуют в них рудный ореол в виде тонкой пропитки, вкрапленности, мелких прожилков, шпиров и линз. Мощность таких залежей колеблется от десятков сантиметров до нескольких метров. Широким распространением «медистые» руды пользуются практически только во фронтальной зоне Талнахского рудного узла. Наиболее значимые их скопления установлены в полях рудников «Комсомольский» и «Октябрьский», где они наблюдаются в виде крупных скоплений горизонтов сложного внутреннего строения и формы. Мощность зоны «медистого» оруденения в западной части поля рудника «Октябрьский» достигает 100 м. В её пределах выделен Основной горизонт (М-0), наиболее крупный и выдержанный, и несколько более мелких [1].

Для изучения природных факторов в качестве исходных материалов были взяты данные геологической и эксплуатационной разведки (рис. 3), а также данные из программного обеспечения Micromine (каркасы, отчеты и 3D модели планируемых выработок) (рис. 4) [7].

При этом материалы, полученные по скважинам, являлись исходными для количественной оценки изменения содержания металлов с глубиной залегания, а в материалах ПО Micromine содержали картину изменчивости показателей качества руды в плане залежи.

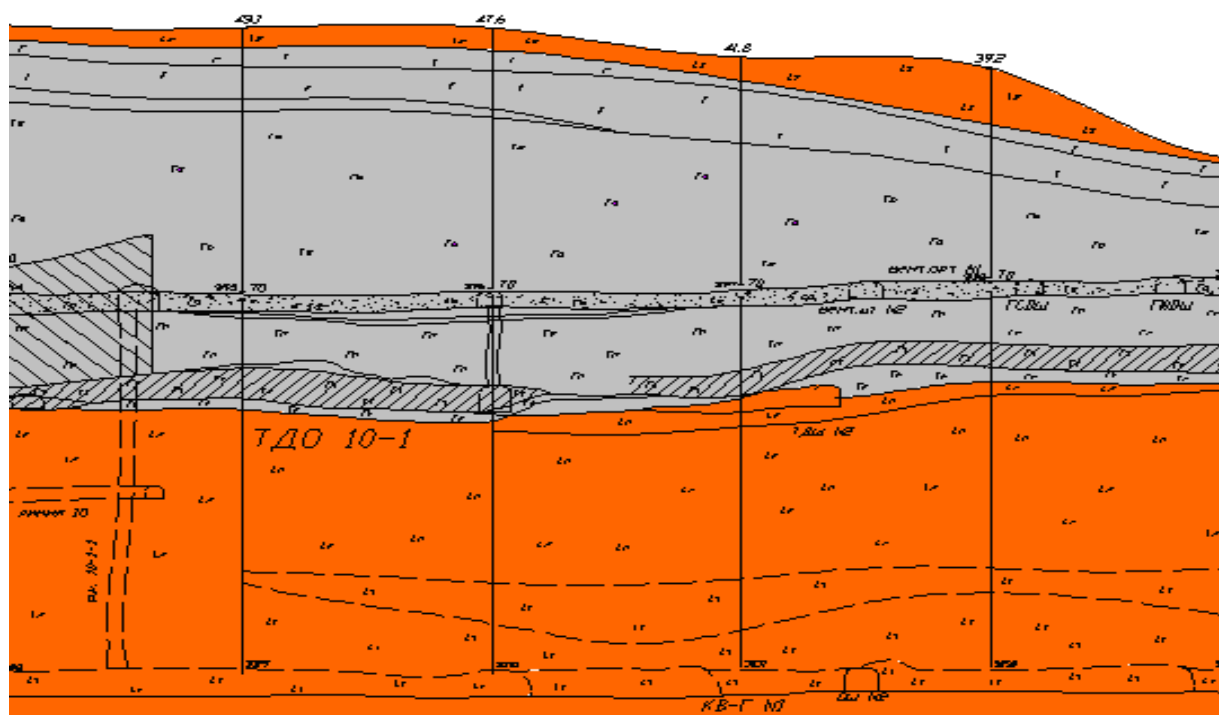


Рис. 3. Геологический разрез по горным выработкам при подземной разработке месторождения «Норильск-1»

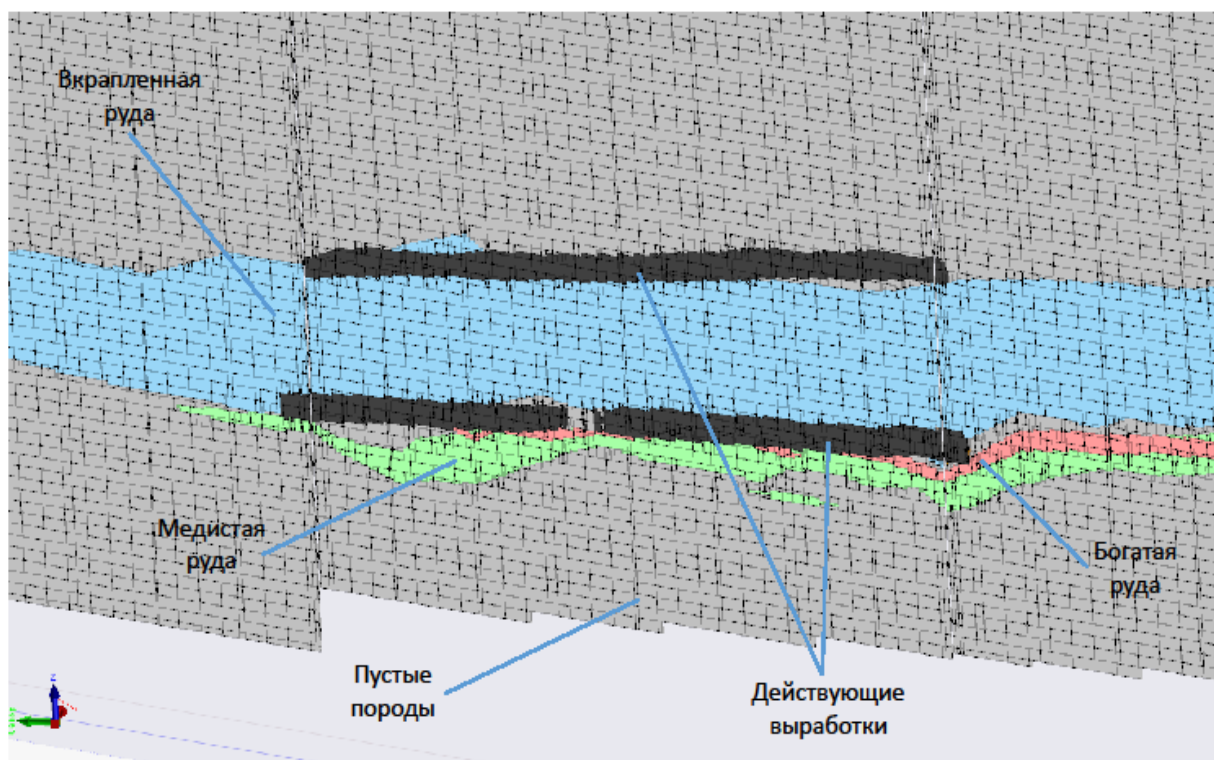


Рис. 4. Разрез по выработке через блочную модель (общий вид в ГГИС Micromine)

Модель рудных залежей создавалась с помощью фундаментальной компьютерной системы на основе электронной базы геологических и маркшейдерских данных, которая включает в себя табличную информацию по опробованию и

стратиграфии медно-никелевых месторождений, графические материалы подсчёта запасов и положение горных выработок [8].

«В целом работа по планированию горных работ начинается с построения общей геологической блочной модели по

залежи или панели и выполняется участковыми геологами рудника в горно-геологической информационной системе (ГИС) Micromine. Наряду с этим на всех этапах планирования горными работами планировщик с помощью внедренных IT-технологий в производственную систему рудника стремится воздействовать на технологию и организацию горного производства с тем, чтобы снизить размах колебаний качественных показателей в руде при добыче и достичь плана при заданных показателях качества» [9, с. 92].

В результате выполненных исследований рассчитаны вероятностно-статистические характеристики качества руды – среднеквадратичное отклонение и коэффициент вариации, а также определен показатель сложности залеганий рудных месторождений Норильска, учитывающий криволинейную форму контактов и размеров, по формуле:

$$\lambda_p = \frac{V_{пк}}{V_{об}},$$

где $V_{об}$ – общий объем залежи, м³; $V_{пк}$ – часть объема залежи в приконтактной зоне, отрабатываемая вместе с породами, м³.

«В работе установлено, что Норильские месторождения медно-никелевых руд относятся к сложным по геологическому строению с позиции обеспечения

стабильности вещественного состава рудной массы, т.к. в них имеют место высокие значения геологической изменчивости показателей качества руд в недрах ($\sigma = 0,06...1,39$; $\nu = 39,28...111,45$; $\lambda = 0,01...0,57$), для достижения чего требуется применение наиболее эффективных технологий формирования стабильного качества руд» [10, с. 33].

В целом показатель λ может быть использован как для оценки сложности залегания всего рудного месторождения, так и для сравнения изменения условий залегания внутри одного участка месторождения в процессе ведения горных работ. Таким образом, полученные данные необходимо рассматривать как ориентировочные, однако результаты исследования необходимо учитывать при дальнейшей разработки месторождений Норильска, поскольку изменение геологических условий и параметров рудных тел усложнит условия производства для выдачи рудопотока стабильного качества. В этой связи для решения проблемы повышения качества добытых руд требуется надёжная производственная система, включающая в себя ряд технологических и организационных функций, направленных на улучшение состава добытой рудной массы на территории рудников.

Список источников

1. Ломоносов Г.Г. Производственные процессы подземной разработки рудных месторождений: монография. М.: Горная книга, 2013. 512 с.
2. Туртыгина Н.А., Охрименко А.В. Количественная оценка природной изменчивости качества медистых руд, залегающих в кровле интрузива // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2019. №8. С. 146–156.
3. Технический проект комбинированной разработки месторождения Норильск–1. Рудник «Заполярный». Вкрапленные руды.
4. План развития горных работ на 2022 г. «Технический проект разработки Октябрьского и Талнахского месторождений. Шахта «Комсомольская» рудника «Комсомольский». Участки богатых, «медистых» и вкрапленных руд» (№368502).
5. Мишанов В.А. Обоснование схемы подготовки маломощных залежей богатых руд месторождений Талнахского рудного узла: дис. ... канд. технических наук: 25.00.22. СПб., 2013. 168 с.
6. Мишанов В.А. Обоснование схемы подготовки маломощных залежей богатых руд месторождений Талнахского рудного узла:

автореф. дис. ... канд. технических наук: 25.00.22. СПб., 2013. 21 с.

7. Рациональное освоение недр. URL: <https://roninfo.ru/kontaktyi/>. Дата обращения: 02.02.2024

8. Горный журнал. URL: <http://www.rudmet.ru/catalog/journals/1/> Дата обращения: 01.02.2024.

9. Батралиев Р.Ш. Туртыгина Н.А., Охрименко А.В. Принципиальная структура оперативной информационно управляющей системы для стабилизации качества рудопотоков // Горный журнал. 2022. №10. С. 91–96.

10. Туртыгина Н.А., Охрименко А.В., Фролов Н.А. Классификация способов ста-

билизации качества рудопотока при подземной добыче // Рациональное освоение недр. 2023. №4. С. 32–40.

11. Крылов И.О., Никулин И.И. Новые данные об условиях локализации и составе сульфидных медно-никелевых руд западной части Октябрьского месторождения Норильского района // Вестник Московского университета. Сер. 4. Геология. 2023. №3. С. 98–112.

12. Инструкция по геологическому обеспечению и производственному геологическому контролю горных предприятий. <https://pandia.ru/text/80/312/6-3.php>. Дата обращения: 02.02.2024.

References

1. Lomonosov G.G. Production processes of underground mining of ore deposits births: monograph. M.: Mining Book, 2013. 512 p.

2. Turtygina N.A., Okhrimenko A.V. Quantitative assessment of the natural variability of the quality of copper ores deposited in the roof of the intrusive. *Mining information and analytical bulletin*; 2019;(8):146–156. (In Russ.).

3. Technical design of the combined development of the Norilsk-1 field. Zapolyarny mine. Interspersed Ores.

4. Mining development plan for 2022 «Technical project for the development of the Oktyabrsky and Talnakhsky localities. Komsomolskaya mine of the Komsomolsky mine. Areas of rich, «small» and interspersed ores» (No.368502).

5. Mishanov V.A. Substantiation of the scheme for the preparation of low-power deposits of rich ores from the deposits of the Talnakh ore node: dis. ... candidate of Technical Sciences: 25.00.22. SPb., 2013. 168 p.

6. Mishanov V.A. Substantiation of the scheme for the preparation of low-power deposits of rich ores of the deposits of the Talnakh ore node: abstract of the thesis ... Candidate of Technical Sciences: 25.00.22. SPb., 2013. 21 p.

7. Rational development of mineral resources. URL: <https://roninfo.ru/kontaktyi/>. Date of notification: 02.02.2024.

8. Mountain journal. URL: <http://www.rudmet.ru/catalog/journals/1/>. Date of notification: 01.02.2024.

9. Batraliev R.Sh. Turtygina N.A., Okhrimenko A.V. The basic structure of the operational information and control system for stabilizing the quality of ore flows. *Mining Journal*; 2022(10):91–96. (In Russ.).

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

11. Krylov I.O., Nikulin I.I. New data on the conditions of localization and formation of sulfide copper-nickel ores in the western part of the Oktyabrsky deposit of the Norilsk district. *Bulletin of the Moscow University. Ser. 4. Geology*; 2023(3):98–112. (In Russ.).

12. Instructions for geological support and production geological control of mining. URL: <https://pandia.ru/text/80/312/6-3.php>. Date of notification: 02.02.2024.

Научный вестник Арктики. 2024. №16. С. 80–86.
Scientific Bulletin of the Arctic. 2024;(16):80–86.

Естественно-научные дисциплины

Научная статья

УДК 796.01: 61

doi: 10.52978/25421220_2024_16_80–86

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В РАБОТЕ ЦЕНТРА «ЭКОЛОГИЯ ЗДОРОВЬЯ» ПО СОХРАНЕНИЮ И УКРЕПЛЕНИЮ ЗДОРОВЬЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ В УСЛОВИЯХ АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЫ

Валерий Анатольевич Дубровин

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

E-mail: valera.dubrovin.60@mail.ru

Аннотация. В статье рассматривается особая тема, а именно оздоровительно-коррекционная работа на базе НИЦ «Экология здоровья», которая обеспечивает внедрение эффективных систем, психогигиенических и коррекционных мероприятий, организации двигательной активности. Данную тему считают проблемной, т.к. будущее нации зависит от того, насколько бережно общество относится к своему здоровью и укрепляет его с помощью средств физической культуры. Отсутствие управляющего звена в физическом и психическом развитии детей, подростков и молодежи, неэффективное использование средств физической культуры, недостаточность знаний об особенностях адаптации детей, школьников и студентов к факторам среды обитания являются весьма важными в образовательных учреждениях. При использовании индивидуального и дифференцированного подхода преподаватели физической культуры могут эту проблему изменить в лучшую сторону. Данное обстоятельство напрямую связано с подбором оздоровительно-развивающих средств и методов, которые в наибольшей степени соответствуют индивидуальным, конституционально-генетическим особенностям обучающихся, проживающих в экстремальных природно-климатических условиях Крайнего Севера. Целью исследования является разработка и внедрение в практику инновационных адаптивно-оздоровительных и рекреационных технологий физической культуры и фитнеса для обучающихся в Арктической зоне. Разработанные в ходе реализации данного исследования научные, методические и организационно-практические материалы отражают запросы региона в создании высокоэффективной системы коррекции, оздоровления, физического и психического развития детей и молодежи.

Ключевые слова: «Экология здоровья», адаптивно-оздоровительные и рекреационные технологии, дифференцированный подход, антропозкобиоритмологическую модель, фитнес-технологии, здоровьеразвивающее обучение.

Для цитирования: Дубровин В.А. Современные технологии в работе центра «Экология здоровья» по сохранению и укреплению здоровья обучающихся в условиях Арктической зоны // Научный вестник Арктики. 2024. №16. С. 80–86. https://doi.org/10.52978/25421220_2024_16_80–86.

Natural sciences

Original article

MODERN TECHNOLOGIES IN THE WORK OF THE CENTER «ECOLOGY OF HEALTH» FOR THE PRESERVATION AND PROMOTION OF HEALTH STUDENTS STUDYING IN THE ARCTIC ZONE

Valery A. Dubrovin

Fedorovsky Polar State University, Norilsk, Russia

E-mail: valera.dubrovin.60@mail.ru

Abstract. The article deals with a special topic, namely, health-improving and correctional work on the basis of the Scientific Research Center «Ecology of Health», which ensures the introduction of effective systems, psychohygienic and correctional measures, and the organization of motor activity. This topic is considered problematic, because the future of the nation depends on how much society treats its health and strengthens it with the help of physical culture. The lack of a managing link in the physical and mental development of children, adolescents and youth, the inefficient use of physical culture, lack of knowledge about the peculiarities of adaptation of children, schoolchildren and students to environmental factors is very important in educational institutions. When using an individual and differentiated approach, physical education teachers can radically change this problem for the better. This circumstance is directly related to the selection of health-improving and developing means and methods that best correspond to the individual, constitutional and genetic characteristics of students living in extreme natural and climatic conditions of the Far North. The aim of the research is to develop and put into practice innovative adaptive health and recreation technologies of physical culture and fitness for students in the Arctic zone. The scientific, methodological, organizational and practical materials developed during the implementation of this study reflect the needs of the region in creating a highly effective system of correction, rehabilitation, physical and mental development of children and youth.

Keywords: «Ecology of health», adaptive wellness and recreational technologies, differentiated approach, anthropocobiorhythmological model, fitness technologies, health-developing training.

For citation: Dubrovin V.A. Modern technologies in the work of the Center «Ecology of Health» for the preservation and strengthening of the health of students in the Arctic zone. *Scientific Bulletin of the Arctic*. 2024;(16):80–86. (In Russ.). https://doi.org/10.52978/25421220_2024_16_80-86.

Актуальность и состояние проблемы. Проблема здоровья нации относится к приоритетным проблемам в стратегии развития Российской Федерации. В последние годы отмечается значительный рост числа лиц, страдающих ожирением, сердечно-сосудистой и онкологической патологиями, сахарным диабетом.

Особенно это касается детей и молодежи проживающих в условиях Арктической зоны. Согласно статистическим данным сводной ведомости учета заболеваемости детей 7–14 лет (КГБУЗ «Межрайонная детская больница г. Норильска», 2021), общее количество детей – 18207, из них имеют различные заболевания:

- онкология – 4 чел. (0,2%);
- сахарный диабет – 44 чел. (0,24%);
- ожирение – 335 человек (1,8%);
- сердечно-сосудистые – 117 чел. (0,64%).

В ранних исследованиях проводился сравнительный анализ между детьми средней полосы (г. Тула) и детьми г. Норильска, где также имелись отличия как в антропометрических показателях, так и в функциональном состоянии [1].

Главными факторами, в комплексе отрицательно влияющими на нервно-психические функции, дыхательную,

сердечно-сосудистую, депрессионное состояние и другие системы подростков г. Норильска, являются экстремальные природно-климатические, физические условия (полярная ночь, полярный день), дополняемые гипокинезией и интеллектуальными перегрузками [2].

Существенной причиной неэффективности физической культуры является складывающаяся одномерная модель физического воспитания, в которую включены только спортивные игры (баскетбол, волейбол). Спортивную гимнастику исключают, т.к. она является травмоопасной. На свежем воздухе невозможно проводить занятия по легкой атлетике в связи с природно-климатическими условиями Крайнего Севера. Развитие компьютерных технологий снизило заинтересованность детей к физической культуре и спорту. **В результате снизилось мотивационно-ценностное отношение детей к урокам и ухудшение психофизического состояния** [3].

Все вышесказанное приводит к негативным последствиям и поэтому данную проблему надо коренным образом менять.

В Заполярном государственном университете им. Н.М. Федоровского на базе кафедры физического воспитания созданы научно-исследовательский центр

«Экология здоровья», физкультурно-оздоровительная лаборатория по «Здоровьесбережению, управлению физическим, психическим, духовным развитием детей, подростков и студентов Норильского региона», которые занимаются мониторингом – постоянным наблюдением на ранних этапах за состоянием здоровья обучающихся [4]. На основе полученных данных **пройдет апробация и будет выпущена программа по физической культуре для обучающихся 1–11 классов**, в основе которой лежат фитнес-технологии для вариативной части (на примере школ Севера), готовятся методические рекомендации и создается система целенаправленного воздействия на организм обучающихся [5].

Целью исследования является: разработка и внедрение в практику инновационных адаптивно-оздоровительных и рекреационных технологий физической культуры и фитнеса для обучающихся в Арктической зоне.

Задачи:

- привлечение студентов к самостоятельным научным исследованиям, разработке научных методик и систематизации полученных знаний, в рамках мониторинга физического развития, психического, функционального состояния, физической работоспособности, диагностики сердечно-сосудистой, дыхательной системы и взаимообмена информацией в сфере здоровьесберегающих технологий;

- формирование мотивационно-ценностного отношения учащихся к здоровому образу жизни и направленное психолого-педагогическое сопровождение учебно-воспитательного процесса;

- прогнозирование психофизического развития, двигательной подготовленности и здоровья детей, подростков и студентов в соотношении с используемыми оздоровительными средствами и контролируемыми параметрами эффективности функционирования педагогической технологии;

- подготовка и переподготовка специалистов, работающих в области физической культуры и спорта, к инновационной деятельности в образовательных учреждениях и спортивных коллективах;

- системная просветительская работа для родителей по использованию технологий в домашних условиях;

- координация совместной деятельности преподавателей Заполярного государственного университета им. Н.М. Федорова и ученых Тульского государственного педагогического университета им. Л.Н. Толстого для повышения эффективности проводимой работы;

- сотрудничество и проведение совместных работ с научно-исследовательскими центрами России и зарубежных стран по данной проблеме;

- подготовка и издание книг, научно-методических и других материалов по результатам деятельности научно-исследовательского центра (НИЦ) «Экология здоровья».

Новизна. Аналогов в российской и европейской спортивно-оздоровительной практике не имеется. Работают оздоровительные центры, фитнес-центры, в которых используются фитнес-средства в ограниченном объеме, в основном для групповых занятий. При таких центрах, как правило, занимается весьма ограниченное количество детей за платные услуги. Существенным недостатком таких центров является отсутствие управляющего звена, без которого теряет смысл любая работа по оздоровлению.

Организация исследования. Научные исследования проводились в научно-исследовательском центре «Экология здоровья» ЗГУ им. Н.М. Федорова и образовательных учреждениях города Норильска с экспериментальными классами «СШ №29», «СШ №1», «Гимназия №3» и района Кайеркан «СШ №45», «Гимназия №11» в несколько этапов. В нем приняли участие 145 детей среднего и старшего школьного возраста, а также студенты 1–2 курса ЗГУ в

количестве 100 чел. по отобранным методикам. Подписан договор о сотрудничестве со «СШ №21» г. Норильска о проведении диагностики антропометрического развития, двигательной активности и функциональной готовности учащихся.

Разработанные в ходе реализации данного исследования научные, методические и организационно-практические материалы отражают запросы региона в создании высокоэффективной системы коррекции, оздоровления, физического и психического развития детей и молодежи.

Результаты исследования. На протяжении многих лет автором проводилась научно-исследовательская работа в области здоровьесберегающих технологий, где не последнюю роль играли исследования ритмо-волновых и пластических воздействий, которые доказали свою эффективность в положительном влиянии на организм учащихся, и подтверждаются результатами многих ученых занимающимися данными исследованиями.

Для проведения и обоснования физкультурно-оздоровительных средств при обследовании детей, подростков и молодежи применялось медицинское оборудование под непосредственным контролем фельдшера ЗГУ. Это приборы, диагностирующие ССС:

1. Ангио Скан 01М – диагностика сердечно-сосудистой системы: жесткость артериальной стенки, тип пульсовой кривой, сосудистый возраст, стресс, индекс симпатической нервной системы, концентрация кислорода в крови, частота сердечных сокращений.

2. Тонометром осуществлялась диагностика артериального давления (А/Д) max/min, (мм рт. ст.), применялась ортостатическая проба (медицинская кушетка – для определения функционального состояния).

3. Спирометром оценивали базовые дыхательные характеристики, а именно объем форсированного выдоха в течение 1-й секунды (ОФВ1).

4. Приборы, диагностирующие вегетативную нервную систему (прибор «МИСТ» профессиональный; аппарат для рефлексотерапии МИТ-1 (4-канальный)).

5. Приборы, определяющие физическое развитие: динамометр кистевой ДК-140-э – для измерения мышечной силы кисти, кг; ростомер складной мобильный SECA 217 – определение роста стоя, см; калипер электронный Твес кец-100-1-Д – для определения жировой прослойки; весы Xiaomi mi body composition scale – для определения массы тела и контроля веса тела; ступенька – гарвардский степ-тест для определения субмаксимальной нагрузки.

6. Приборы, диагностирующие гемодинамические характеристики: сономед 300 М, который является медицинским диагностическим прибором и предназначен для использования при ранней диагностике патологических изменений в сосудах путем определения гемодинамических характеристик кровотока.

7. Приборы, диагностирующие психофизиологические характеристики: аппаратно-программный комплекс «Спортивный психофизиолог» – исследование психофизиологических особенностей, психомоторных способностей обучающихся и психологических свойств личности.

8. Прибор, определяющий психофизиологическое состояние: тремограф – определяет тремор конечностей и координационные качества.

Полученные данные по индивидуальному соматическому, психическому и социальному здоровью заносятся в разработанный автором паспорт здоровья, подвергаются статистико-математической обработке с использованием компьютерных технологий, где даются рекомендации по укреплению здоровья, которые необходимо проводить на базе образовательного учреждения, в семье и лечебно-профилактическом учрежде-

нии, и который направляется в образовательное учреждение, где учится обследуемый.

На основе полученных данных разработана и отрецензирована образовательная программа по физической культуре с 1–11 классы, которая опирается на антропоэкобиоритмологическую модель и включает в себя структуру модели, характеристику распределения средств коррекционно-оздоровительной и развивающей направленности как фактора здоровьесберегающего обучения в экстремальных условиях жизнедеятельности Арктической зоны [3]. В основу программы входят **инновационные упражнения и оздоровительные системы** [6].

Программа рассчитана на несколько этапов:

1. Для 1–4 классов – дети осваивают технические элементы по аэробике, стретчингу, ритмопластике и т.д.

2. Следующий этап – 5–9 классы, здесь обучающиеся выполняют те действия, которые они уже освоили в начальной школе, изучают физиологическое воздействие на организм человека.

3. В 10–11-м классах школьники совершенствуют все пройденные технические элементы средств оздоровительной системы и физических упражнений под музыкальное сопровождение, осваивают методику проведения занятий по аэробике вместо инструктора.

Содержание программы включает в себя:

- 1) основы знаний;
- 2) классическую (базовая) аэробику;
- 3) футбол-аэробику;
- 4) степ-аэробику;
- 5) стретчинг;
- 6) глазодвигательную гимнастику;
- 7) идеомоторные упражнения;
- 8) пилатес;
- 9) бодифлекс;
- 10) ритмическая гимнастику;
- 11) дыхательная гимнастику;
- 12) элементы хореографии [7].

Из вышесказанного напрашивается вывод, что, используя интегративный принцип в обучении, воспитании и оздоровлении, настало время применять коррекционно-оздоровительные программы, которые оказывают положительное влияние на психофизиологическое состояние и организм в целом, для детей, проживающих в субэкстремальных условиях среды обитания.

Выводы:

1. Результаты проанализированной научной литературы и собственные научно-исследовательские данные, свидетельствуют о существенном влиянии природно-климатических условиях Крайнего Севера на организм обучающихся.

2. Проведена научно-исследовательская работа на базе ЗГУ им. Н.М. Федорова с помощью модераторов-студентов со школьниками и студентами с целью осуществления мониторинга антропометрических измерений, пульсоксиметрии, диагностики сердечно-сосудистой и дыхательной системы учащихся.

3. Разработана и экспериментально обоснована антропоэкобиоритмологическая модель, как фактор здоровьесберегающего обучения в экстремальных условиях жизнедеятельности. Рекомендовано применение на уроках физической культуры структуры и средств антропоэкобиоритмологической модели обучающихся в условиях Арктической зоны, позволяющих моделировать содержание основного и дополнительного учебного материала, в целях обеспечения адаптивного эффекта в зависимости от сезонных периодов природно-климатических условий Норильского региона.

4. Разработана и отрецензирована образовательная программа по физической культуре с 1–11 классы, в основе которой лежат фитнес-технологии для вариативной части обучающихся, проживающих в экстремальных условиях Арктической зоны.

5. Осуществлен дифференцированный подбор средств и методов коррекционно-оздоровительной направленности в разные сезонные периоды, который способствовал расширению устойчивости адаптационных возможностей организма детей к неблагоприятным воздействиям внешней среды, что повлияло на формирование и развитие двигательных

качеств, улучшение психофункционального состояния.

6. Анализ количественных и качественных изменений дает право предположить, что разработанная антропоэкобиоритмологическая модель может стать оценкой качества при определении физического здоровья и функционального состояния человека.

Список источников

1. Дубровин В.А. Антропоэкобиоритмология как направление в учебно-воспитательном процессе для обучающихся в условиях Арктической зоны // Научный вестник Арктики. 2021. №11. С. 92–98.

2. Дубровин В.А. Современные физкультурно-спортивные технологии, обеспечивающие эффективное оздоровление и развитие обучающихся Арктической зоны // Культура. Наука. Производство. 2020. №6. С. 33–37.

3. Дубровин В.А. Концептуальные предпосылки антропоэкобиоритмологической модели как показатель здоровьеразвивающего обучения обучающихся в условиях Арктической зоны // Культура физическая и здоровье. 2021. №4 (80). С. 105–109.

4. Дубровин В.А. Мониторинг физического состояния студентов и управление адаптационным процессом в условиях Крайнего Севера // Физическое воспитание и студенческий спорт глазами студентов: материалы VIII Международной научно-практической конференции (23–24 сентября 2022 г., г. Казань). Казань, 2022. С. 233–235.

5. Дубровин В.А. Инновационные технологии в контексте современных региональных программ по физической культуре для обучающихся в условиях Арктической зоны // Культура. Наука. Производство. 2020. №5. С. 96–101.

6. Дубровин В.А. Влияние биоритмологических факторов учебного процесса, как фактор сбережения здоровья школьников и

студентов, проживающих в условиях Крайнего Севера // Физическое воспитание и студенческий спорт глазами студентов: материалы VIII Международной научно-практической конференции (23–24 сентября 2022 г., г. Казань). Казань, 2022. С. 9–12.

7. Dubrovin V.A. Implementation of the Anthropological Potential of the Content of Pedagogic Subjects in the Training of Physical Education Teachers // Journal of Higher Education Theory and Practice. 2021. №21 (14). P. 50–56.

8. Дубровин В.А. Антропоэкобиоритмологическая модель как фактор здоровьесберегающего обучения при подготовке учителя физической культуры новой формации в условиях Арктической зоны // Студенчество в научном поиске: материалы XXVI научно-практической конференции обучающихся. Сургут: Сургутский государственный педагогический университет, 2021. С. 165–167.

9. Дубровин В.А. Методологические основы разработки антропоэкобиоритмологической модели как фактор здоровьесберегающей технологии обучающихся в условиях Арктической зоны // Психологическое здоровье человека: жизненный ресурс и жизненный потенциал: материалы VIII-й Международной научно-практической конференции (24–25 ноября 2021 г., г. Красноярск). Красноярск: Изд-во КГМУ им. В.Ф. Войно-Ясенецкого, 2022. С. 115–123.

References

1. Dubrovin V.A. Anthropocobiorhythmology as a direction in the educational process for students in the Arctic zone. *Scientific Bulletin of the Arctic*. 2021;(11):92–98. (In Russ.).
2. Dubrovin V.A. Modern physical culture and sports technologies that ensure effective health improvement and development of students in the Arctic zone. *Culture. Science. Production*. 2020;(6):33–37. (In Russ.).
3. Dubrovin V.A. Conceptual prerequisites of the anthropocobiorhythmological model as an indicator of health-developing training of students in the conditions of the Arctic zone. *Physical culture and health*. 2021;4(80):105–109. (In Russ.).
4. Dubrovin V.A. Monitoring of the physical condition of students and management of the adaptation process in the conditions of the Far North // Physical education and student sport through the eyes of students: materials of the VIII International Scientific and practical conference (September 23–24, 2022, Kazan). Kazan, 2022. Pp. 233–235.
5. Dubrovin V.A. Innovative technologies in the context of modern regional physical education programs for students in the Arctic zone. *Culture. Science. Production*. 2020;(5): 96–101. (In Russ.).
6. Dubrovin V.A. The influence of biorhythmological factors of the educational process as a factor of saving the health of schoolchildren and students living in the conditions of the Far North // Physical education and student sports through the eyes of students: materials of the VIII International Scientific and Practical Conference (September 23–24, 2022, Kazan). Kazan, 2022. Pp. 9–12.
7. Dubrovin V.A. Implementation of the Anthropological Potential of the Content of Pedagogical Subjects in the Training of Physical Education Teachers. *Journal of Higher Education Theory and Practice*. 2021;21(14):50–56.
8. Dubrovin V.A. Anthropocobiorhythmic model as a factor of health-saving education in the preparation of a teacher of physical culture of a new formation in the Arctic zone // Students in a scientific search: materials of the XXVI scientific and practical conference of students. Surgut: Surgut State Pedagogical University, 2021. Pp. 165–167.
9. Dubrovin V.A. Methodological foundations of the development of an anthropocobiorhythmic model as a factor of health-saving technology for students in the Arctic zone // Psychological human health: vital resource and vital potential: materials of the VIII-th International Scientific and Practical Conference (November 24–25, 2021, Krasnoyarsk). Krasnoyarsk: Publishing House of V.F. Voino-Yasenetsky KSMU, 2022. Pp. 115–123.

Научный вестник Арктики. 2024. №16. С. 87–91.
Scientific Bulletin of the Arctic. 2024;(16):87–91.

Естественно-научные дисциплины

Научная статья

УДК 33.06

doi: 10.52978/25421220_2024_16_87–91

**МОДЕЛИ ФИНАНСОВЫХ ОПЕРАЦИЙ,
АКТУАЛЬНЫЕ ПРИМЕРЫ**

Юрий Игоревич Дементьев

Московский государственный технический университет гражданской авиации, Москва, Россия

E-mail: yidem@mail.ru

Галина Анатольевна Лушникова

Московский государственный технический университет гражданской авиации, Москва, Россия

E-mail: lulev55@yandex.ru

Аннотация. Исследование современных моделей финансовых операций, актуальные примеры, использование консолидации платежей и общая задача изменения условий контрактов предполагают владение финансовой математикой. При этом важно понимание закономерностей и тонкостей финансовых операций для актуального их использования.

Ключевые слова: финансовая операция, консолидации платежей, финансовая эквивалентность обязательств и производимых платежей, уравнение эквивалентности, актуарный метод, «правило торговца», непрерывные потоки платежей.

Для цитирования: Дементьев Ю.И., Лушникова Г.А. Модели финансовых операций, актуальные проблемы // Научный вестник Арктики. 2024. №16. С. 87–91. https://doi.org/10.52978/25421220_2024_16_87–91.

Natural sciences

Original article

**MODELS OF FINANCIAL TRANSACTIONS,
CURRENT EXAMPLES**

Yuri I. Dementiev

Moscow State Technical University of Civil Aviation, Moscow, Russia

E-mail: yidem@mail.ru

Galina A. Lushnikova

Moscow State Technical University of Civil Aviation, Moscow, Russia

E-mail: lulev55@yandex.ru

Abstract. The study of modern models of financial transactions, current examples, the use of consolidation of payments and the general task of changing the terms of contracts, involves the possession of financial mathematics, while it is important to understand the patterns and subtleties of financial transactions for their actual use.

Keywords: financial transaction, consolidation of payments, financial equivalence of obligations and payments made, equivalence equation, actuarial method, «merchant's rule», continuous payment flows.

For citation: Dementiev Yu.I., Lushnikova G.A. Models of financial transactions, current examples // Scientific Bulletin of the Arctic. 2024;(16):87–91. (In Russ.). https://doi.org/10.52978/25421220_2024_16_87–91.

Финансовые операции в современном мире приобретают особое значение, усложняются, изменяются, моделируются финансовыми организациями. Эквивалентность потоков платежей порой не очевидна. Простейший случай – изменение размера вклада на счете. Другой пример связан с расчетами по кредиту, ведь редко бывает, чтобы кредитор ждал возврата всей суммы долга с процентами до конца срока. Рассмотрим то, что принято называть потоками платежей. В настоящее время всё чаще используется консолидация платежей.

Объединение задолженностей – это важнейшая финансовая операция в современных экономических условиях. Начнем с конкретной задачи, связанной с проблемой консолидации (объединения) задолженностей.

Пусть по условиям контракта для ликвидации задолженностей по ссудам, выданным под 24% годовых, заемщик должен был уплатить 200 тыс. руб. через 3 мес. после выдачи кредитов, 300 тыс. через 8 месяцев и еще 100 тыс. руб. через год. Однако через некоторое время стало ясно, что, ввиду некоторых обстоятельств, ему удобнее рассчитаться по всем кредитам через полгода. Какова сумма, которой должны быть одновременно погашены все эти кредиты?

Основная идея – это финансовая эквивалентность обязательств и производимых в действительности платежей, выраженная так называемым уравнением эквивалентности.

Для составления этого уравнения необходимо приравнять друг другу величины платежей, наращенных или дисконтированных на определенный момент времени.

Поясним эту идею на примере. В качестве базовой даты выберем вначале момент выдачи кредитов. Имеем:

$$\frac{200}{1 + 0,24 \cdot \frac{3}{12}} + \frac{300}{1 + 0,24 \cdot \frac{8}{12}} + \frac{100}{1 + 0,24} = \frac{S}{1 + 0,24 \cdot \frac{1}{2}},$$

откуда $S = 591298,5$ руб.

В данном случае уравнение эквивалентности имеет ясный смысл. Величины

$$P_k = \frac{S_k}{1 + it_{kn}}$$

являются размерами ссуд, выданных на срок t_k по ставке i , таким образом,

$$P = P_1 + P_2 + \dots + P_n -$$

это общий объем кредита, так что формула $S = (P_1 + P_2 + \dots + P_n) \cdot (1 + it)$ дает наращенное за время t значение долга.

Составим уравнение эквивалентности, выбрав в качестве базовой даты момент предполагаемого окончательного расчета. Имеем:

$$S = 200 \cdot \left(1 + 0,24 \cdot \frac{3}{12}\right) + \frac{300}{1 + 0,24 \cdot \frac{8}{12}} + \frac{100}{1 + 0,24} = 589747,3.$$

Получили сумму, которая, хотя и не очень значительно, но всё же меньше той, что была найдена по первому методу.

Общая формула имеет следующий вид, если S_k – суммы, которые должны быть выплачены в моменты времени t_k ,

$$k = 1, 2, \dots, n, t_{k-1} < t < t_k,$$

где t – дата расчета по всем платежам, то

$$S = S_1 \cdot (1 + i(t - t_{k-1})) + \dots + S_{k-1}(1 + i(t - t_{k-1})) + \frac{S_k}{1 + i(t_k - t)} + \frac{S_n}{1 + i(t_n - t)}.$$

Расчеты по краткосрочным кредитам.

Краткосрочный кредит в размере P выдан на срок t по ставке i . Предположим,

что в моменты времени $t_1, t_2, \dots, t_n$ заемщик делает промежуточные платежи $R_1, R_2, \dots, R_n$. Требуется найти сумму платежа для окончательного расчета по выданному кредиту.

Один из возможных вариантов связан с применением уравнения эквивалентности платежей.

Если в качестве базовой даты брать момент выдачи кредита, то получим уравнение:

$$P = \frac{R_1}{1 + it_1} + \dots + \frac{R_n}{1 + it_n} + \frac{R}{1 + it},$$

поэтому сумма R окончательного платежа определяется формулой:

$$R = P(1 + it) - \frac{1 + it}{1 + it_1} R_1 - \dots - \frac{1 + it}{1 + it_n} R_n.$$

Однако в финансовой практике применяются две другие стандартные схемы для определения размера окончательного платежа:

а) актуарный метод;

б) «правило торговца» (обычно применяемое при расчетах по кредитам на срок, не превышающий одного года).

Модель первая – актуарный метод.

Принцип, лежащий в основе определения размера окончательного платежа, состоит в том, что проценты по кредиту начисляются на фактическую сумму долга (сравните с начислением процентов по переменным вкладам!).

К примеру, предположим, что делаем всего один промежуточный платеж. К времени t_1 этого платежа сумма долга выросла до $P \cdot (1 + it_1)$. После того, как выплата сделана, долг уменьшился до $P_1 = P \cdot (1 + it_1) - R_1$. Проценты за время $t - t_1$ до даты окончательного расчета будут начисляться на сумму P_1 , тем самым долг возрастет до $P_1 \cdot (1 + i(t - t_1))$. Таким образом, сумма окончательного платежа по данному методу равна:

$$R_a = (P(1 + it_1) - R_1) \cdot (1 + i(t - t_1)) = P(1 + it_1) \cdot (1 + i(t - t_1)) - R_1(1 + i(t - t_1)).$$

Приведем пример. Пусть кредит в 100 тыс. руб. выдан на год под 24% годовых. Через 4 месяца был сделан платеж в 50 тыс. руб. Какова сумма, которую придется уплатить при окончательном расчете по данному кредиту?

За 4 месяца долг вырос до:

$$100(1 + 0,08) = 108 \text{ тыс. руб.}$$

После первого платежа он уменьшился до 58 тысяч. По прошествии 8 месяцев он составит $58(1 + 0,16) = 67,28$. Таким образом, сумма, которую следует уплатить при окончательном расчете, составляет 67280 руб.

Явная формула в общем случае имеет слишком громоздкий вид, вместо нее удобнее записать рекуррентное соотношение, в котором будут участвовать суммы S_k долга, остающегося после k -го платежа:

$$S_1 = P \cdot (1 + it_1) - R_1;$$

$$S_{k+1} = S_k \cdot (1 + i(t_{k+1} - t_k)) - R_{k+1};$$

$$R_a = S_n \cdot (1 + i(t - t_n)).$$

Используем этот алгоритм. Здесь r – массив, содержащий величины промежуточных платежей; t – массив дат (в месяцах) этих платежей (последнее элемент массива – дата окончательного расчета), для удобства через n обозначено число, на единицу большее, чем количество промежуточных платежей, s – массив оставшегося долга, так что $s[n]$ – это и есть сумма окончательного платежа:

```
actmetod=proc(P,n::integer,r::array,
t::array,n,i) local k,s,ra;
s:=array(1..n);
s[1]:=P*(1+i*t[1]/12);
for k from 2 to n do s[k]:=
=(s[k-1]-r[k-1])*(1+i*(t[k]-t[k-1])/12)
end do;
ra:=evalf(s[n]) end proc;
```

Пример применения:

```
P:=300000; i:=0.27; n:=3; r:=
=array([100000,150000]);
t:=array([4,8,12]); actmetod(P,r,t,n,i);
print(ra); 106198.7000.
```

Если размер промежуточного платежа меньше, чем проценты по долгу, начисленные за период, прошедший со времени предыдущего платежа, то сумма этого платежа присоединяется к следующему за ним.

Во многих пакетах прикладных программ (пакет Excel) имеются специальные разделы с финансовыми функциями, однако специалист по финансам должен не только уметь пользоваться подобными пакетами, но и понимать суть дела. Это важно, поскольку простая модель, описывающая финансовую операцию, не только облегчает вычисления, но и даёт возможность для анализа результатов исследуемой модели в зависимости от текущих значений параметров на финансовом рынке.

Модель вторая – правило торговца. В этом случае промежуточные платежи рассматриваются как своего рода обратные кредиты, предоставляемые кредитору, поэтому сумма окончательного платежа равна разности между суммой долга на момент расчета по кредиту и суммой, наращенной на промежуточные платежи с момента соответствующего платежа до даты расчета. Таким образом,

$$R_m = P(1 + it) - \sum_{k=1}^n R_k (1 + i(t - t_k)).$$

Сравним размеры окончательных платежей, сделанные по актуарному методу и по «правилу торговца» в частном случае, когда сделан один платеж. Имеем:

$$R_m = P(1 + it) - R_1(1 + i(t - t_1)),$$

тогда

$$R_a - R_m = P(1 + it) \cdot (1 + i(t - t_1)) - P(1 + it) = P^2 t_1(t - t_1).$$

В рассмотренном примере получим, что общая сумма долга составляет сумму $S = 100(1 + 0,24) = 124$ тыс. руб. Сумма, наращенная на промежуточный пла-

теж, составляет $50(1 + 0,16) = 58$ тыс. рублей, поэтому $R_m = 66000$ руб., что меньше, чем сумма, исчисленная по актуарному методу.

Модель третья – погашение долга непрерывным потоком платежей. Если P_0 – размер кредита, проценты на который начисляются непрерывно с силой роста $\delta(t)$, то формула наращения (определяющая размер долга в момент времени T) определяется по формуле:

$$S(t) = P_0 e^{\int_0^t \delta(t) dt}.$$

Теперь предположим, что погашение кредита производится путем непрерывного перечисления средств с плотностью $r(t)$, что означает, что за промежуток времени от t_1 до t_2 перечисляется сумма, равная $\int_{t_1}^{t_2} r(t) dt$. Таким образом, за малый промежуток $[t, t + \Delta t]$ будет перечислено примерно $\Delta S \approx r(t) \Delta t$ руб. Значит, если Δt мало, то

$$S(t + \Delta t) \approx S(t)(1 + \delta(t) \Delta t) - r(t) \Delta t,$$

откуда следует, что

$$\frac{S(t + \Delta t) - S(t)}{\Delta t} \approx \delta(t) S(t) - r(t).$$

Можно показать, что в пределе (при $\Delta t \rightarrow 0$) полученное приближенное равенство превратится в точное, таким образом, получаем линейное дифференциальное уравнение для суммы $S(t)$ долга, оставшегося к моменту времени t ,

$$\frac{dS}{dt} = S(t) \delta(t), \quad S(0) = P_0.$$

Как известно, решение полученной задачи Коши имеет вид:

$$S(t) = P_0 e^{\int_0^t \delta(t) dt} \left(R_0 - \int_0^t r(t) e^{-\int_0^t \delta(t) dt} dt \right).$$

Полученная формула имеет совершенно ясный экономический смысл. Интеграл

$$\int_0^t r(t) e^{-\int_0^t \delta(t) dt}$$

представляет собой дисконтированную на начальный момент сумму произведенных платежей, таким образом, разность, стоящая в скобках – это остаток долга, дисконтированный на начальный момент. Следовательно, $S(t)$ – это и есть остаток долга на момент времени T .

Рассмотрим в заключение задачу о погашении долга постоянным непрерывным потоком платежей за время T при постоянной силе роста δ . Значение $r = \text{const}$ определяется из уравнения:

$$r \int_0^T e^{-\delta t} dt = P_0,$$

откуда

$$r = \frac{\delta P_0}{1 - e^{-\delta T}}.$$

Вывод. Использование консолидации платежей и общая задача изменения условий контрактов предполагают владение финансовой математикой. При этом знании возможно понимание закономерностей и тонкостей финансовых операций, производимых с определёнными целями.

Список источников

1. Вавилов Н.А., Халин В.Г. *Mathematica 5.* для нематематиков*. СПб.: ОЦЭиМ, 2005. С. 52.
2. Булычева М.А., Иванов О.А. О методологии и методике построения курса высшей математики для студентов экономических специальностей вузов // *Образовательные технологии*. Вып. 2. Воронеж: Научная книга, 2005. С. 47–50.
3. 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.

4. Илларионова О.Г., Лушникова Г.А. Консолидация платежей и общая задача изменения условий контрактов // *Материалы Международной (заочной) научно-практической конференции «Проблемы и перспективы развития науки и образования в XXI веке»* / под ред. А.И. Вострецова. 2023. С. 36–43.
5. Люу Ю-Д. *Методы и алгоритмы финансовой математики*; пер. с англ. М.: БИНОМ: Лаборатория знаний, 2007. 751 с.
6. Цырульник Р.П., Клевцова Н.В., Лушникова Г.А. *Финансовая математика: учеб. пособие*; Норильский индуст. ин-т. Норильск: НИИ, 2012. 80 с.

References

1. Vavilov N.A., Khalin V.G. *Mathematica 5.* for non-mathematicians*. SPb: OTSEIM, 2005. P. 52.
2. Bulychева M.A., Ivanov O.A. On the methodology and methodology of building a course of higher mathematics for students of economic specialties of universities // *Educational technologies*. Iss. 2. Voronezh: A scientific book, 2005. Pp. 47–50.
3. Ivanov O.A., Lushnikova G.A. Economics and mathematics, modeling and programming, or an integrative course of financial calculations // *Educational technologies*. Iss. 2. Voronezh: Scientific Book, 2005. Pp. 50–55.
4. Illarionova O.G., Lushnikova G.A. Consolidation of payments and the general task of

- changing the terms of contracts // *Materials of the International (correspondence) scientific and practical conference «Problems and prospects of development of science and education in the XXI century»* / ed. by A.I. Vostretsov. 2023. Pp. 36–43.
5. Lu Yu-D. *Methods and algorithms of financial mathematics*; translated from English by M.: BINOM: Laboratory of Knowledge, 2007. 751 p.
6. Tsyrulnik R.P., Klevtsova N.V., Lushnikova G.A. *Financial mathematics: textbook. manual*; Norilsk industry. in-t. Norilsk, 2012. 80 p.

Научный вестник Арктики. 2024. №16. С. 92–99.
Scientific Bulletin of the Arctic. 2024;(16):92–99.

Естественно-научные дисциплины

Научная статья

УДК 517.442

doi: 10.52978/25421220_2024_16_92–99

ОПЕРАЦИОННОЕ ИСЧИСЛЕНИЕ КАК ИНСТРУМЕНТ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ПРИКЛАДНЫХ ЗАДАЧ

Анна Олеговна Боровицкая

Московский государственный технический университет гражданской авиации, Москва, Россия

E-mail: aostep77@mail.ru

Аннотация. В статье рассмотрено применение интегрального преобразования Лапласа к решению задачи Коши для обыкновенных дифференциальных уравнений и их систем, а также к вычислению несобственных интегралов. Поставлены и решены конкретные прикладные задачи из разных областей знаний и показана эффективность использования операционного метода в ряде случаев. Обоснована целесообразность изучения приложений операционного исчисления обучающимися естественно-научного, технического и экономического профиля.

Ключевые слова: операционное исчисление, интегральное преобразование Лапласа, оригинал, изображение, дифференциальные уравнения, задача Коши, несобственные интегралы.

Для цитирования: Боровицкая А.О. Операционное исчисление как инструмент для решения прикладных задач // Научный вестник Арктики. 2024. №16. С. 92–99. https://doi.org/10.52978/25421220_2024_16_92–99.

Natural sciences

Original article

OPERATIONAL CALCULUS AS A TOOL FOR SOLVING CERTAIN APPLICATION PROBLEMS

Anna O. Borovitskaya

Moscow State Technical University of Civil Aviation, Moscow, Russia

E-mail: aostep77@mail.ru

Abstract. The paper considers the application of the Laplace integral transform to the solution of the Cauchy problem for ordinary differential equations and their systems, as well as to the computation of integrals. Specific applied problems from different fields of knowledge are posed and solved and the efficiency of using the operational method in a number of cases is shown. The expediency of studying applications of operational calculus by students of natural science, technical and economic profile is substantiated.

Keywords: operational calculus, Laplace integral transform, original, image, differential equations, Cauchy problem, non-singular integrals.

For citation: Borovitskaya A.O. Operational calculus as a tool for solving applied problems. *Scientific Bulletin of the Arctic*. 2024;(16):92–99. (In Russ.). https://doi.org/10.52978/25421220_2024_16_92–99.

Введение. Для описания свойств и закономерностей процесса, прогнозирования поведения систем, изменяемых со временем, составляется и решается дифференциальное уравнение или системы уравнений. Дифференциальные уравнения позволяют описывать систему с учетом динамики и ее изменений. Именно решения уравнений дают функциональные зависимости или законы

описания изучаемых явлений, что позволяет предсказать поведение системы в определенных условиях, а по виду полученных уравнений можно сделать выводы о свойствах процесса. Несобственные интегралы, как обобщение определенного интеграла на случай функций, заданных на бесконечном промежутке и случай неограниченных функций, также обладают рядом геометрических, физических и экономических приложений и имеют важное прикладное значение во многих областях математики и физики. Например, интегралы Фурье

$$\int_0^{+\infty} (A(\omega)\cos\omega x + B(\omega)\sin\omega x) d\omega$$

используются в задачах импульсной техники, спектральном анализе, интеграл Эйлера-Пуассона $\int_0^{+\infty} e^{-x^2} dx$ – в решении краевых задач математической физики, гамма-функция $\Gamma(a) = \int_0^{\infty} x^{a-1} e^{-x} dx$ – в теории специальных функций, интеграл $\int_{-\infty}^{+\infty} e^{-\frac{x^2}{2}} dx$ – в теории вероятностей, а $\int_0^{\infty} \sin x^2 dx$ – в теории дифракции света. Также задачи, приводящие к несобственным интегралам, рассматривались в работах П. Ферма и Э. Торричелли (1644), О. Коши (1823), П. Дирихле, Дж. Стокса (1854).

Одним из самых мощных инструментов для решения поставленных прикладных физических, технических и экономических задач является аппарат операционного исчисления. С теоретическими основами данного метода, основными теоремами и свойствами преобразования Лапласа можно ознакомиться, например, в работе [1].

Интегральное преобразование Лапласа, как и другие интегральные преобразования, например, Фурье, Ханкеля, Конторовича-Лебедева, Мейера [2], значительно упрощает вычисление несобственных интегралов, помогает более рационально решать некоторые дифференциальные, интегральные и интегро-

дифференциальные уравнения и их системы, находить решение краевых задач для уравнений математической физики, представлять сигналы в спектральной плоскости, решать многие задачи диффузионной кинетики. Операционное исчисление можно применять также для широкого класса кусочно-непрерывных функций и функций, заданных графически, для решения уравнений с переменными коэффициентами, для суммирования рядов, для экспериментального и теоретического исследования характеристик электрических цепей и передачи сигналов по каналам связи. Основные приложения интегральных преобразований, а также решение типовых примеров и задач описаны в работах [3; 4]. При решении поставленных прикладных задач операционным методом, в отличие от классических методов математического анализа, быстро и наглядно при помощи простых алгебраических действий могут быть получены аналитические решения. В ряде случаев, когда не требуется полное решение проблемы, данный метод более эффективен и для получения асимптотических решений.

В статье рассматривается применение интегрального преобразования Лапласа к решению некоторых из перечисленных задач.

Инструменты и алгоритмизация метода. В основе операционного метода лежит идея замены изучаемой функции некоторой другой функцией, получаемой из первой с помощью интегрального преобразования. Алгоритм решения поставленных задач при помощи преобразования Лапласа состоит из следующих шагов:

1. Составление математической модели: получаем функциональные зависимости, условия и соотношения для функции-оригинала $f(t)$ в пространстве функций действительных переменных.

2. Применяем преобразование Лапласа (L -преобразование) $F(p) = \int_0^{\infty} f(t)e^{-pt} dt$ к

каждому соотношению и условию, используя таблицу и свойства преобразования.

3. Получаем функциональные зависимости, условия и соотношения для изображения $F(p)$ в пространстве функций комплексных переменных.

4. Решаем задачу (проводим исследование) относительно изображения $F(p)$.

5. Применяем обратное преобразование Лапласа (L^{-1} -преобразование):

$$f(t) = \frac{1}{2\pi i} \int_{c-i\infty}^{c+i\infty} F(p) e^{pt} dp.$$

6. Получаем решение поставленной задачи относительно функции-оригинала $f(t)$.

Итак, исследование функции $f(t)$ (оригинала) действительной переменной $t > 0$ (при $t < 0$ $f(t) = 0$) заменяется по определенному правилу, называемому преобразованием Лапласа, исследованием функции $F(p)$ (изображения) комплексной переменной p . При этом дифференцирование и интегрирование

функций времени заменяется операциями умножения или деления функций комплексного переменного на параметр p , а дифференциальные уравнения и их системы становятся алгебраическими, что значительно упрощает дальнейшие расчеты. Решается более простая задача и уже по найденному изображению, при помощи обратного преобразования Лапласа, восстанавливается оригинал и получается решение исходной задачи.

Тот факт, что функция $F(p)$ является изображением функции-оригинала $f(t)$, символично обозначается для прямого преобразования $f(t) \div F(p)$ или $f(t) \xrightarrow{L} F(p)$ (для обратного преобразования $F(p) \div f(t)$ или $F(p) \xrightarrow{L^{-1}} f(t)$).

Для нахождения изображений и оригиналов функций может быть использована таблица, которая несколько отличается от стандартных таблиц преобразований Лапласа, приведенных в различных источниках, поскольку адаптирована для решения практических задач, рассмотренных в статье.

Таблица оригиналов и изображений

Прямое преобразование Лапласа (переход от оригинала к изображению)	Обратное преобразование Лапласа (переход от изображения к оригиналу)
$f(t) \div F(p)$	$F(p) \div f(t)$
$t^n \div \frac{n!}{p^{n+1}}$ В частности $1 \div \frac{1}{p}; t \div \frac{1}{p^2}; t^3 \div \frac{6}{p^4}$ и т.д.	$\frac{1}{p^n} \div \frac{1}{(n-1)!} t^{n-1}$ В частности $\frac{1}{p} \div 1; \frac{1}{p^2} \div t; \frac{1}{p^3} \div \frac{1}{2} t^2; \frac{1}{p^4} \div \frac{1}{6} t^3$ и т.д.
$t^n e^{at} \div \frac{n!}{(p-a)^{n+1}}$ В частности $e^{at} \div \frac{1}{p-a}; te^{at} \div \frac{1}{(p-a)^2}; t^2 e^{at} \div \frac{2}{(p-a)^3}$	$\frac{1}{(p-a)^n} \div \frac{1}{(n-1)!} t^{n-1} e^{at}$ В частности $\frac{1}{p-a} \div e^{at}; \frac{1}{(p-a)^2} \div te^{at}; \frac{1}{(p-a)^3} \div \frac{1}{2} t^2 e^{at}$
$\sin bt \div \frac{b}{p^2 + b^2}$ или $\sin t \div \frac{1}{p^2 + 1}$	$\frac{1}{p^2 + b^2} \div \frac{1}{b} \sin bt$ или $\frac{1}{p^2 + 1} \div \sin t$

Прямое преобразование Лапласа (переход от оригинала к изображению)	Обратное преобразование Лапласа (переход от изображения к оригиналу)
$\cos bt \doteq \frac{p}{p^2 + b^2}$ или $\cos t \doteq \frac{p}{p^2 + 1}$	$\frac{p}{p^2 + b^2} \doteq \cos bt$ или $\frac{p}{p^2 + 1} \doteq \cos t$
$t \sin bt \doteq \frac{2pb}{(p^2 + b^2)^2}$ или $t \sin t \doteq \frac{2p}{(p^2 + 1)^2}$	$\frac{p}{(p^2 + b^2)^2} \doteq \frac{1}{2b} t \sin bt$ или $\frac{p}{(p^2 + 1)^2} \doteq \frac{1}{2} t \sin t$
$t \cos bt \doteq \frac{p^2 - b^2}{(p^2 + b^2)^2}$ или $t \cos t \doteq \frac{p^2 - 1}{(p^2 + 1)^2}$	$\frac{p^2 - b^2}{(p^2 + b^2)^2} \doteq t \cos bt$ или $\frac{p^2 - 1}{(p^2 + 1)^2} \doteq t \cos t$
$e^{at} \sin bt \doteq \frac{b}{(p - a)^2 + b^2}$ или $e^t \sin t \doteq \frac{1}{(p - 1)^2 + 1}$	$\frac{1}{(p - a)^2 + b^2} \doteq \frac{1}{b} e^{at} \sin bt$ или $\frac{1}{(p - 1)^2 + 1} \doteq e^t \sin t$
$e^{at} \cos bt \doteq \frac{p - a}{(p - a)^2 + b^2}$ или $e^t \cos t \doteq \frac{p - 1}{(p - 1)^2 + 1}$	$\frac{p - a}{(p - a)^2 + b^2} \doteq e^{at} \cos bt$ или $\frac{p - 1}{(p - 1)^2 + 1} \doteq e^t \cos t$

Решение задачи Коши для неоднородных линейных дифференциальных уравнений n -го порядка с постоянными коэффициентами и их систем. С уравнениями данного вида тесно связаны математические модели в экономике (например, модель рынка с прогнозируемыми ценами), в физике (например, моделирование механических и электрических колебаний) и других областях науки. Системы дифференциальных уравнений применяются для описания физических, химических, геологических и экономических процессов, если их изменения со временем происходит под воздействием нескольких факторов.

Рассмотрим задачу Коши. Найти решение $x = x(t)$ уравнения:

$$a_0 x^{(n)} + a_1 x^{(n-1)} + \dots + a_{n-1} x' + a_n x = f(t), \quad (1)$$

при заданных начальных условиях

$$x(0) = x_0, \quad x'(0) = x_1, \quad \dots, \quad x^{(n-1)}(0) = x_{n-1}. \quad (2)$$

Полагаем, что решение (1) $x(t)$ и функция $f(t)$, а также их производные до $(n-1)$ порядка включительно являются оригиналами, тогда, учитывая свойства линейности и дифференцируемости оригинала и начальные условия (2), можно перейти к изображениям:

$$\begin{aligned}
 x(t) &\doteq X(p), \quad f(t) \doteq F(p); \\
 x'(t) &\doteq pX(p) - x_0; \\
 x'' &\doteq p^2 X(p) - px_0 - x_1; \\
 &\dots\dots\dots \\
 x^{(n)}(t) &\doteq p^n X(p) - p^{n-1} x_0 - \\
 &\quad - p^{n-2} x_1 - \dots - x_{n-1}.
 \end{aligned} \quad (3)$$

Поэтому задача (1)–(2) переписывается в виде операторного уравнения:

$$A(p)X(p) = F(p) + B(p), \quad (4)$$

где $A(p) = a_0 p^n + a_1 p^{n-1} + \dots + a_{n-1} p + a_n$; $B(p)$ – многочлен порядка $(n-1)$, составленный из слагаемых, которые не содержали $X(p)$.

Решаем выражение (4), и исходная задача сводится к отысканию оригинала $x(t)$ по найденному изображению:

$$X(p) = \frac{F(p) + B(p)}{A(p)}.$$

Классические методы решения дифференциальных уравнений данного вида, такие как нахождение частного решения по виду правой части или универсальный метод вариации произвольной постоянной [5], в техническом плане весьма сложны, т.к. при подборе частного решения появляются громоздкие производные, которые нужно подставлять в левую часть уравнения, а во втором случае требуется нахождение определителя и вычисления интегралов. Операторным же методом задача сводится к простому алгебраическому уравнению (4) и дальнейшему отысканию оригинала по существующей таблице изображений при помощи обычных арифметических действий. Также не нужно дополнительно решать систему для нахождения произвольных постоянных, чтобы найти частное решение, поскольку начальные условия (2) учитываются автоматически.

Аналогично, при помощи преобразования Лапласа, можно решить и задачу Коши для систем линейных дифференциальных уравнений с постоянными коэффициентами.

Пример 1. Найти решение задачи Коши:

$$x'' + x' - 2x = 5(\sin t - \cos t);$$

$$x(0) = 6; x'(0) = 0.$$

Решим задачу операторным методом.

Используя таблицу и выражение (3), перейдем от оригиналов к изображениям:

$$x(t) \doteq X(p), x'(t) \doteq pX(p) - 6,$$

$$x''(t) \doteq p^2 X(p) - 6p,$$

$$f(t) = 5(\sin t - \cos t) \doteq$$

$$\doteq 5 \frac{1}{p^2 + 1} - 5 \frac{p}{p^2 + 1} = F(p).$$

Тогда получим операторное уравнение вида (4):

$$(p^2 + p - 2)X(p) = \frac{5 - 5p}{p^2 + 1} + 6p + 6,$$

здесь $A(p) = p^2 + p - 2$; $B(p) = 6p + 6$.

Решение данного уравнения

$$X(p) = \frac{6p^3 + 6p^2 + p + 11}{(p-1)(p+2)(p^2+1)}.$$

Для перехода от изображения к оригиналу методом неопределенных коэффициентов разложим операторное решение на сумму дробей:

$$X(p) = 4 \cdot \frac{1}{p-1} + \frac{1}{p+2} + \frac{p}{p^2+1} - 2 \cdot \frac{1}{p^2+1},$$

откуда по таблице для изображений получаем решение исходной задачи:

$$X(p) \doteq x(t) = 4e^t + e^{-2t} + \cos t - 2\sin t.$$

Пример 2. Пусть

$$x'' - 2x' = e^x(x^2 + x - 3);$$

$$x(0) = 2; x'(0) = 2.$$

Решаем операторным методом. Переходим от оригиналов к изображениям по таблице, с учетом выражения (3):

$$x(t) \doteq X(p), x'(t) \doteq pX(p) - 2,$$

$$x''(t) \doteq p^2 X(p) - 2p - 2,$$

$$f(t) = e^x(x^2 + x - 3) \doteq \frac{2!}{(p-1)^3} + \frac{1!}{(p-1)^2} - 3 \cdot \frac{1}{p-1} = \frac{7p-3p^2-2}{(p-1)^3} = F(p).$$

Получаем операторное уравнение вида (4):

$$(p^2 - 2p)X(p) = \frac{7p - 3p^2 - 2}{(p-1)^3} + 2p - 2,$$

здесь $A(p) = p^2 - 2p$; $B(p) = 2p - 2$.

Решение данного уравнения и его разложение на сумму простейших дробей имеет вид:

$$\begin{aligned} X(p) &= \frac{2p^3 - 8p^2 + 9p - 1}{(p-1)^3(p-2)} = \\ &= \frac{1}{p-2} + \frac{1}{p-1} - \frac{1}{(p-1)^2} - \frac{2}{(p-1)^3}. \end{aligned}$$

Откуда по таблице для изображений получаем решение исходной задачи:

$$X(p) \doteq x(t) = (1 - t - t^2)e^t + e^{2t}.$$

Пример 3. Найти частное решение неоднородной системы дифференциальных уравнений, удовлетворяющее заданным начальным условиям:

$$\begin{cases} x' = 4x + 6y - 1, \\ y' = 2x + 3y + 3; \\ x(0) = 0; y(0) = 2. \end{cases}$$

Перейдем от оригиналов к их изображениям:

$$\begin{aligned} x(t) &\doteq X(p), y(t) \doteq Y(p), \\ x'(t) &\doteq pX(p), y'(t) \doteq pY(p) - 2, \\ 1 &\doteq \frac{1}{p}, \quad 3 \doteq \frac{3}{p}. \end{aligned}$$

Получим операторную систему линейных алгебраических уравнений:

$$\begin{cases} (p-4)X(p) - 6Y(p) = -\frac{1}{p}; \\ -2X(p) + (p-3)Y(p) = \frac{2p+3}{p}, \end{cases}$$

решение которой легко найти, например, по формулам Крамера:

$$\begin{cases} X(p) = \frac{11p+21}{p^2(p-7)}; \\ Y(p) = \frac{2p^2-5p-14}{p^2(p-7)}. \end{cases}$$

Далее разложим решение на простейшие дроби и применим обратное

преобразование Лапласа, т.е. по таблице для изображений перейдем к оригиналам:

$$\begin{cases} X(p) = -2 \cdot \frac{1}{p} - 3 \cdot \frac{1}{p^2} + 2 \cdot \frac{1}{p-7} \doteq \\ Y(p) = \frac{1}{p} + 2 \cdot \frac{1}{p^2} + \frac{1}{p-7} \doteq \\ \doteq \begin{cases} x(t) = 2e^{7t} - 3t - 2; \\ y(t) = e^{7t} + 2t + 1. \end{cases} \end{cases}$$

Замечание. Аналогично решаются системы n дифференциальных уравнений с неизвестными $x_i(t)$ $i = 1, 2, \dots, n$. Следует отметить, что при помощи операционного метода можно найти не только частное решение задачи (1)–(2) (или системы), но и общее. Для этого достаточно в выражении (2) принять $x(0) = c_0, x'(0) = c_1, \dots, x^{(n-1)}(0) = c_{n-1}$, а если решается система, то $x_i(0) = c_i, i = 1, 2, \dots, n$. Операционный метод весьма полезен и для нахождения решений систем дифференциальных уравнений выше первого порядка, так как при применении классических методов математического анализа можно столкнуться со значительными трудностями.

Вычисление несобственных интегралов первого рода. При вычислении несобственных интегралов часто применяют трудоемкие методы математического анализа либо численными методами выполняют приближенные вычисления. Рассмотрим применение преобразования Лапласа для упрощения вычислений некоторых интегралов.

Пример 4. Найдем несобственный интеграл первого рода:

$$\begin{aligned} I &= \int_0^{\infty} e^{-at} \frac{\sin bt}{t} dt, \\ a &\geq 0, b \neq 0. \end{aligned}$$

Поскольку из таблицы получаем:

$$\frac{b}{(p+a)^2 + b^2} \doteq e^{-at} \sin bt,$$

то

$$\begin{aligned}
 I &= \int_0^{\infty} e^{-at} \frac{\sin bt}{t} dt = \int_0^{\infty} \frac{b}{(p+a)^2 + b^2} dp = \\
 &= \begin{cases} \text{при } b > 0, \arctg \frac{(p+a)}{b} \Big|_0^{\infty} = \\ \text{при } b < 0, -\arctg \frac{(p+a)}{|b|} \Big|_0^{\infty} = \end{cases} \\
 &= \frac{\pi}{2} - \arctg \frac{a}{b} \\
 &= -\frac{\pi}{2} \arctg \frac{a}{b}.
 \end{aligned}$$

Если $a = 0$, имеем:

$$\begin{aligned}
 I &= \int_0^{\infty} e^{-at} \frac{\sin bt}{t} dt = \int_0^{\infty} = \\
 &= \begin{cases} \text{при } b > 0, \int_0^{\infty} \frac{\sin bt}{t} dt = \frac{\pi}{2} \\ \text{при } b < 0, \int_0^{\infty} \frac{\sin bt}{t} dt = -\frac{\pi}{2} \\ \text{при } b = 0, \int_0^{\infty} \frac{\sin bt}{t} dt = 0 \\ \text{при } b = 1, \int_0^{\infty} \frac{\sin bt}{t} dt = \frac{\pi}{2} - \end{cases} \\
 &\quad \text{интеграл Дюамеля.}
 \end{aligned}$$

Пример 5. Вычислим несобственный интеграл с параметром:

$$I(t) = \int_0^{\infty} \frac{\cos tx}{x^2 + a^2} dx.$$

Переходим к изображениям по параметру t в подынтегральном выражении, по таблице:

$$\cos tx \doteq \frac{p}{p^2 + x^2},$$

тогда

$$\begin{aligned}
 I(t) &= \int_0^{\infty} \frac{\cos tx}{x^2 + a^2} dx = \\
 &= \int_0^{\infty} \frac{p}{(p^2 + x^2)(x^2 + a^2)} dp = \\
 &= \frac{p}{p^2 - a^2} \left(\int_0^{\infty} \frac{dx}{x^2 + a^2} - \int_0^{\infty} \frac{dx}{p^2 + x^2} \right) =
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{p}{p^2 - a^2} \left(\frac{1}{a} \arctg \frac{x}{a} - \frac{1}{p} \arctg \frac{x}{p} \right) \Big|_0^{\infty} = \\
 &= \frac{p}{p^2 - a^2} \left(\frac{1}{a} \cdot \frac{\pi}{2} - \frac{1}{p} \cdot \frac{\pi}{2} \right) = \frac{\pi}{2} \cdot \frac{1}{a(p+a)}.
 \end{aligned}$$

Перейдем от изображения к оригиналу, используя таблицу:

$$F(p) = \frac{\pi}{2a} \cdot \frac{1}{p+a} \doteq \frac{\pi}{2a} e^{-at} = I(t).$$

Замечание. Стоит отметить, что на последнем этапе решения задачи – восстановления функции-оригинала по полученному изображению – иногда могут возникнуть трудности. Не существует универсальных методов нахождения оригинала $f(t)$ для произвольного изображения $F(p)$. Для решения этой задачи применяют различные методы упрощения изображения (разложения дроби на простейшие), используют свойства преобразования Лапласа и теоремы, чтобы получить табличные изображения. Если же задача не решается аналитически, то применяют численные методы.

Выводы. При помощи операционного метода решается широкий спектр прикладных задач, где применение классических методов математического анализа могут быть неэффективны, а получение решения бывает крайне затруднительно. Преобразование Лапласа исследует не саму функцию-оригинал в области функций действительного переменного, а ее измененный интегральным преобразованием образ – изображение в области функций комплексного переменного. При этом все соотношения для оригиналов заменяются на более простые для их изображений, и при помощи алгебраических действий удастся решить сложные математические задачи.

Можно увидеть, что понимание ряда примеров может быть доступно даже школьнику, не нужно уметь дифференцировать, интегрировать и даже иметь представление о комплексных числах и функциях комплексной переменной. Достаточно владеть арифметическими и

алгебраическими действиями и методами, такими как преобразования алгебраических выражений, методом неопределенных коэффициентов для разложения дроби на простейшие и можно освоить применение данного метода для

упрощения решения многих прикладных задач.

Знание основ метода операционного (символического) исчисления и способы его применения являются хорошим подспорьем студентам технических и экономических специальностей.

Список источников

1. Эйдерман В.Я. Основы теории функций комплексного переменного и операционного исчисления. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2002. 256 с.

2. Волков И.К., Канатников А.Н. Интегральные преобразования и операционное исчисление: учебник. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002. 228 с.

3. Краснов М.Л., Киселев А.И., Макаренко Г.И. Функции комплексного переменного. Операционное исчисление. Теория устойчивости: учеб. пособие. М.: Наука, 1981. 305 с.

4. Деч Г. Руководство к практическому применению преобразования Лапласа и Z-преобразования с приложением таблиц, составленных Р. Гершелем; пер. с нем. М.: Наука, 1971. 288 с.

5. Бугров Я.С., Никольский С.М. Высшая математика. В 3 т. Дифференциальные уравнения. Кратные интегралы. Ряды. Функции комплексного переменного: учебник. Люберцы: Юрайт, 2016. 507 с.

6. Плескунов М.А. Операционное исчисление: учеб. пособие. М.: Юрайт, 2022. 141 с.

References

1. Eiderman V.Ya. Fundamentals of the theory of functions of complex variables and operational calculus. M.: FIZMATLIT, 2002. 256 p.

2. Volkov I.K., Kanatnikov A.N. Integral transformations and operational calculus: textbook. M.: Publishing House of Bauman Moscow State Technical University, 2002. 228 p.

3. Krasnov M.L., Kiselev A.I., Makarenko G.I. Functions of a complex variable. Operational calculation. The theory of sustainability: studies. manual. M.: Nauka, 1981. 305 p.

4. Dech G. A guide to the practical application of the Laplace transform and the Z-transform by the application of tables compiled by R. Herschel; trans. from German. M.: Nauka, 1971. 288 p.

5. Bugrov Ya.S., Nikolsky S.M. Higher Mathematics. In 3 volumes. Differential equations. Multiple integrals. Rows. Functions of a complex variable: textbook. Lyubertsy: Yurait, 2016. 507 p.

6. Pleskunov M.A. Operational research: textbook. the manual. M.: Yurait, 2022. 141 p.

Научный вестник Арктики. 2023. №16. С. 100–106.
Scientific Bulletin of the Arctic. 2023;(16):100–106.

Социогуманитарные науки

Научная статья

УДК 37.03:378

doi: 10.52978/25421220_2024_16_100–106

ВЛИЯНИЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ СРЕДЫ ТЕХНИЧЕСКОГО ВУЗА НА АКТИВИЗАЦИЮ РАЗВИТИЯ ЛИЧНОСТИ

Галина Анатольевна Лушникова

Московский государственный технический университет гражданской авиации, Москва, Россия

E-mail: lulev55@yandex.ru

Аннотация. Рассмотрены модели современного образования, которые конструируют образовательную среду технического вуза на практике, с учетом использования социальных ресурсов образовательного процесса. Определены аспекты влияния образовательной среды и ресурсов технического вуза для развития личности.

Ключевые слова: образовательная среда, общество, образование, личность, модели образования, социализация, активизация обучения.

Для цитирования: Лушникова Г.А. Влияние образовательной среды технического вуза на активизацию развития личности // Научный вестник Арктики. 2024. №16. С. 100–106. https://doi.org/10.52978/25421220_2024_16_100–106.

Humanities sciences

Original article

THE INFLUENCE OF THE EDUCATIONAL ENVIRONMENT OF A TECHNICAL UNIVERSITY ON THE ACTIVATION OF PERSONALITY DEVELOPMENT

Galina A. Lushnikova

Moscow State Technical University of Civil Aviation, Moscow, Russia

E-mail: lulev55@yandex.ru

Abstract. The article considers the models of modern education that construct the educational environment of a technical university in practice, taking into account the use of social resources of the educational process. The aspects of the influence of the educational environment and resources of a technical university for personal development are determined.

Keywords: educational environment, society, education, personality, educational models, socialization, activation of learning.

For citation: Lushnikova G.A. The influence of the educational environment of a technical university on the activation of personality development. *Scientific Bulletin of the Arctic*. 2024;(16):100–106. (In Russ.). https://doi.org/10.52978/25421220_2024_16_100–106.

Образование человека находится под влиянием двух основных факторов: индивидуальности, определенной природными задатками, и образовательной среды. Мало того, образовательная

среда естественно зависит от социальных и политических изменений в России и мире. Мотивация успешного обучения напрямую зависит от возможности применения своих знаний, необходимости

изучаемой специальности в современных условиях. Результаты образования нельзя гарантировать, можно лишь повысить вероятность их достижения за счет создания определённой образовательной среды.

Зададим себе вопрос: чем обусловлен повышенный интерес к техническому образованию на современном этапе? Ответ очевиден: необходимостью развития технического производства в России. Образовательная среда технического вуза способна подхватить и вынести на высокий профессиональный уровень изначальный интерес студентов. Это естественная, но непростая задача, которая объединяет руководство вуза, организационное, научное и педагогическое сообщество.

С точки зрения педагогики, задача – определить условия и использовать систему средств, реализация которых обеспечивает активизацию учения, повышение уровня интереса, эффективное овладение знаниями и способами познавательной деятельности за оптимальное время, т.е. необходима мобилизация интеллектуальных, нравственно-волевых и физических сил студентов.

Проблема активности в обучении решается на стыке педагогики и психологии. Одним из ведущих принципов психологии является принцип связи внешних, практических и внутренних, умственных процессов деятельности (Выготский Л.С., Теплов Б.М., Рубинштейн С.Л., Леонтьев А.Н.).

Среди психологов, которые занимались изучением внутренней структуры человеческой деятельности, в первую очередь следует назвать С.Л. Рубинштейна и А.Н. Леонтьева. В работе «Деятельность. Сознание. Личность» А.Н. Леонтьев указывает на роль потребности как предпосылки и регулятора деятельности [1]. Развивая теорию деятельности человека, А.Н. Леонтьев подчеркивает, что внешняя и внутренняя деятельность имеют одинаковое

строение. «Однако, – пишет он, – главное, что отличает одну деятельность от другой, состоит в различии их предметов» [2].

Предмет любой деятельности, по выражению А.Н. Леонтьева, является действительным мотивом, который всегда отвечает той или иной потребности.

Таким образом, понятие деятельности необходимо связать с понятием мотива, ибо деятельности без мотива не бывает. Познавательная потребность теснейшим образом связана с наличием устойчивых познавательных интересов. Интерес выступает как мощный побудитель активности личности. Автору представляется наиболее продуктивной позиция, которая рассматривает интерес как выражение отношения человека к окружающему миру.

В педагогике одни авторы рассматривают познавательную активность как деятельность, другие – как черту личности. Автор считает, что понятие «познавательная активность» следует рассматривать и как цель деятельности, и как средство ее достижения, и как результат.

Познавательная активность не является врожденной чертой – она формируется в процессе деятельности. Формируясь в процессе познавательной деятельности, познавательная активность в то же время влияет на качество этой деятельности.

Для учебного процесса высшей школы существенным является выяснение того, какие мотивы направляют познавательную деятельность студентов. По мнению Ю.К. Бабанского, в отличие от обучения в общеобразовательной школе, подготовка специалистов в условиях высшего учебного заведения строится на принципе «монотехнизма»: в вузе готовится не специалист вообще, а конкретный специалист [3].

О значении мотивации в обучении пишет С.И. Архангельский: «Мотивация познавательной деятельности характеризует собой отношение человека к тому

или иному проявлению действительности и связана с возникновением потребности к познанию. Интерес есть выражение направленности сознания человека в силу наличия у него взаимосвязанных систем отражения действительности. Если такая взаимосвязь существует, процесс познания совершается активно, если она нарушается, то интерес к изучению ослабевает, а затем может исчезнуть совсем» [4].

Воспитание интереса и любви к избранной профессии в высшей школе достигается путем выработки у студентов правильного представления об общественном значении и содержании работы в области своей профессии, о закономерностях ее развития; формирование у каждого студента убеждения в своей профессиональной пригодности, а также ясного понимания необходимости овладения всеми дисциплинами, видами подготовки, предусмотренными учебным планом вуза.

Решение проблемы активизации учебно-познавательной деятельности студентов на современном этапе социального развития требует системного подхода. В предлагаемую систему средств активизации входят:

- а) содержание предмета;
- б) методы и приемы обучения;
- в) формы организации учебной деятельности студентов.

Автор статьи 45 лет работает в техническом вузе. За эти годы, обучая студентов математике, изучая научные работы известных педагогов, составил систему, алгоритм стимулирования познавательной активности студентов [2].

Применительно к высшей технической школе, математический курс не только является базой технического высшего образования, но и способствует развитию логического мышления, что немаловажно для современного инженера. Кроме того, обучение высшей математике совпадает с началом обучения в вузе. Поэтому следует организовать процесс обучения, помочь студенту с первых

дней активизировать познавательную деятельность, обрести уверенность и добиться успеха.

Как хороши дети, которые стремятся к знаниям, какие умные глаза у них, когда они решают сложные математические задания. Эти ребята будут востребованы в любимой профессии, традиции вуза позволяют организовать взаимодействие студентов в научно-исследовательской работе, чтобы связать познавательный интерес, необходимость подготовки современных инженеров, обеспечить их конкурентоспособность.

История развития педагогики показывает, что принципы дидактики, выражая определенные объективные закономерности обучения, по мере развития психолого-педагогической науки приобретают более глубокое обоснование. Среди принципов, называемых С.И. Архангельским в книге «Учебный процесс в высшей школе, его закономерные основы и методы», принцип активности также не рассматривается как самостоятельный. Более того, автор соединяет его с принципами сознательности и самостоятельности. «Принцип сознательности обучения в высшей школе, – пишет он, – неразрывно связан с активностью и самостоятельностью студентов, с проявлением у них интереса, увлеченности, инициативных, творческих поисков, требовательности к себе» [4].

Проблема познавательной активности имеет особое значение для организации учебно-познавательной деятельности студентов, так как от будущего специалиста требуются самостоятельность, творческий подход, способность к научному исследованию. Активизация познавательной деятельности связана с активностью мышления, по мнению В.А. Сластёнина, учебный труд студентов оказывает преобразующее влияние, прежде всего на них самих, их личное формирование и развитие [5].

Творческая активность студента является результатом активизации его учебно-познавательной деятельности.

Рассматривая деятельность как взаимодействие между субъектом и воздействующей на него реальностью, А.Н. Леонтьев констатирует, что отражение реальности в сознании человека «является результатом не воздействия, а взаимодействия, т.е. результатом процессов, идущих как бы навстречу друг другу» [1].

Один из аспектов философской концепции деятельности имеет существенное значение не только для психологии, но и в дидактическом анализе взаимосвязи и взаимообусловленности мышления и знания, познания и практической деятельности в обучении [6].

Общую природу человеческой деятельности психологи понимают следующим образом: «Она мотивирована и управляется техническим отражением наличных объективных условий; представлением о том результате, на достижение которого она направлена; имеет свою эффективную регуляцию, непосредственно выражающую ее пристрастность» [1].

В частности, Л.С. Рубинштейн отмечал, что «специфическая психологическая проблематика в изучении человеческой деятельности связана, прежде всего, с вопросом о ее целях и мотивах. Поэтому в сферу психологического исследования входят и движения, и действия, и поступки людей, т.е. не только психическая, умственная деятельность, но и различные виды той практической деятельности, посредством которой люди изменяют природу и перестраивают общество. Однако предметом психологического изучения в них является только их специфически психологическое содержание, их мотивация и регуляция» [7].

Для учебного процесса высшей школы существенным является выяснение того, какие мотивы направляют познавательную деятельность студентов. Стимул ведущей идеи связан с необходимостью изучения студентами в даль-

нейшем основ своей профессии, т.е. обучение в профессионально-ориентированной среде.

Автор статьи много лет преподавал математику в Норильском индустриальном институте и с гордостью может заметить, что достойные выпускники этого вуза занимают заметное место в современной России. Развитие и функционирование наукоёмкого предприятия «Норильский никель» требовало от вуза достойных технически грамотных выпускников, и особенно эффективно была организована работа в период существования Завода-вуза. По мнению автора, и сейчас ЗГУ является кузницей кадров для известного предприятия. Норильчане, в силу семейных традиций, выбирают обучение на территории и возможность стабильного трудоустройства.

Автору посчастливилось продолжить свою педагогическую деятельность в Московском государственном техническом университете гражданской авиации. Причина высокого уровня мотивации студентов понятна – романтическая профессия. Действительно, студенты достойные, настроенные на овладение всеми знаниями и навыками своей профессии.

Важным стимулом познавательной активности и самостоятельности студентов является направленность интересов, их развитие и обоснование профессионального роста. Этому как нельзя лучше способствует применение полученных в вузовских аудиториях знаний на практике, что по традиции осуществляется в МГТУ ГА все годы его существования.

Осваивая современное производство, студенты убеждаются в необходимости академических знаний, в возможности на их основе сделать карьеру, осуществить свой личностный рост и состояться в жизни.

Научно-образовательный комплекс МГТУ ГА представляет собой инновационную форму сетевого взаимодействия отраслевой науки, образования и произ-

водства. Большую роль в качестве подготовки специалистов играет реальная авиационная техника, которой оснащен Учебный авиационный центр университета со своим парком воздушных судов.

Таким образом, эффективность профессиональной подготовки будущего инженера во многом зависит от мотивационного обеспечения учебного процесса. Автором проведено анкетирование студентов первого и второго курсов. Всего обработано 200 анкет. Выяснились основные мотивы студентов в момент поступления и в изменившихся условиях вызовов, возникших в авиационной отрасли, в связи с санкциями.

Опрос и анкетирование студентов были проведены в октябре 2021 г. (табл. 1). Однако в связи с политическими и социальными изменениями и вызовами было решено провести опрос и анкетирование в конце мая 2023 г. (табл. 2). Результаты анкетирования, в связи с изменением социальной среды, заметно изменились.

Наиболее предпочтительными в плане формирования профессиональной направленности студентов оказываются мотивы, связанные с ценностями выбранной профессии: интерес к содержанию профессии, проблемам данной области производства.

Таблица 1

Опрос и анкетирование, октябрь 2021 г.

Группы мотивов	Место	Процент
Социальные	1	39
Традиции семейные	5	7
Особенности профессиональной деятельности	2	27
Материальные	3	17
Престижные	4	10

Таблица 2

Опрос и анкетирование, май 2023 г.

Группы мотивов	Место	Процент
Социальные	1	51
Традиции семейные	0	0
Особенности профессиональной деятельности	3	16
Материальные	2	33
Престижные	0	0

Мотивы значимости наглядно продемонстрируем в диаграммах (рис. 1, 2).

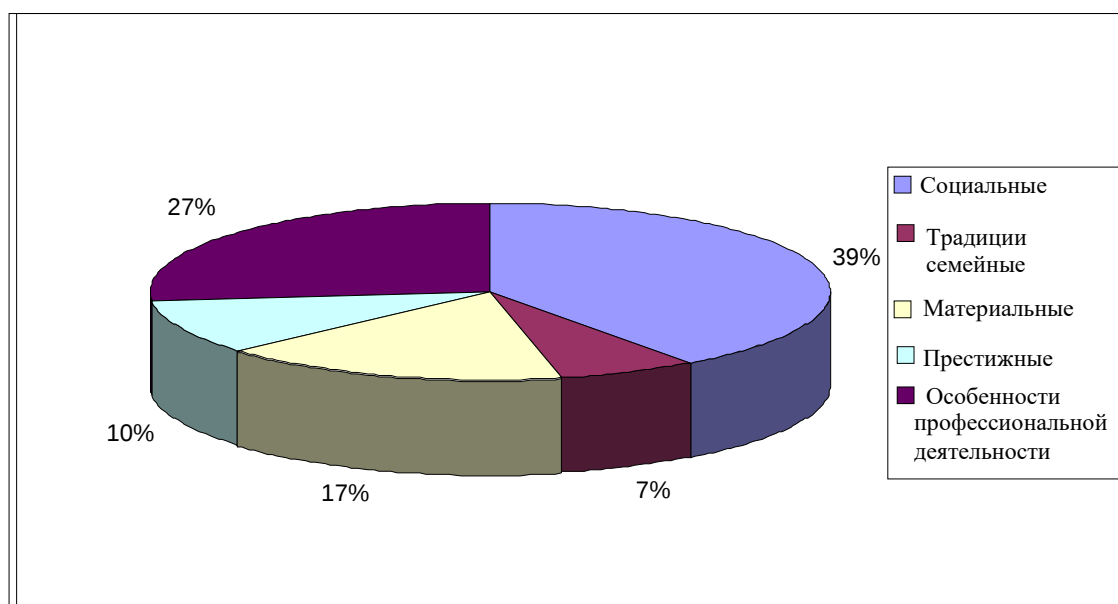


Рис 1. Результат анкетирования, октябрь 2021 г.

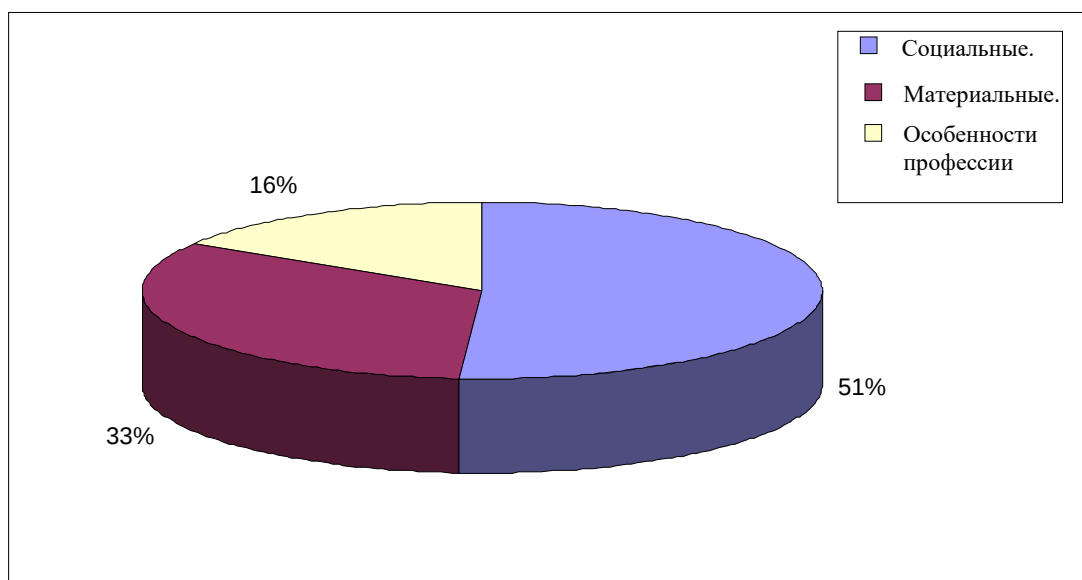


Рис. 2. Результат анкетирования, май 2023 г.

Мотивы значимости и пользы для общества будущей профессии посчитали самыми важными 51% студентов. Мотивы, связанные с особенностями профессиональной деятельности, практически не изменились. Чтобы оставаться востребованным на рынке труда, человек должен получать новые знания быстрее, чем это было ранее. Пересматриваются подходы к обучению, трансформируются образовательные модели. К ключевым задачам, которые стоят сегодня перед образованием, относятся создание моделей, отвечающих требованиям динамично изменяющегося рынка труда и потребностям человека, а также сокращение расходов за счет использования технологий, но социальные мотивы для студентов остаются приоритетными в структуре профессиональной мотивации.

В основе профессиональной мотивации могут лежать разнообразные виды потребностей: материальные, духовные, социальные. Это связано с тем, что потребности человека, во-первых, многообразны, во-вторых, они находятся в опре-

деленной взаимосвязи и взаимодействии с другими побуждениями в целостной системе профессиональной мотивации личности. По мере изменения социальной ситуации, связанной с политическими вызовами, потребности могут изменять свое значение и место в мотивационной сфере личности.

Анализ ответов студентов МГТУ ГА технических направлений подготовки показывает, что на первом плане остались социальные мотивы.

Характер развития высшего профессионального и особенно технического образования, этапы, сюжеты, факторы, определявшие теоретические и методические основы профессиональной подготовки специалиста, – все перечисленные явления представляют научный и практический интерес для разработки современных моделей профессиональной школы. История отечественного образования свидетельствует, что подготовка специалиста может успешно осуществляться в самых разных формах и на разных уровнях, но при этом основной вектор – техническое развитие и процветание России.

Список источников

1. Арнольд В.И. «Жесткие» и «мягкие» математические модели. М.: МНЦМО, 2000. 32 с.
2. Рубинштейн С.Л. Основы общей психологии. В 2-х т. М.: Педагогика, 1989. Т. 1. 488 с.

3. Сластёнин В.А., Подымова Л.С. Педагогика: инновационная деятельность. М.: Магистр, 1997. 224 с.

4. Бабанский Ю.К. Педагогика высшей школы. Ростов-н/Д.: Изд-во Рост.ун-та, 1972. 121 с.

5. Лушникова Г.А. Современное обучение с использованием лучших традиций технического вуза // Материалы Международной научной конференции 20-21 августа 2011 г. Хельсинки. М.; Хельсинки. 2011. С. 104–108.

6. Леонтьев А.Н. Деятельность. Сознание. Личность. М.: Мысль, 1975. 304 с.

7. Лушникова Г.А. Размышления о приоритетах профессионального образования, традиции и возможности // Научный вестник Арктики. 2017. №2. С. 50–54.

8. Лушникова Г.А. Система организации самостоятельной математической подготовки студентов вуза // Всероссийская конференция «Математика и общество. Математическое образование на рубеже веков», Дубна, сентябрь 2000. М.: МЦНМО, 2000. С. 467–569.

9. Архангельский С.И. Учебный процесс в высшей школе, его закономерные основы и методы. М.: Высшая школа, 1980. 369 с.

10. Архангельский С.И. Лекции по теории обучения в высшей школе. М.: Высшая школа, 1974. 382 с.

11. Асмус В.Ф. Проблема интуиции в философии и математике (Очерк истории: XVII–начало XX вв.). 2-е изд. М.: Мысль, 1965. 312 с.

References

1. Arnold V.I. «Hard» and «soft» mathematical models. M.: MNCMO, 2000. 32 p.

2. Rubinstein S.L. Fundamentals of general psychology. In 2 vol. M.: Pedagogy, 1989. Vol. 1. 488 p.

3. Slastenin V.A., Podymova L.S. Pedagogy: innovative activity. M.: Master, 1997. 224 p.

4. Babansky Yu.K. Pedagogy of higher education. Rostov-on-Don: Publishing House of Rostov.unita, 1972. 121 p.

5. Lushnikova G.A. Modern education using the best traditions of a technical university // Materials of the International Scientific Conference 20–21 August 2011, Helsinki. M.; Helsinki, 2011. Pp. 104–108.

6. Leontiev A.N. Activity. Awareness. Personality. M.: Mysl, 1975. 304 p.

7. Lushnikova G.A. Reflections on the priorities of professional education, traditions

and opportunities. *Scientific Bulletin of the Arctic*. 2017;(2):50–54.

8. Lushnikova G.A. The system of organizing independent mathematical training of university students // All-Russian conference «Mathematics and society. Mathematical education at the turn of the century», Dubna, September 2000. M.: ICNMO, 2000. Pp. 467–569.

9. Arkhangelsky S.I. The educational process in higher education, its logical foundations and methods. M.: Higher School, 1980. 369 p.

10. Arkhangelsky S.I. Lectures on the theory of higher education. M.: Higher School, 1974. 382 p.

11. Asmus V.F. The problem of intuition in philosophy and mathematics (An essay on history: XVII–early XX centuries). 2nd ed. M.: Thought, 1965. 312 p.

УВАЖАЕМЫЕ КОЛЛЕГИ!

ФГБОУ ВО «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 в редакционно-издательский отдел до **15.02** и **15.10** текущего года в соответствии с прилагаемыми требованиями для прохождения рецензирования.

Статьи, полученные редакцией позже указанного срока, будут рассматриваться для публикации в следующем номере журнала.

Представленные статьи проходят проверку в программе «Антиплагиат».

ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ПУБЛИКАЦИЙ

1. Автор высылает в редакцию печатный экземпляр статьи и идентичный вариант на диске или электронную версию статьи по электронной почте с указанием тематического направления. Статья должна быть подписана автором.

Каждый из авторов заключает лицензионный договор на право использования своего 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 (не более 3) и рисунки (не более 5), список литературы (не более 10–15 источников). Шрифт – Times New Roman, отчетливый, размер шрифта 14, через полуторный интервал.

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, на белой бумаге, и быть пригодным для прямого воспроизведения.

Таблицы должны иметь заголовки. Допускаются только общепринятые сокращения.

8. Библиографический список приводится в конце статьи в порядке упоминания. В тексте должны быть ссылки на литературу в квадратных скобках. Библиография должна быть оформлена согласно ГОСТ Р 7.05–2008.

9. Рукопись должна быть вычитана автором. Редакция оставляет за собой право в случае необходимости редактировать и сокращать статьи.

Уважаемые авторы, в случае невыполнения вышеперечисленных условий статья опубликована не будет!

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: rio@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 science.

You are invited to submit scientific contributions for the journal.

All correspondence concerning manuscripts should reach the Editorial Board 15.02 and 15.10 current year at the latest. The papers should meet the style requirements, otherwise they will not be considered. The submitted papers are not sent back.

The manuscripts received later will be considered for publication in the next issue.

REQUIREMENTS FOR FORMING MATERIALS FOR PUBLICATIONS

1. The author sends to the editorial office a printed copy of the article and an identical version on disk or an electronic version of the article by e-mail indicating the thematic direction. The article must be signed by the author.

Every author enters into a license contract for the right of the use of his intellectual activity. For authors from other cities, a sample contract is sent to the email address (a scanned copy of the contract, signed by the author, is sent to the editorial email address).

2. The article must be accompanied by its title, full names of the authors, abstract (no more than 5-6 lines), key words (no more than 10 words), bibliographic list.

3. Information about the authors should include: surname, name, patronymic, place of work, position, academic degree, scientific title, home and business address, phone numbers, email address. If there are several authors, indicate with which of them to correspond.

4. Information in English should include: full name of the author, article title, abstract, key words, list of references, place of work, position, academic degree, scientific title.

5. The size of articles should not exceed 16 A4 format pages of manuscript, including tables (not more than 3), drawing figures (not more than 5), references (not more than 10-15 sources). The manuscripts should be printed in size 14 font (Times New Roman), one-and-a-half spacing.

6. The article should contain the most necessary formulas. Only formulas with references are numbered.

7. Illustrative material should be convenient; all the details are clearly seen. Charts go with the titles. Only generally accepted abbreviations are allowed.

8. The bibliographic list is given at the end of the article in the order of mention. The text should contain references to the literature in square brackets. The bibliography must be formatted in accordance with National State Standard R7.05-2008.

9. The manuscript must be proofread by the author. The editors reserve the right, if necessary, to edit and shorten the articles.

Dear authors, if the above requirements are not met, the article will not be published!

Materials are published on a free basis. Authors are not charged for publishing articles.

Editorial Board,
Fedorovsky Polar State University.
50 Let Oktyabrya, 7
Norilsk, 663310
Krasnoyarsky Region, Russia
Phone: . 8(3919) 45-70-41, доб. 144
E-mail: rio@norvuz.ru

Научное издание

НАУЧНЫЙ ВЕСТНИК АРКТИКИ

Подписано в печать 02.05.2024.

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