

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РФ

**Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования**

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

НАУЧНЫЙ ВЕСТНИК АРКТИКИ

№13 2022

Норильск 2022

НАУЧНЫЙ ВЕСТНИК АРКТИКИ

Научно-практический журнал

№13 2022 год

Редакционная коллегия:

Главный редактор **В.Ю. Стеглянников**, к.п.н., проректор по образовательной деятельности и молодежной политике Заполярного государственного университета им. Н.М. Федоровского
Заместитель главного редактора **О.Н. Демченко**, к.филос.н., доцент, доцент кафедры философии, истории и иностранных языков Заполярного государственного университета им. Н.М. Федоровского

Члены редколлегий:

Добжанская О.Э., доктор искусствоведения, доцент, профессор кафедры искусствоведения Арктического государственного института культуры и искусства (г. Якутск)
Елесин М.А., к.т.н., доцент, зав. кафедрой строительства и теплогазоводоснабжения Заполярного государственного университета им. Н.М. Федоровского
Еременко В.А., д.т.н., профессор РАН, директор научно-исследовательского центра «Прикладной геомеханики и конвергентных горных технологий» Московского горного института НИТУ МИСиС
Носова О.В., к.с.-х.н., доцент, зав. кафедрой металлургии цветных металлов Заполярного государственного университета им. Н.М. Федоровского
Олейникова Н.В., д.т.н., доцент, профессор кафедры металлургии цветных металлов Института цветных металлов и материаловедения Сибирского федерального университета
Петухова Ж.Г., д.э.н., доцент, профессор кафедры экономики, менеджмента и организации производства Заполярного государственного университета им. Н.М. Федоровского
Пилипенко С.С., к.т.н., доцент, зав. кафедрой технологических машин и оборудования Заполярного государственного университета им. Н.М. Федоровского
Потапенков А.П., д.т.н., профессор, профессор кафедры технологических машин и оборудования Заполярного государственного университета им. Н.М. Федоровского
Сазыкин В.Г., д.т.н., профессор, профессор кафедры применения электроэнергетики Кубанского государственного аграрного университета (г. Краснодар)
Склянов В.И., к.т.н., доцент, доцент кафедры разработки месторождений полезных ископаемых Заполярного государственного университета им. Н.М. Федоровского
Федотова О.Д., д.п.н., профессор, зав. кафедрой «Начальное образование» Донского государственного технического университета (г. Ростов-на-Дону).
Шигадутов С.Х., д.ф.-м.н., доцент, зав. кафедрой физико-математических дисциплин Заполярного государственного университета им. Н.М. Федоровского

Журнал включен в Российский индекс научного цитирования (РИНЦ)

Журнал входит в базу данных (реферативный журнал) ВИНИТИ

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

Мнение редакции может не совпадать с мнением авторов.

Материалы публикуются в авторской редакции.

Издатель и учредитель: ФГБОУВО «Заполярный государственный университет им. Н.М. Федоровского»

Компьютерная верстка *Т.В. Телелева*

При оформлении обложки использовано фото *А. Харитонов*

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.

Адрес редакции:

663310, г. Норильск, ул. 50 лет Октября, 7
ФГБОУВО «Заполярный государственный университет им. Н.М. Федоровского».
Редакция журнала.

Тел. (3919) 47-39-44. Факс (3919) 42-17-41.

Адрес в Интернете: www.norvuz.ru

E-mail: rio_ngii@norvuz.ru

СОДЕРЖАНИЕ

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Туртыгина Н.А., Охрименко А.В., Цыганкова Д.Н.

Систематизация факторов, влияющих на стабильность качества рудопотока..... 5

Шевченко П.Р., Данилов О.С.

Перспективы использования импактных алмазов Попигайской астроблемы..... 15

Попов А.Н.

Разработка автоматической системы ультразвукового отпугивания норок с применением технологии компьютерного зрения..... 21

Плотников С.В., Барановская Е.Н.

Проверка адекватности имитационной модели промышленного узла нагрузки..... 29

Хамица А.С., Борисов Н.Н., Петров А.М.

Использование методик построения инженерных онтологий при эксплуатации электродвигателей..... 36

Петухова Ж.Г., Петухов М.В., Беляев И.С.

Искусственный интеллект в геотехническом мониторинге: настоящее и будущее..... 43

Крупнов Л.В., Бородин А.Д., Пономаренко А.А.

Определение возможности применения противопопригарных покрытий на основе графита в процессе отливки анодной меди..... 48

Уфатова З.Г., Севостьянова Е.А.

Исследование технологии вовлечения лежалых хвостов хвостохранилища №1 в металлургическое производство..... 54

Киселева О.В., Кривошеина Н.В.

Принципы формирования архитектуры общеобразовательных зданий с применением «зеленых» технологий в суровом климате..... 60

Мезенцев А.Ю., Устинов А.К., Семенякина Н.В., Мирошникова Л.К.

Выявление маркирующих признаков геодинамически активных зон в шахтных полях на основе морфоструктурного анализа отложений тунгусской серии..... 67

Пилипенко С.С., Вакуленко А.И.

Разработка и исследование редукторно-мультипликаторного гидропривода листовых ножниц..... 77

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

Новые тенденции утилизации диоксида серы в Норильском промышленном районе..... 83

Исаков Е.О., Федоров А.А.

Замена стального каната в стволе ВС-10 рудника «Скалистый» на канат из углеродного волокна..... 89

Туртыгина Н.А., Елизарьева А.П., Шаров С.А.

Исследования взрывоселекции рудо-породного массива с позиции стабилизации качества руд при добыче..... 94

Громов В.А., Семенов Т.В., Яшник И.Л., Петров А.М.

Измерительно-вычислительный комплекс нового поколения для диагностики термодинамических процессов многофазных потоков в трубопроводах..... 101

Беляев И.С., Паргачев А.И.

Создание платформы для расчета стоимости проектно-сметной документации в условиях Арктической зоны РФ..... 106

Туктарова Н.З., Данилов О.С.

Извлечение благородных и цветных металлов из техногенного сырья Норильского промышленного района..... 113

Уфатова З.Г., Шевченко П.Р., Самосенко И.В., Ефименко С.С.

Самовозгорание сульфидных руд при разработке глубоких месторождений Талнахского рудного узла..... 119

ЕСТЕСТВЕННОНАУЧНЫЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Брусков А.Л.

Угловое ускорение в сложном вращательном движении..... 123

CONTENTS

Technical sciences

<i>Turtygina N.A., Okhrimenko A.V., Tsygankova D.N.</i>	
Systematization of factors affecting the stability of the quality of ore flow.....	5
<i>Shevchenko P.R., Danilov O.S.</i>	
Prospects for the use of impact diamonds of the Popigai astrobleme.....	15
<i>Popov A.N.</i>	
Development of an automatic system for ultrasonic mink repellent using computer vision technology.....	21
<i>Plotnikov S.V., Baranovskaya E.N.</i>	
Checking the adequacy of the imitation model of the industrial load knot.....	29
<i>Khamitsa A.S., Borisov N.N., Petrov A.M.</i>	
Using methods for constructing engineering ontologies in the operation of electric motors.....	36
<i>Petukhova Zh.G., Petukhov M.V., Belyaev I.S.</i>	
Artificial intelligence in geotechnical monitoring: present and future.....	43
<i>Krupnov L.V., Borodin A.D., Ponomarenko A.A.</i>	
Determination of the possibility of using of mould washes based on graphite in the process of casting anode copper.....	48
<i>Ufatova Z.G., Sevostyanova E.A.</i>	
Research of technology of involvement of stale tailings of the tailings dump №1 in metallurgical production.....	54
<i>Kiseleva O.V., Krivosheina N.V.</i>	
Principles for forming the architecture of educational buildings with the use of «green» technologies in a hard climate.....	60
<i>Mezentsev A.Yu., Ustinov A.K., Semenyakina N.V., Miroshnikova L.K.</i>	
Of marker features of geodynamically active zones in mine fields on the basis on morphostructural analysis of deposits of the Tunguska series.....	67
<i>Pilipenko S.S., Vakulenko A.I.</i>	
Research and development of a reductive-multiplicative hydraulic drive for a sheet metal shears.....	77
<i>Gubina N.A., Vakulenko T.I., Ragimova R.K.</i>	
New trends in sulfur dioxide utilization in the Norilsk industrial region.....	83
<i>Isakov E.O., Fedorov A.A.</i>	
Replacement of a steel rope in the VS-10 shaft of the Skalisty mine with a carbon fiber rope.....	89
<i>Turtygina N.A., Elizarieva A.P., Sharov S.A.</i>	
Studies of explosive selection of ore-rock massif from the standpoint of ore quality stabilization during mining.....	94
<i>Gromov V.A., Semenov T.V., Yashnik I.L., Petrov A.M.</i>	
New generation measuring and computing complex for diagnosing thermodynamic processes of multiphase flows in pipelines.....	101
<i>Belyaev I.S., Pargachev A.I.</i>	
Creation of a platform for calculating the cost of design and estimate documentation in the conditions of the Arctic zone of the Russian Federation.....	106
<i>Tuktarova N.Z., Danilov O.S.</i>	
Extraction of precious and non-ferrous metals from technogenic raw materials of Norilsk industrial area.....	113
<i>Ufatova Z.G., Shevchenko P.R., Samosenko I.V., Efimenko S.S.</i>	
Spontaneous ignition of sulfide ores during mining deep deposits of the Talnakh ore center.....	119

NATURAL SCIENCES

<i>Bruskov A.L.</i>	
Angular acceleration in complex rotational motion.....	123

Научный вестник Арктики. 2022. №13. С. 5–14.
Scientific Bulletin of the Arctic. 2022;(13):5–14.

Технические науки

Научная статья
УДК 622.272.001.33:04
doi: 10.52978/25421220_2022_13_5–14

**СИСТЕМАТИЗАЦИЯ ФАКТОРОВ, ВЛИЯЮЩИХ
НА СТАБИЛЬНОСТЬ КАЧЕСТВА РУДОПОТОКА**

**Наталья Александровна Туртыгина¹, Александр Владимирович Охрименко²,
Дарья Николаевна Цыганкова³**

^{1,3}Заполяный государственный университет им. Н.М. Федоровского.

²ЗФ ПАО «ГМК «Норильский никель».

¹E-mail: natyrtigina@mail.ru.

²E-mail: Okhrimenko.av@mail.ru.

³E-mail: kada99@mail.ru.

Аннотация. В работе предложена наиболее полная систематизация факторов, влияющих на стабильность вещественного состава рудного сырья при его подземной добыче, что создаёт благоприятные условия для использования всего этого арсенала на практике с целью решения проблемы обеспечения достаточно высокого уровня качества рудного сырья.

Ключевые слова: геологическая изменчивость, технология, стабилизация качества, горнодобывающее производство, факторы, систематизация, месторождение, общешахтный рудопоток, подземная добыча.

Для цитирования: Туртыгина Н.А., Охрименко А.В., Цыганкова Д.Н. Систематизация факторов, влияющих на стабильность качества рудопотока // Научный вестник Арктики. 2022. №13. С. 5–14. http://dx.doi.org/10.52978/25421220_2022_13_5–14.

Technical sciences

Original article

**FACTORS AFFECTING THE LEVEL OF VARIABILITY
OF THE QUALITY OF EXTRACTED ORE RAW**

Natalia A. Turtygina¹, Alexander V. Okhrimenko², Daria N. Tsygankova³

^{1,3}Fedorovsky Polar State University.

²MMC Norilsk Nickel.

¹E-mail: natyrtigina@mail.ru.

²E-mail: Okhrimenko.av@mail.ru.

³E-mail: kada99@mail.ru.

Abstract. The paper proposes the most complete systematization of factors affecting the stability of the material composition of ore raw materials during its underground mining, which creates favorable conditions for the use of all this arsenal in practice.

Keywords: geological variability, technology, quality stabilization, mining production, factors, systematization, deposit, general mine ore flow, underground mining.

For citation: Turtygina N.A., Okhrimenko A.V., Tsygankova D.N. Systematization of factors affecting the stability of the quality of ore flow. *Scientific Bulletin of the Arctic*. 2022;(13):5–14. (In Russ.). http://dx.doi.org/10.52978/25421220_2022_13_5-14.

При формировании качества рудопотка на обогатительную фабрику особую значимость имеет стабильность качественных показателей в добытом рудном сырье. Под *стабилизацией качества* руды (рудной массы) следует понимать производственный процесс, состоящий из многих разнохарактерных, технологических операций и организационных мероприятий, направленных на обеспечение определённой степени однородности состава рудо-минерального сырья при заданном уровне среднего значения качества по всему объёму [1]. В работе на основании анализа литературных данных, личного опыта и логических рассуждений выполнена систематизация факторов, влияющих на стабильность качества рудопотока. Так, при подземной разработке рудных месторождений формирование показателей изменчивости качества в рудопотоке происходит в результате совокупного влияния в основном пяти групп факторов: *геологических (природные), технологических, информационных, организационно-технических и экономических*. На рис. 1 и 2 изображены перечисленные группы и наиболее важные их составляющие, влияющие на стабильность качества добытого полезного ископаемого, их более 40. Между многими из этих факторов существуют прямые взаимосвязи и взаимозависимости, причем среди них *управляемыми* в основном являются *технологические* и *организационно-технические* (рис. 1), т.е. факторы, на которые в той или иной мере возможны воздействия с целью изменения абсолютного значения качества (содержания). К

неуправляемым относятся геологические, информационные, а также экономические факторы (рис. 2).

Геологические факторы определяют геологическую изменчивость в объёме рудного тела (рис. 2, а), при этом величина этой изменчивости 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. На частоту колебания показателей качества в общешахтном рудопотоке оказывают влияние следующие составляющие – это наличие включений пустых пород и некондиционных руд, физико-технические свойства руд и примешивающихся к ним горных пород. С целью установления влияния природных условий рудных месторождений на уровень стабильности состава добытых руд в работе проведена количественная оценка геологической изменчивости качества богатых медно-никелевых руд Северной залежи С-2 Октябрьского месторождения. Глубина залегания залежи С-2 изменяется от 950 м до 1200 м, средняя мощность ее составляет 10,9 м, местами залежь подстилают медистые руды [5]. Богатые руды представляют собой сплошные сульфидные массы, заполняющие трещинные полости в подошвенной части интрузива и зоны его расщепления – жильные или оруденелые породы, окаймляющие сплошные сульфиды. Контакт богатых руд, как с вмещающими породами, так и с вкрап-

ленными и «медистыми» рудами, – резкий и устанавливается визуально по геологическим границам в процессе геологической документации керна скважин и подземных горных выработок. В качестве исходных материалов

были взяты данные эксплуатационной разведки, а также эксплуатационного опробования горных выработок (*профильные сечения и план залежи*).

а)



б)

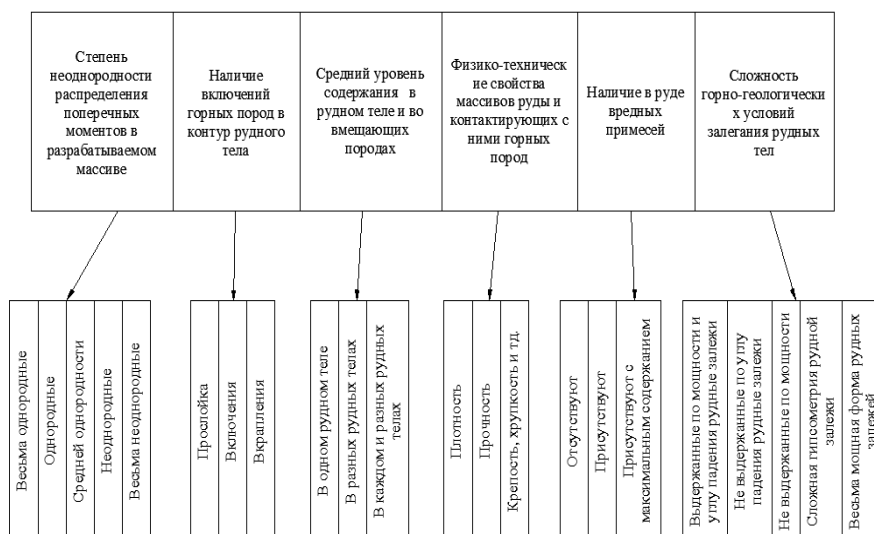


Рис. 1. Управляемые факторы, влияющие на стабильность качества рудопотока:

а – технологические; б – организационно-технические

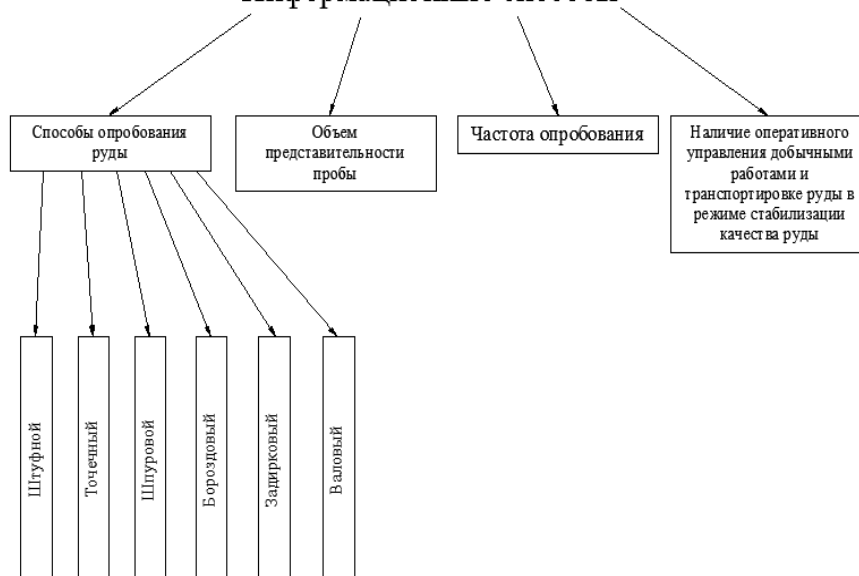
а)

Геологические факторы



б)

Информационные способы



в)

Экономические факторы

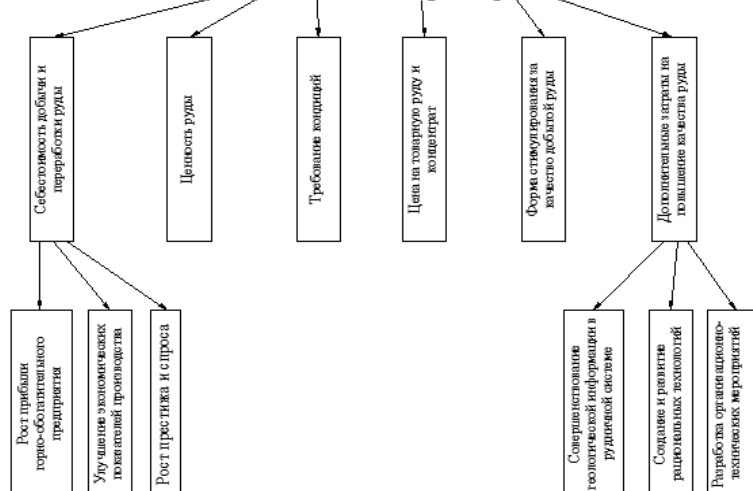


Рис. 2. Неуправляемые факторы, влияющие на стабильность качества рудопотока:
а – геологические; б – информационные; в – экономические

На рис. 3 представлено профильное сечение рудной залежи, на котором расположены пикеты: исходные данные и расчётные показатели приведены в табл. 1–2. Сложность залегания λ залежи определяли с помощью показателя сложности залегания рудного тела по формуле (1), учитывающий криволинейную форму контактов и его размеров:

$$\Delta' = \frac{\sum I}{\sum S}, \frac{m}{m^2}, \text{ или } m^{-1}, \quad (1)$$

где $\sum I$ – суммарная длина контакта рудной залежи; $\sum S$ – общая площадь рудного тела.

Характер неоднородности природной изменчивости качества в рудном массиве богатых медно-никелевых руд Северной залежи С-2 Октябрьского месторождения прослеживается на рис. 4.

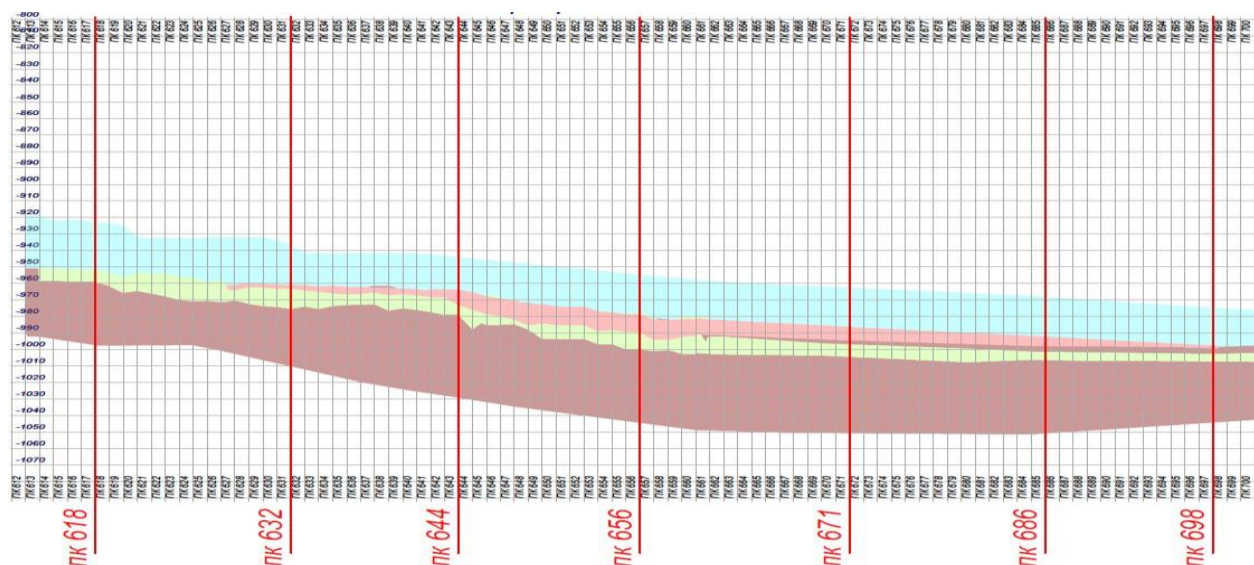


Рис. 3. Профильное сечение обрабатываемых панелей Северной залежи С-2 на руднике «Скалистый»

Таблица 1

Статистические показатели геологической изменчивости богатых руд

Профиль	Среднее содержание по профилю $\alpha_{ср}$, %		Показатель сложности залегания λ
	Ni	Cu	
1	4,57	3,84	0,04362738
2	3,52	3,77	0,0461675
3	3,41	3,06	0,04311467
4	1,88	2,49	0,05489783
5	1,43	2,47	0,24873634

Таблица 2

Статистические показатели по профильным сечениям

Показатели качества	Профиль				
	1	2	3	4	5
Среднеквадратичное отклонение Ni	0,60	0,90	0,75	1,12	0,99
Коэффициент вариации Ni	0,13	0,25	0,22	0,59	0,69
Среднеквадратичное отклонение Cu	0,48	0,68	0,26	1,01	0,56
Коэффициент вариации Cu	0,12	0,18	0,08	0,41	0,23

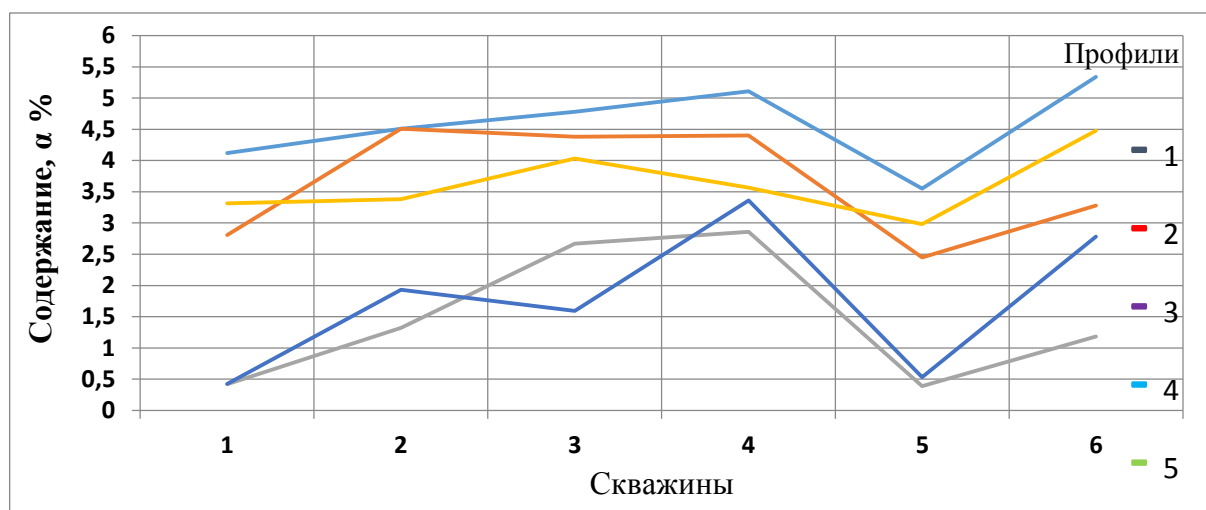


Рис. 4. Распределение содержания металлов в недрах залежи С-2 по профильным сечениям

«В результате исследований в работе установлено, что размах колебаний по профильным сечениям составляет соответственно 0,73 и 2,93% или в относительных величинах изменения составляют в 1,5–3 раза. Степень сложности условий залегания рудной залежи незначительная, показатель сложности залегания рудного тела составляет 0,085, однако среднеквадратичное отклонение содержания металлов в теле залежи составляет 0,27–1,13%, а коэффициент вариации – 8–69%.

Таким образом, залежь С-2 Октябрьского месторождения по уровню природной изменчивости качества богатых медно-никелевых руд относится к числу весьма сложных с позиции обеспечения стабильности вещественного состава рудной массы» [8, с. 12].

Информационные факторы – это прежде всего методы, средства и способы опробования руды со всех узловых пунктов технологической схемы рудника, а также наличие оперативного управления добычными работами и транспортом руды в режиме стабилизации качества. Опробование – получение информации о качестве руды в массиве при геологическом и эксплуатационном бурении скважин, в рудопотоке от забоя, в транспортных средствах, а также в общешахтном рудопотоке и опробовании

первичной переработки руды. Опробование характеризуется периодичностью (частота взятия проб и срок их обработки), информативностью (объем и качеством представленной информации) и объективностью (достоверностью отбора и обработки проб) [4].

Первоочередное решение задачи проблемы качества руды – это создание оперативной информационно-управляющей системы рудопотоками на горнодобывающем предприятии. «На рудниках компании ЗФ ПАО «ГМК «Норильский никель» в рамках проекта модернизации производства созданы центры планирования, задача которых с помощью информационных систем планировать, контролировать и оперативно корректировать горные работы. В целом структура информационной системы рудника представлена на рисунке ниже. Для выполнения задач, обеспечивающих повышение эффективности добычи полезных ископаемых и стабилизации качественных показателей в рудной массе, направляемой на обогащение, внедрен ряд горно-геологических информационных систем (ГГИС) и инструментов планирования, таких как Micromine (рис. 5) и GEOVIA MineSched, «Система ДСГ» – инструмент краткосрочного планирования на период декада–смена» [2, с. 15].

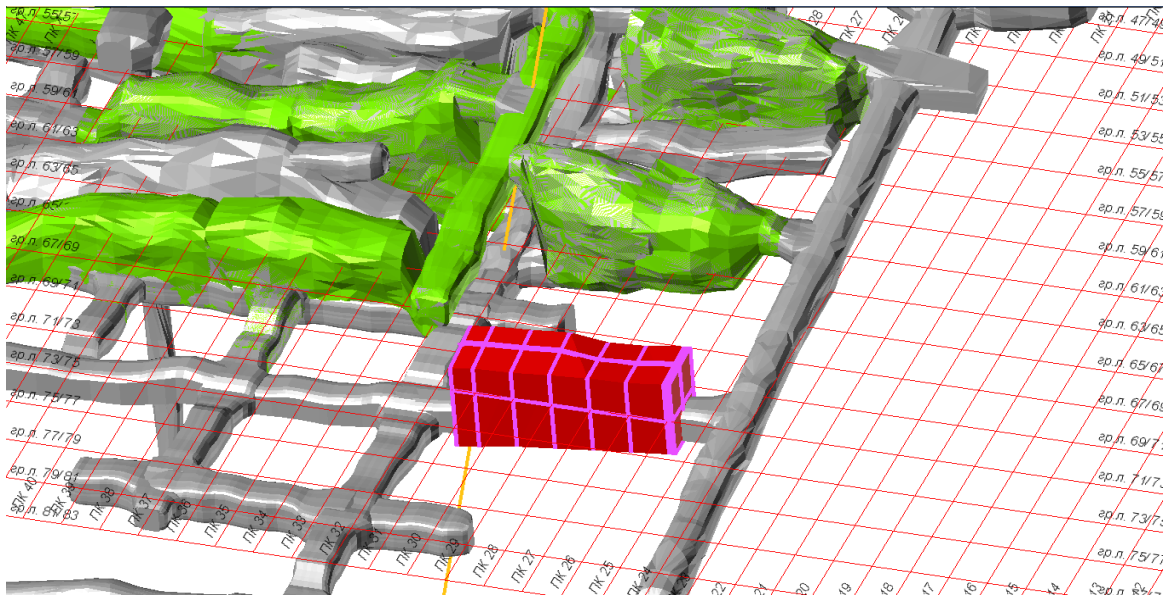


Рис. 5. Каркасные модели горных выработок в ПО Micromine
(серым цветом выделены участки отработки)

Безусловно, применение цифровых технологий повышает достоверность информации для составления календарных планов развития горных работ, однако в современных условиях действующая система получения информации о характеристиках руды должна быть реорганизована в направлении существенного повышения её оперативности с использованием достижений технического прогресса. Информационная рудничная система стабилизации качества рудопотоками должна включать подсистему текущего контроля качества руды по всем стадиям добычного процесса [3]. Этот блок модернизированной системы должен строиться с использованием радиометрических и электронных технических средств, обеспечивающих существенно более высокую оперативность и информативность получаемых данных. Оперативная информация о качестве и количестве руды в технологическом потоке должны поступать в соответствующие линейные службы своевременно, предваряя организационные и технологические управляющие действия.

Экономические факторы определяют в целом эффективность разработки месторождения, целесообразность принятия того или иного *горно-технологиче-*

ского (включая *техническое* и *организационное*) решения. Так, технико-экономическая эффективность стабилизации общешахтного рудопотока обеспечивает повышение прибыли горнодобывающего предприятия. В то же время экономические показатели добычи и переработки в большинстве случаев зависят от геологических и технологических факторов и от потребности в данном виде сырья, с колебанием цен, а также с другими народнохозяйственными преобразованиями вероятностного характера. В этой связи выше описанные факторы могут быть как определяющими, так и вторичными [7]. Так, при экономической оценке требований к качеству продукции для горно-металлургического комплекса в целом необходимо учитывать взаимную увязку различных требований к качеству полезного ископаемого и экономическую значимость отдельных производств в общей технологической цепи (добыча, обогащение, металлургический передел).

Технологические факторы обеспечивают качество и стабильность рудопотока. В результате ведения горных работ геологическая изменчивость качества руды трансформируется в производственную. Например, наибольшее влияние на изменение природного качества

полезного ископаемого оказывают система разработки, порядок выемки запасов на шахтном поле, а также наличие подземной дробильной установки. Горные системы с открытым забоем и с рудохранилищем характеризуются относительно небольшим разубоживанием руды, и, следовательно, при отработке формируется меньший размах колебаний показателя качества руды. При отработке рудного массива горными системами с массовым обрушением руды и вмещающих пород разубоживание руды достигает более 20% и, как правило, с увеличением размаха колебаний качества рудной массы. В случаях изначально хорошего дробления отбитой руды и последующего ее смешивания в производственной схеме рудника колебания качества руды в общешахтном рудопотоке для всех классов систем разработки уменьшаются. То есть на интенсивность естественного смешивания рудной массы при ее доставке и транспортировке существенное влияние оказывают способ разрушения рудного массива и размеры кусков руды, а также количество перегрузок и обходов рудной массы внутри горнодобывающего предприятия и на его поверхности.

Организационно-технические факторы дают возможность управлять и поддерживать качество и стабильность рудного потока. В свою очередь, стабильность качества в рудопотоке во многом зависит от типа смесителя. Одним из наиболее эффективных смесителей в руднике является рудоспуск. Натуральные исследования рудопотока в основных узлах технологической схемы рудника, представленной на рис. 6, показали, что после перепуска через рудоспуск коэффициент усреднения рудной массы составляет 1,8–2,4 [6]. Определяющее влияние на колебания качества в рудопотоке оказывает наличие в технологической схеме рудника автоматизированной системы управления внутришахтным транспортом (рис. 7). В этом случае регулирование качества общешахтного рудопотока выполняется диспетчером на базе цифровых технологий. Система в реальном времени позволяет в автоматическом режиме определять место загрузки/разгрузки, подсчитывать вес перевезенной рудной массы, определять простои и техническое состояние техники, а следовательно, контролировать сменные/суточные качественные и количественные показатели добычи [9].

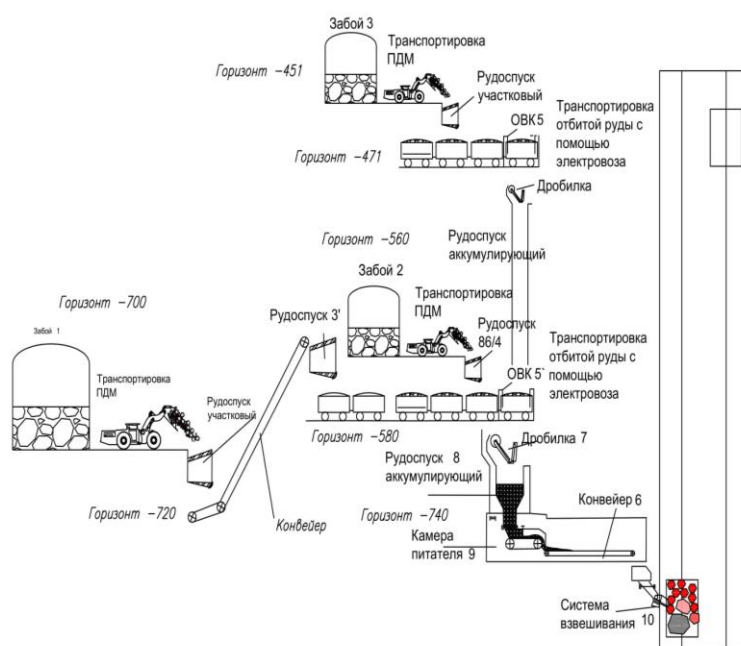


Рис. 6. Технологическая схема рудника

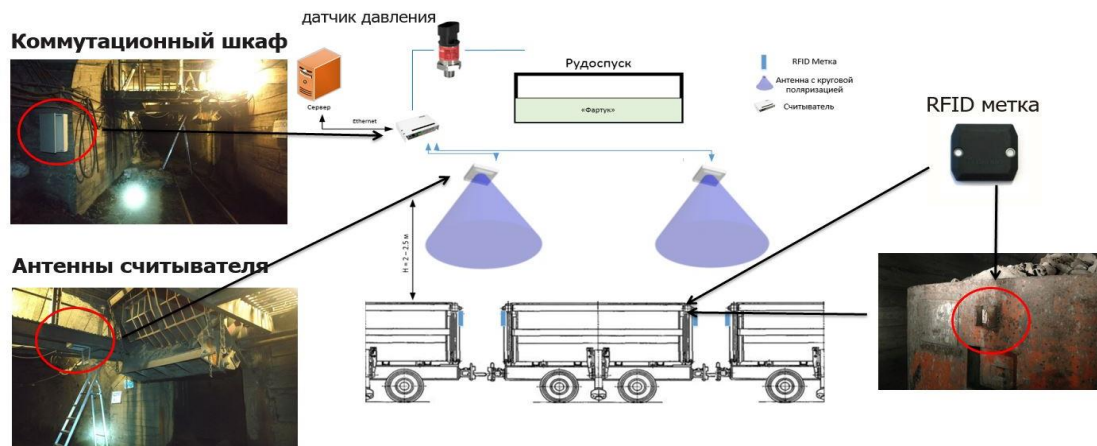


Рис. 7. Схема оборудования на участке внутришахтного транспорта (ВШТ)

Таким образом, в рассматриваемой работе выполнено обобщение опыта производства и научных исследований по стабилизации качества руд при подземной добыче. Предложена наиболее полная систематизация факторов, влияющих на стабильность качества рудопотока, и показано, что подземное горнодо-

бывающее производство имеет значительные и пока во многом недоиспользуемые резервы для существенного повышения качества своей продукции, максимальное практическое использование которых возможно при системном решении проблемы обеспечения достаточно высокого уровня качества рудного сырья.

Список источников

1. Ломоносов Г.Г. Улучшение качества продукции горнодобывающего производства как фактор повышения эффективности российского горноперерабатывающего комплекса // Рациональное освоение недр. 2015. №2. С. 51–61.
2. Обзор систем и инструментов цифровизации производства на примере центра планирования рудника «Комсомольский» / А.А. Маргиев, А.В. Охрименко, Д.М. Звонар, Р.Ш. Батралиев // Горный журнал. 2021. №2. С. 8–11.
3. Павлишина Д.Н., Шумилов П.А., Терещенко С.В. Разработка программного модуля «Управление качеством руды» // Сборник научных трудов КФ Петр ГУ. Апатиты: Изд-во КФ Петр ГУ, 2015. С. 27–30.
4. Алгоритм оперативного планирования на рудниках с использованием ПО MICROMINE / А.В. Проценко, Ж.Б. Байров, Л.Г. Зартенова, Н.В. Проценко // Экономика и управление в XXI веке: тенденции развития. 2017. С. 143–149.
5. Стратегический план развития компании ЗФ ПАО «ГМК «Норильский никель».

URL: <https://www.nornickel.ru/company/strategy/> (дата обращения: 04.12.2022).

6. Туртыгина Н.А. Моделирование процесса смешивания при выпуске рудной массы // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2021. №1. С. 146–159.
7. Distribution analysis of rock fragments size based on the digital image processing and the kuzram model cas of jebel medjounes quarry / F. Mohamed, B. Riadh, S. Abderazak, N. Radouane, S. Mohamed, T. Ibsa. *Aspects in Mining & Mineral Science*. 2018;2(4):325–329.
8. Turtygina N., Okhrimenko A. Assessment of the complexity of occurrence and geological variability of the quality of high-grade ores during the development of the C-2 deposit. *East European Scientific Journal*. 2021;(11(75)):9–15.
9. Горная промышленность: [сайт]. URL: <https://mining-media.ru/ru/> (дата обращения: 03.11.2022).
10. Горный журнал: [сайт]. URL: <http://www.rudmet.ru/catalog/journals/1/> (дата обращения: 04.18.2022).

References

1. Lomonosov G.G. Improving the quality of mining products as a factor in improving the efficiency of the Russian mining processing complex. *Rational development of the subsoil*. 2015;(2):51–61.
2. Overview of systems and tools for digitalization of production on the example of the planning center of the Komsomolsky mine / A.A. Margiev, A.V. Okhrimenko, D.M. Zvonar, R.S. Batraliev. *Mining Journal*. 2021;(2):8–11.
3. Pavlishina D.N., Shumilov P.A., Teschenko S.V. Development of the software module «Ore quality management» // Collection of scientific papers of the KF Peter GU. Apatity: Publishing House of the CF Peter GU, 2015. pp. 27–30.
4. Algorithm of operational planning at mines using MICROMINE software / A.V. Protsenko, Zh.B. Bayrov, L.G. Zartenova, N.V. Protsenko // Economics and management in the XXI century: development trends. 2017. pp. 143–149.
5. Strategic Development Plan of the ZF Company of PJSC MMC Norilsk Nickel: [website]. URL: [https://www.nornickel.ru / company/strategy/](https://www.nornickel.ru/company/strategy/) (accessed: 04.12.2022).
6. Turtygina N.A. Modeling of the mixing process during the release of ore mass. *Mining information and analytical bulletin*. 2021;(1):146–159.
7. Distribution analysis of rock fragments size based on the digital image processing and the kuzram model cas of jebel medjounes quarry / F. Mohamed, B. Riadh, S. Abderazak, N. Radouane, S. Mohamed, T. Ibsa. *Aspects in Mining & Mineral Science*. 2018;2(4):325–329.
8. Turtygina N., Okhrimenko A. Assessment of the complexity of occurrence and geological variability of the quality of high-grade ores during the development of the C-2 deposit. *East European Scientific Journal*. 2021;(11(75)):9-15.
9. Mining industry: [website]. URL: [https://mining-media.ru/ru /](https://mining-media.ru/ru/) (date of publication: 03.11.2022).
10. Mining journal: [website]. URL: [http://www.rudmet.ru/catalog/journals/1 /](http://www.rudmet.ru/catalog/journals/1/) (accessed: 04.18.2022).

Научный вестник Арктики. 2022. №13. С. 15–20.
Scientific Bulletin of the Arctic. 2022;(13):15–20.

Технические науки

Научная статья
УДК 332.14:537.86
doi: 10.52978/25421220_2022_13_15–20

**ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИМПАКТНЫХ АЛМАЗОВ
ПОПИГАЙСКОЙ АСТРОБЛЕМЫ**

Павел Романович Шевченко¹, Олег Сергеевич Данилов²

^{1,2}Заполярный государственный университет им. Н.М. Федоровского.

Аннотация. В статье проанализированы перспективы добычи и использования уникального полезного ископаемого Попигайского месторождения Российской Федерации – импактных алмазов. Данное сырье в силу своих уникальных физико-технических характеристик весьма востребовано в различных сферах народного хозяйства и имеет значительный экономический потенциал на рынке. Ключевыми проблемами добычи импактных алмазов являются, во-первых, транспортная труднодоступность месторождения, во-вторых, низкая эффективность применения традиционных методов добычи алмазного сырья. Для извлечения полезного ископаемого авторами работы предложено использование энергии электромагнитного микроволнового излучения.

Ключевые слова: Попигайское месторождение, импактные алмазы, сверхабразивность, электромагнитное микроволновое излучение, экономический потенциал.

Для цитирования: Шевченко П.Р., Данилов О.С. Перспективы использования импактных алмазов Попигайской астроблемы // Научный вестник Арктики. 2022. №13. С. 15–20. http://dx.doi.org/10.52978/25421220_2022_13_15–20.

Technical sciences

Original article

**PROSPECTS FOR THE USE OF IMPACT DIAMONDS
OF THE POPIGAI ASTROBLEME**

Pavel R. Shevchenko¹, Oleg S. Danilov²

^{1,2}Fedorovsky Polar State University.

Abstract. The article analyzes the prospects for the extraction and use of the unique mineral of the Popigai deposit of the Russian Federation – impact diamonds. Due to its unique physical and technical characteristics, this raw material is in high demand in various spheres of the national economy and has significant economic potential on the market. The key problems of impact diamond mining are, firstly, the transport inaccessibility of the deposit, and secondly, the low efficiency of using traditional methods of extraction of rough diamonds. The author of the work proposed the use of electromagnetic microwave radiation energy for the extraction of minerals.

Keywords: Popigayskoye deposit, impact diamonds, superabrasivity, electromagnetic microwave radiation, economic potential.

For citation: Shevchenko P.R., Danilov O.S. Prospects for the use of impact diamonds of the Popigai astrobleme. *Scientific Bulletin of the Arctic*. 2022;(13):15–20. (In Russ.). http://dx.doi.org/10.52978/25421220_2022_13_15-20.

Попигайское месторождение является самым большим месторождением импактных алмазов на планете. Предварительные оценки говорят о 212 млрд. карат, скрытых под поверхностью земли. Кратер был образован вследствие падения метеорита примерно 38,7 млн. лет назад. Впервые был обнаружен в 1946 г. геологом Д.В. Кожевниковым и считался давно потухшим вулканом. Попигайская котловина расположена на севере Сибирской платформы, в северо-восточной краевой части Анабарского щита, в бассейне рек Хатанги, в долине ее правого притока Попигай [1].

На рис. 1, 2 представлено местоположение месторождения на карте и его ландшафт.

Импактные алмазы, впоследствии названные импактитами, являются уникальной горной породой, сформированной под совместным влиянием огромного давления (около 100 ГПа) и температуры (несколько тысяч градусов) в результате падения массивного метеорита. Импактиты преимущественно состоят из стекла или продуктов его изменения. Различают две разновидности импактитов: зювиты (обломочные) и тагамиты (массивные). Внешний вид алмазов приведен на рис. 3, 4 [2; 3].



Рис. 1. Расположение Попигайского месторождения импактных алмазов



Рис. 2. Ландшафт Попигайского месторождения импактных алмазов

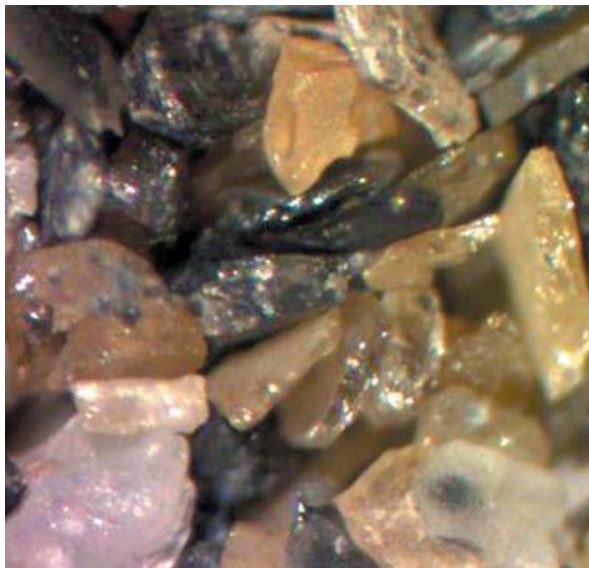


Рис. 3. Частицы импактных алмазов (размер 100–200 мкм)



Рис. 4. Крупный импактный алмаз (размер около 1 см)

Ключевым уникальным свойством импактных алмазов, благодаря чему они востребованы в промышленности, является их сверхабразивность. На рис. 5 приведена диаграмма сравнения абразивной способности микропорошков импактного алмаза по сравнению с микропорошками синтетического алмаза (данные взяты из источника [2]).

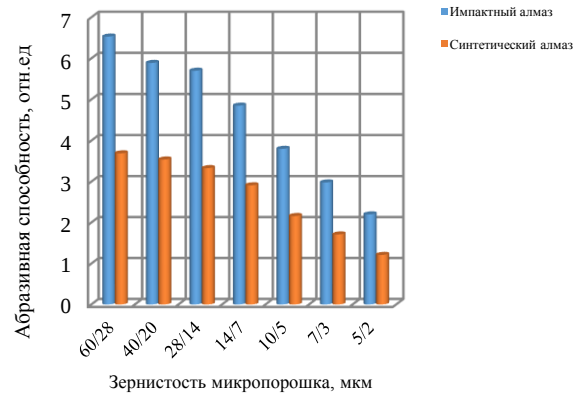


Рис. 5. Диаграмма сравнения абразивной способности микропорошков импактного алмаза и искусственного алмаза

Рассмотрим преимущества импактитов и их эффективность по сравнению с синтетическими алмазами. Изначально попигайские алмазы рассматривались только как абразивный материал. А все из-за того, что они не имеют ничего общего между алмазами, добытыми из кемберлитовых трубок или россыпей. Они отличаются по происхождению и физическим свойствам.

Так, например, если заменить синтетические алмазы на буровых коронках на импактиты, то получим увеличение их срока службы и скорости бурения, в то же время уменьшим количество спуско-подъемных операций. При этом необходимо подчеркнуть, что приведенные показатели могут увеличиваться (уменьшаться) вплоть до 50% по сравнению с величинами, существующими сейчас в буровой отрасли.

Конечно, область применения импактитов не ограничивается только использованием их в буровых коронках, их можно применять в обработке металла,

изготовлении резисторов, быстродействующих интегральных систем для компьютеров, производства сверхабразивных инструментов [4].

В целом рыночный потенциал рассматриваемого сырья в различных отраслях народного хозяйства значителен

и, согласно данным [2], составляет как минимум 200 млрд. дол. США в год. Более подробно стоимостные рыночные объемы применения импактных алмазов в промышленности приведены на рис. 6.

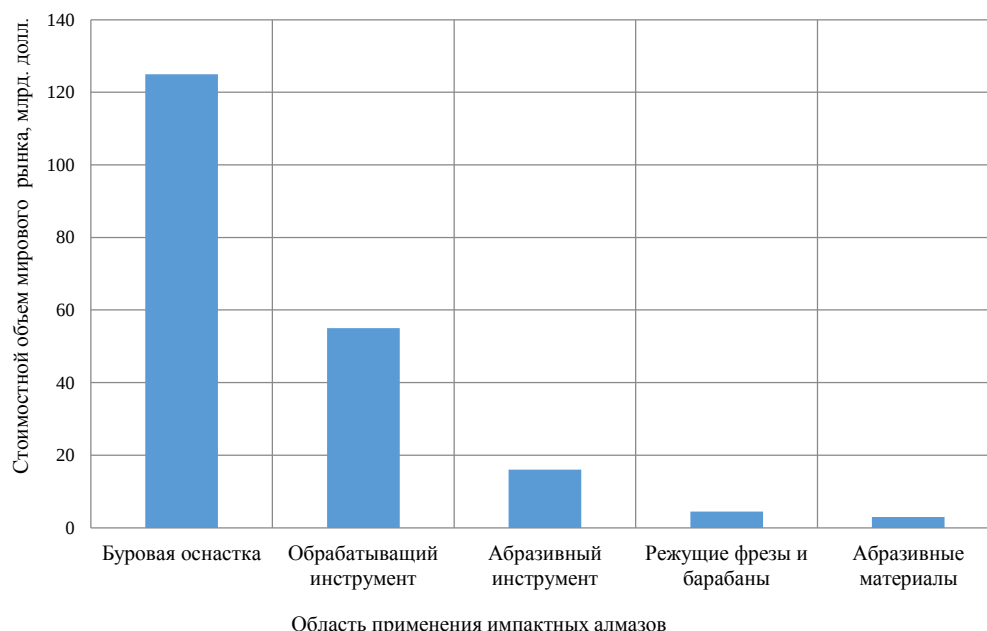


Рис. 6. Диаграмма распределения стоимостного объема мирового рынка от области применения импактных алмазов в промышленности

Несмотря на свою перспективность, востребованность и конкурентоспособность на рынке в вопросах использования импактных алмазов есть ряд трудностей, таких как [5]:

- 1) транспортная труднодоступность местоположения Попигайского кратера;
- 2) особенные механические свойства импактитов, в связи с чем применение стандартных методов их добычи малоэффективно;
- 3) малая стимуляция геологической разведки со стороны государства.

Для решения одной из задач, тормозящих освоение ресурсной базы Попигайского месторождения, а именно проблемы добычи сырья вследствие его уникальных механических свойств, авторами работы предлагается применение электротермических методов разруше-

ния горных пород – энергии электромагнитного микроволнового излучения (СВЧ-излучения).

Механизм разупрочнения горных пород СВЧ-излучением основан на одном из их фундаментальных электрических свойств – показателе диэлектрической проницаемости. Данный показатель отражает, во сколько раз напряженность электрического поля в физическом теле ниже, чем напряженность этого поля в вакууме. То есть в целом характеризует способность физического тела (минералов породы) поглощать энергию электрического поля. В результате поглощения энергии СВЧ-излучения минералы начинают стремительно и резко нагреваться (от температуры окружающей среды до сотен градусов по Цельсию), вместе с тем происходит их расширение. Учитывая, что разные минералы имеют

разные величины диэлектрической проницаемости, нагрев получается неоднородным с разным расширением составляющих минерального скелета породы, вследствие чего на границах раздела фаз возникают значительные термомеханические напряжения, которые в определенный момент превышают значение предела прочности горной породы на растяжение. Благодаря этому происходит растрескивание и объемное разрушение горной породы. Самое важное отличие метода разрушения горной породы с использованием СВЧ-излучения от механического разрушения заключается в том, что в присутствии электромагнитного поля разрушение породы идет на микроуровне (на уровне минералов) и проходит по границам их разделов. В ином случае мы воздействуем на породу на макроуровне и пытаемся ее разрушить путем приложения воздействия превышающего предел прочности породы на сжатие. А, как известно, предел прочности горной породы на сжатие на порядок превышает предел ее прочности на растяжение. Следовательно, с энергетической точки зрения предложенный метод разрушения горной породы, содержащей импактные алмазы, например, зювита, должен быть эффективным, в том числе и по энергетическим затратам на разрушение кубического метра породы [6].

В следующих работах по данной тематике будет проведена теоретическая оценка энергетических затрат, необходимых для разрушения породы, содержащей импактные алмазы, а также будет проведена серия экспериментальных работ по изучению воздействия энергии СВЧ-излучения на структуру, текстуру и физико-механические свойства подобного алмазоносного сырья.

Таким образом, резюмируя приведенный в статье материал, можно сделать следующие выводы:

1) импактные алмазы Попигайского месторождения Российской Федерации – очень ценное минеральное сырье, имеющее большие рыночные перспективы при его применении в различных отраслях промышленности;

2) сложность разработки данного месторождения заключается в том, что данное алмазоносное сырье неэффективно обрабатывать стандартными способами переработки минерального сырья;

3) применение СВЧ-излучения для разрушения алмазосодержащей породы и селективного извлечения импактных алмазов весьма перспективно, вследствие чего необходима дальнейшая работа в данном направлении как в области расчетов энергетических затрат, так и экспериментальной проверки механизма действия излучения на структуру и свойства сырья.

Список источников

1. Эффективность прогнозирования и поисков импактных алмазов в Попигайской астроблеме: ретроспективный взгляд / О.Н. Симонов, В.Л. Масайтис, М.С. Мащак, М.М. Гончаров // Материалы науч.-практ. конф. «Эффективность прогнозирования и поисков месторождений алмазов: прошлое, настоящее и будущее». 2004. С. 323–326.
2. Самсонов Н.Ю., Крюков Я.В. Попигайское месторождение алмаз-лонсдейлитового сверхабразивного материала – арктический проект с высоким инновационным потенциалом // Арктика: экология и экономика. 2018. №1. С. 15–25.

3. Вещественный состав и технология извлечения импактных алмазов / Н.К. Алгебраистова, О.Ю. Перфилова, Д.М. Колотушкин, Е.С. Комарова // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2018. №6. С. 13–19.
4. Масайтис В.Л. Импактные алмазы Попигайской астроблемы: основные свойства и практическое применение // Зап. Рос. минерал. о-ва. 2013. Т. 142. №2. С. 1–10.
5. Масайтис В.Л. Алмазоносные импактиты Попигайской астроблемы. М.: ВСЕГЕИ, 1998. 169 с.

6. Петров В.М. Новые применения радиоэлектроники: разупрочнение горных пород мощным электромагнитным полем СВЧ //

Информост. Радиоэлектроника и Телекоммуникации. 2002. №22. С. 63–72.

References

1. The effectiveness of forecasting and searching for impact diamonds in the Popigai astrobleme: a retrospective view / O.N. Simonov, V.L. Masaitis, M.S. Mashchak, M.M. Goncharov // Materials of the scientific and practical conference «The effectiveness of forecasting and searching for diamond deposits: past, present and future». 2004. Pp. 323–326.

2. Samsonov N.Yu., Kryukov Ya.V. Popigayskoye deposit of almaz-lonsdeilite superabrasive material – an Arctic project with high innovative potential. *Arctic: ecology and economics*. 2018;(1):15–25.

3. Material composition and technology of extraction of impact diamonds / N.K. Algebrastova, O.Yu. Perfilova, D.M. Kolotushkin,

E.S. Komarova. *Mining information and analytical bulletin*. 2018;(6):13–19.

4. Masaitis V.L. Impact diamonds of the Popigai astrobleme: basic properties and practical application. *Russian Mineral. o-va*. 2013; 142(2):1–10.

5. Masaitis V.L. Diamond-bearing impactites of the Popigai astrobleme. M.: ALL-GAY, 1998. 169 p.

6. Petrov V.M. New applications of radio electronics: softening of rocks by a powerful electromagnetic field of microwave. *Informost. Radio Electronics and Telecommunications*. 2002;(22):63–72.

Научный вестник Арктики. 2022. №13. С. 21–28.
Scientific Bulletin of the Arctic. 2022;(13):21–28.

Технические науки

Научная статья
УДК 004.931:636.934.57
doi: 10.52978/25421220_2022_13_21–28

**РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ УЛЬТРАЗВУКОВОГО
ОТПУГИВАНИЯ НОРОК С ПРИМЕНЕНИЕМ ТЕХНОЛОГИИ
КОМПЬЮТЕРНОГО ЗРЕНИЯ**

Антон Николаевич Попов

Тюменский государственный университет; Государственный аграрный
университет Северного Зауралья.
orcid.org/ 0000-0003-0774-411X

Аннотация. Рассматриваются основные проблемы, которые в настоящее время обозначаются в РФ при исполнении проекта «Цифровое сельское хозяйство». Происходит выделение направлений и областей развития современного сельского хозяйства РФ, где непосредственно внедряются цифровые технологии: большие данные, интернет вещей, робототехника, искусственный интеллект.

Проведен анализ текущих сельскохозяйственных направлений научных разработок, которые проводят исследования и реализуют разного рода методики с применением технологии глубокого машинного обучения и компьютерного зрения. Внимание акцентировано на основных задачах, которые решают различные проблемы с помощью реализации технологии компьютерного зрения.

Определены дальнейшие направления применения нейронных сетей глубокого обучения в рыбоводстве для решения прикладных задач, которые возможно решить исключительно с применением технологии компьютерного зрения.

Ключевые слова: синантропные млекопитающие, норка, компьютерное зрение, автоматическая система, ультразвук.

Для цитирования: Попов А.Н. Разработка автоматической системы ультразвукового отпугивания норок с применением технологии компьютерного зрения // Научный вестник Арктики. 2022. №13. С. 21–28. http://dx.doi.org/10.52978/25421220_2022_13_21–28.

Technical sciences

Original article

**DEVELOPMENT OF AN AUTOMATIC SYSTEM FOR ULTRASONIC
MINK REPELLENT USING COMPUTER VISION TECHNOLOGY**

Anton N. Popov

Tyumen State University; State Agrarian University of Northern Trans-Urals.
orcid.org/0000-0003-0774-411X

Abstract. This article examines the main problems that are currently being identified in the Russian Federation during the implementation of the Digital Agriculture project. There is a selection of directions and areas for the development of modern agriculture in the Russian Federation, where digital technologies are directly introduced: big data, the Internet of things, robotics, artificial intelligence.

The team of authors analyzed the current agricultural research areas that conduct research and implement various methods using deep machine learning and computer vision technology. Attention is focused on the main tasks, according to the team of authors who solve various problems by implementing computer vision technology.

Further directions for the use of deep learning neural networks in fish farming for solving applied problems that can be solved exclusively with the use of computer vision technology are determined.

Key words: synanthropic mammals, mink, computer vision, automatic system, ultrasound.

For citation: Popov A.N. Development of an automatic system for ultrasonic mink repellent using computer vision technology. *Scientific Bulletin of the Arctic*. 2022;(13):21–28. (In Russ.). http://dx.doi.org/10.52978/25421220_2022_13_21-28.

Введение. В современном мире каждое государство прежде всего заинтересовано в повышении уровня автоматизации процессов сельскохозяйственного производства, поскольку подобные изменения приводят к увеличению качества и количества производимой сельскохозяйственной продукции. Ввиду этого в Российской Федерации с 2019 г. реализуется ведомственный проект «Цифровое сельское хозяйство» [1].

Что интересно, в этом проекте под *цифровизацией* сельскохозяйственного производства подразумевается такое производство, в которое осуществлено глубокое интегрирование следующих технологий: интернет вещей, робототехника, беспилотные летательные аппараты, искусственный интеллект, анализ больших данных, машинное обучение и т.п. По планированию данного проекта это должно привести к повышению производительности труда с параллельным снижением объемов затрат на производство продукции.

Географически и исторически получилось так, что 70% территории Российской Федерации находится в зоне рискованного земледелия [2]. Ввиду этого большая часть сельскохозяйственного

производства ориентирована на животноводство, птицеводство и рыбководство. Соответственно, цифровизация затронет их в первую очередь. До этого в них успешно реализовывалась политика автоматизации технологических процессов. Поскольку уровень автоматизации их был высок, то была обеспечена как высокая производительность, так и параллельная интеллектуализация персонала. Получилась так называемая подготовка «плацдарма» к быстрой цифровизации производства. Однако следует оговорить, что высокая степень автоматизации – это явление, которое носит точечный характер и зависит от региона.

В любом случае можно резюмировать, что основные процессы, которые будут цифровизированы, будут связаны с влиянием на прирост живой массы сельскохозяйственного продукта, а как следствие, будут влиять на объем и стоимость выходного продукта производства. Интеграция в такие процессы цифровых технологий открывает новые пути развития и перспективы производства, которое будет основано на методиках компьютерного зрения с постоянным измерением, анализом и контролем происходящего.

Компьютерное зрение в сельском хозяйстве. Такие исследования и связанные с ними изобретения уже осуществляются по всему миру. Исследовательские коллективы разных стран активно производят научный продукт в данном направлении. Рассмотрим некоторые из них.

Авторы научной работы осуществили симбиоз технологии машинного зрения у установки, которая занимается сортировкой томатов. Коллектив написал нейронную сеть и обучил ее на 43 843 изображениях, акцентируя внимание сети на такие параметры, как размер и цвет. Итогом исследования стала тестовая установка, способная отсеивать некачественную продукцию с точностью до 94,6% [3].

Иной научный коллектив в своей разработке осуществил еще больше. Он внедрил и использовал методики анализа трёхмерных изображений. Проект получил название «картофельная операция» и относился к области робототехнических устройств в сельскохозяйственном производстве. Проект заключался, прежде всего, в том, чтобы обучить нейронную сеть распознаванию по внешним признакам вирусных заболеваний картофеля и в случае положительного обнаружения вируса – брать пробу мякоти картофеля. То есть осуществить взаимодействие нейронной сети еще и с робототехнической клешней. Результатом проекта стал робот-сборщик проб, который перемещался по картофельному полю и исполнял заложенный в него функционал. В ходе пробного запуска робота были получены результаты, в дальнейшем преобразованные в базу данных, которая, в свою очередь, использовалась для сертификации и маркировки клубней [4].

Коллектив из Индии занялся более глубокими изысканиями в расширенной теории использования технологии компьютерного зрения в области сельского хозяйства. В своей обзорной статье они задались вопросом, каким образом

лучше всего представлять сельскохозяйственное производство для компьютерного зрения. Как можно понять, рассматривалась исключительно область «выращивания» продукта, то есть загоны для скота, садки для разведения рыб и поля для выращивания культур. Итогом их умозаключений стало то, что сельскохозяйственное производство с математической точки зрения – это прежде всего гетерогенная область, а значит, область неоднородная. Отдельно было проговорено, что из большого объема анализируемых ими работ мало кто из исследователей делает акцент на математическую структуру процесса, в результате чего на первых этапах исследования у большинства ученых происходит много ошибок и заранее неудачных опытов [5].

Практическим продуктом данной статьи стало составление библиотеки дескрипторов признаков. В этой библиотеке огромное количество изображений фруктов и овощей с дефектами, что позволяет обучать нейронную сеть быстрее.

Теоретическим продуктом статьи стала разработка модели методики предварительной обработки данных и их последующей аналитики для повышения точности работы.

Подводя итог по анализируемым работам, можно заключить, что мировой тренд использования технологии компьютерного зрения в сельском хозяйстве направлен, прежде всего, на растениеводство (от картографирования до сборки). В животноводстве и рыбоводстве они менее значительны [6–11].

Отдельно хочется отметить, что при поиске научных работ количественно статей, связанных с компьютерным зрением и животноводством, в разы меньше, чем связанных с компьютерным зрением и растениеводством. Особенно хочется отметить, что практически не были найдены научные статьи, связанные с компьютерным зрением и рыбоводством. Как можно предположить – ввиду еще более гетерогенных условий.

На основе этого «пробела» коллектив авторов занялся исследованием интеграции технологии компьютерного зрения в процессах рыбоводства. Тюменским филиалом ФГБНУ «ВНИРО» (Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии») была поставлена задача разработки автоматизированной системы ультразвукового отпугивания хищных млекопитающих (норок) от садков, где выращивается рыба.

У данного хозяйства имеется большая проблема – норки ежегодно уничтожают выращиваемую рыбу, тем самым причиняя экономический ущерб предприятию. Казалось бы, можно было решить проблему установкой ловушек для норок и их последующим истреблением, однако подобные меры запрещены на законодательном уровне, так как вид является краснокнижным. Ввиду данных обстоятельств было принято наиболее оптимальное решение – разработка и внедрение системы отпугивания. Коллективом авторов подобная система была разработана и усовершенствована. Автоматизация системы достигнута за счет интегрирования технологии компьютерного зрения.

Компьютерное зрение и глубокое обучение. Эффективное управление рыбоводческим предприятием, прежде всего, основано на корректном понимании роли поведенческих особенностей коммерчески выращиваемой рыбы. Подобное понимание можно осуществить только углубленным исследованием аквакультуры и всех косвенных процессов, на нее влияющих. Качественные составляющие конечного продукта в итоге напрямую зависят от поведения операторов и соблюдения таких факторов, как кормление и очистка садка.

Все эти факторы и ряд других находятся «внутри» садка, т.е. внутри зоны,

где пребывает коммерчески выращиваемая рыба. Норка же и ряд других вредителей существуют «вне» садка.

Как можно было понять, основным «уникальным элементом» разрабатываемой системы является используемая в ней технология видеонаблюдения (компьютерного зрения). Подобные технологии не являются чем-то особенным и активно используются во многих коммерческих рыбоводческих предприятиях [12–15].

Однако огромным участком для исследования является необходимость разработки и внедрения ряда компьютерных программ, которые позволяют цифровизировать некоторые технологические процессы в рыбоводстве. В данном случае непосредственно будет сделан акцент на разработку программного обеспечения, которое позволяет анализировать видеоматериалы по признаку отсутствия или наличия движения норок (синантропных млекопитающих) на территории предприятия по искусственному разведению рыбы. Данная система позволит качественно улучшить управление, давая возможность извещать операторов о возникающих критических особенностях в текущем поведении в реальном режиме времени, а также дает возможность проводить долгосрочные прогнозы и давать общую оценку состояния рыб. Наличие системы видеонаблюдения на рыбоводческих предприятиях позволит минимизировать первоначальные вложения на необходимое оборудование при внедрении системы автоматизированного анализа.

Принцип работы системы. Обычно для отпугивания норок от садков, в которых расположена рыба на территории предприятия, использовались различного рода ловушки с приманкой, которая приманивает норку, и иные методы из «народа», технические средства защиты и отпугивания.

Синантропные млекопитающие, как и разные животные, в зависимости от того, к какому определенному виду они

принадлежат, наиболее восприимчивы к отелльному диапазону ультразвуковых колебаний. Поэтому, чтобы отпугнуть разные виды млекопитающих, необходимо использовать подходящий звуковой диапазон колебаний, который максимально раздражает слух млекопитающего. Чтобы оказываемое воздействие с помощью ультразвуковых колебаний не вызывало привыкания, необходимо осуществлять воздействие с его помощью кратковременно.

Система ультразвукового отпугивания основывается на оказании ультразвукового воздействия (с помощью ультразвуковых колонок) на норку в тот промежуток времени, когда она находится в радиусе звукового воздействия прибора [16–17].

Для распознавания аномалий (присутствия норки по полученным снимкам) и включения системы автоматического отпугивания была реализована нейронная сеть глубокого обучения.

Получается, что IP камера высокого разрешения и с возможностью осуществления контроля движения в кадре производит мониторинг участка, расположенного вблизи садков (территория рыбоводческого предприятия со стороны леса, где наиболее часто обнаруживали следы норки). Как только камера фиксировала движение, она осуществляла несколько снимков. Данные снимки обрабатывал мини компьютер, пропуская их через нейронную сеть глубокого обучения. Как только нейронная сеть обнаруживает аномалию – объект, который по ряду характеристик похож на норку, происходила подача управляющего сигнала через плату на специальное реле. После подачи управляющего сигнала производилось включение ультразвуковой колонки на временной интервал 30 с. Как результат, происходило отпугивание норки и таким образом исключалась возможность нанесения вреда синантропному организму и минимизировался ущерб, который наносит норка предприятию по выращиванию рыбы.

Нейронная сеть, которая используется для распознавания норки, обучена на фотографиях, взятых в сети Интернет. Дополнительно использовалась библиотека компьютерного зрения с открытым кодом OpenCV.

Было проведено исследование возможности отпугивания синантропного млекопитающего – норки при помощи разработанной системы автоматического ультразвукового отпугивания [18].

В процессе исследования система автоматического ультразвукового отпугивания осуществляла ультразвуковые колебания с частотой 20–50 кГц. Уровень звукового давления ультразвуковой системы на расстоянии не более 0,5 м от устройства находился в диапазоне 120 Дб. На рис. 1 представлена схема прибора.

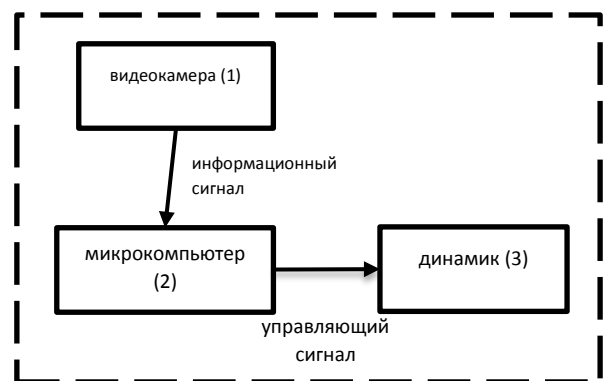


Рис. 1. Схема прибора

Прибор состоял из видеокamеры с встроенным датчиком движения (1), микрокомпьютера, обрабатывающего входящий видеосигнал (2), и динамика, транслирующего низкочастотный ультразвук необходимой частоты (3).

Чтобы получить необходимые экспериментальные данные о влиянии сигнала ультразвука на поведение норки, систему отпугивания размещали приближенно к садкам. Работа системы осуществлялась на протяжении длительного периода времени в темное время суток. Видеокamera была размещена близко к системе ультразвукового отпугивания и контролировала возможное приближение норки к садкам с целью

осуществления вылова и порчи рыбы из них.

Дополнительно, для контроля, уже с наступлением светлого времени суток проводилась фиксация наличия следов норки на снегу в непосредственной близости к садкам, также при обнаружении следов производились замеры их удаления от системы ультразвукового отпугивания.

Как можно наблюдать на снимках, следы норки не попадают в зону наблюдения вблизи садков. Но следы норки зафиксированы непосредственно в некоторой удаленности от садков. Также детальный анализ снежного покрова показал отсутствие следов волочения рыбы по снегу (рис. 2).



Рис. 2. Экспериментальные наблюдения

Во время проведения экспериментального исследования следы норки были обнаружены и зафиксированы на расстоянии 1,4 м относительно того места, где была установлена система ультразвукового отпугивания, которая осуществляла звуковое воздействие в частотном диапазоне 20 до 50 кГц при включении. Система в постоянном ре-

жиме увеличивала частоту воспроизводимого звука от 20 до 50 кГц, достигая максимума, происходил сброс частоты до 20 кГц и цикличность повторялась. Таким образом, прибором было зациклено наращивание уровня частоты. Произвести фиксацию, как происходило изменение расстояния приближения норки к прибору в зависимости от частоты сигнала, не удалось. Низкий температурный режим, который находился в диапазоне от -30°C до -35°C , не позволил осуществить видеofиксацию изменения поведения норки в зависимости от частотного диапазона звукового воздействия, воспроизводимого системой ультразвукового отпугивания. Дополнительно можно сказать, что в процессе отпугивания норки показатели прибора менялись незначительно.

Заключение. В представленной работе рассмотрены возможности и определена востребованность применения технологии компьютерного зрения в сфере рыбоводства. Для того чтобы повысить эффективность их использования с целью прикладного применения, необходима полноценная реализация алгоритмов сетей глубокого обучения и нейронных сетей, которые позволили бы производить быстрое и качественное обучение для обеспечения достаточной точности, обобщения, а также возможности легкой настройки под задачи предприятия. Как пример, представленная в статье система ультразвукового отпугивания должна однозначно отличать с высоким уровнем достоверности норку от иных животных и осуществлять соответствующим образом реагирование. Применение компьютерного зрения в сфере коммерческого рыбоводства в России еще не получило широкого применения, но данная отрасль ставит перед научным сообществом прикладные задачи, решение которых классическими методами становится затруднительно, но осуществимо с помощью нейронных сетей глубокого обучения.

Список источников

1. Departmental project «Digital Agriculture»: official publication, Federal State Budget Scientific Institution «Rosinformagroth». URL: <http://mcx.ru/upload/iblock/900/900863fae06c026826a9ee43e124d058.pdf>
2. Uzun V., Shagaida N., Lerman Z. Russian agriculture: Growth and institutional challenges. *Land Use Policy*. Vol. 83. April 2019. URL: <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2019.02.018>.
3. Z. da Costa A., Figueroa Hugo E.H., Fracarolli A.J. Computer vision based detection of external defects on tomatoes using deep learning. *Biosystems Engineering*. Vol. 190. Feb. 2020.
4. Computer vision and agricultural robotics for disease control / M. Lefebvre, S. Gil, D. Brunet, E. Natonek, C. Baur, P. Gugerli, T. Pun. *The Potato Operation*. Vol. 9, Issue 1, Aug. 1993.
5. Mukesh Kumar Tripathi, Dhananjay D. Maktedar. A role of computer vision in fruits and vegetables among various horticulture products of agriculture fields: A survey. *Information Processing in Agriculture*.
6. Inácio Patrício D., Rieder R. Computer vision and artificial intelligence in precision agriculture for grain crops. *A systematic review, Computers and Electronics in Agriculture*. 2018. Vol. 153.
7. A generalized computer vision approach to mapping crop fields in heterogeneous agricultural landscapes / S.R. Debats, D. Luo, L.D. Estes, T.J. Fuchs, K.K. Caylor *Remote Sensing of Environment*. Jun. 2016. Vol. 179.
8. 3D Vision for Precision Dairy Farming / N. O' Mahony, S. Campbell, A. Carvalho, L. Krpalkova, D. Riordan, Joseph Walsh, *IFAC-PapersOnLine*. 2019. Vol. 52. Issue 30.
9. Enhanced fish bending model for automatic tuna sizing using computer vision / P. Muñoz-Benavent, G. Andreu-García, J.M. Valiente-González, V. Atienza-Vanacloig, V. Puig-Pons, V. Espinosa. *Computers and Electronics in Agriculture*. Jul. 2018. Vol. 150.
10. Near infrared computer vision and neuro-fuzzy model-based feeding decision system for fish in aquaculture / Ch. Zhou, K. Lin, D. Xu, L. Chen, Q. Guo, Ch. Sun, X. Yang. *Computers and Electronics in Agriculture*. Mar. 2018. Vol. 146.
11. Issac A., Dutta M.K., Sarkar B. Computer vision based method for quality and freshness check for fish from segmented gills. *Computers and Electronics in Agriculture*. Jun. 2017. Vol. 139.
12. A computer-vision system and methodology for the analysis of fish behavior / V.M. Papadakis, I. E. Papadakis, F. Lamprianidou, A. Glaropoulos, M. Kentouri *Aquacultural Engineering*. January 2012. Vol. 46.
13. Measuring feeding activity of fish in RAS using computer vision / Z. Liu, X. Li, L. Fan, H. Lu, L. Liu, Y. Liu, *Aquacultural Engineering* Vol. 60, May 2014, <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2014.03.005>
14. Computer vision in the fish industry / J.R. Mathiassen, E. Misimi, S.O. Østvik, I.G. Aursand. *Computer Vision Technology in the Food and Beverage Industries*, 2012.
15. Fish species classification by color, texture and multi-class support vector machine using computer vision / J. Hu, D. Li, Q. Duan, Y. Han, G. Chen, X. Si. *Computers and Electronics in Agriculture*. Oct. 2012. Vol. 88.
16. Андреев Л.Н., Попов А.Н. Разработка и апробация ультразвукового отпугивателя норок // Международный технико-экономический журнал. 2019. №6. С. 42–50.
17. Разработка автоматической системы ультразвукового отпугивания норок на рыбохозяйственном предприятии с применением технологии компьютерного зрения / Е.А. Басуматорова, И.В. Савчук, А.М. Петров, А.Н. Попов // Известия. 2020. №6. С. 140–146.
18. Petrov A., Popov A. Computer vision technology in the development of an ultrasonic repeller. *Lecture Notes in Civil Engineering*. 2020. Vol. 111.

References

1. Departmental project «Digital Agriculture»: official publication, Federal State Budget Scientific Institution «Rosinformagroth». URL: <http://mcx.ru/upload/iblock/900/900863fae06c026826a9ee43e124d058.pdf>
2. Uzun V., Shagaida N., Lerman Z. Russian agriculture: Growth and institutional challenges. *Land Use Policy*. Vol. 83. April 2019. URL: <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2019.02.018>.

3. Z. da Costa A., Figueroa Hugo E.H., Fracarolli A.J. Computer vision based detection of external defects on tomatoes using deep learning. *Biosystems Engineering*. Vol. 190. Feb. 2020.
4. Computer vision and agricultural robotics for disease control / M. Lefebvre, S. Gil, D. Brunet, E. Natonek, C. Baur, P. Gugerli, T. Pun. *The Potato Operation*. Vol. 9, Issue 1, Aug. 1993.
5. Mukesh Kumar Tripathi, Dhananjay D. Maktedar. A role of computer vision in fruits and vegetables among various horticulture products of agriculture fields: A survey. *Information Processing in Agriculture*.
6. Inácio Patrício D., Rieder R. Computer vision and artificial intelligence in precision agriculture for grain crops. *A systematic review, Computers and Electronics in Agriculture*. 2018. Vol. 153.
7. A generalized computer vision approach to mapping crop fields in heterogeneous agricultural landscapes / S.R. Debats, D. Luo, L.D. Estes, T.J. Fuchs, K.K. Caylor *Remote Sensing of Environment*. Jun. 2016. Vol. 179.
8. 3D Vision for Precision Dairy Farming / N. O' Mahony, S. Campbell, A. Carvalho, L. Krpalkova, D. Riordan, Joseph Walsh, *IFAC-PapersOnLine*. 2019. Vol. 52. Issue 30.
9. Enhanced fish bending model for automatic tuna sizing using computer vision / P. Muñoz-Benavent, G. Andreu-García, J.M. Valiente-González, V. Atienza-Vanacloig, V. Puig-Pons, V. Espinosa. *Computers and Electronics in Agriculture*. Jul. 2018. Vol. 150.
10. Near infrared computer vision and neuro-fuzzy model-based feeding decision system for fish in aquaculture / Ch. Zhou, K. Lin, D. Xu, L. Chen, Q. Guo, Ch. Sun, X. Yang. *Computers and Electronics in Agriculture*. Mar. 2018. Vol. 146.
11. Issac A., Dutta M.K., Sarkar B. Computer vision based method for quality and freshness check for fish from segmented gills. *Computers and Electronics in Agriculture*. Jun. 2017. Vol. 139.
12. A computer-vision system and methodology for the analysis of fish behavior / V.M. Papadakis, I. E. Papadakis, F. Lamprianidou, A. Glaropoulos, M. Kentouri *Aquacultural Engineering*. January 2012. Vol. 46.
13. Measuring feeding activity of fish in RAS using computer vision / Z. Liu, X. Li, L. Fan, H. Lu, L. Liu, Y. Liu, *Aquacultural Engineering* Vol. 60, May 2014, <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2014.03.005>
14. Computer vision in the fish industry / J.R. Mathiassen, E. Misimi, S.O. Østvik, I.G. Aursand. *Computer Vision Technology in the Food and Beverage Industries*, 2012.
15. Fish species classification by color, texture and multi-class support vector machine using computer vision / J. Hu, D. Li, Q. Duan, Y. Han, G. Chen, X. Si. *Computers and Electronics in Agriculture*. Oct. 2012. Vol. 88.
16. Andreev L.N., Popov A.N. Development and approbation of ultrasonic mink repeller. *International Technical and Economic Journal*. 2019. No.6. pp. 42-50.
17. Development of an automatic ultrasonic mink repelling system at a fisheries enterprise with the use of computer vision technology / E.A. Basumatorova, I.V. Savchuk, A.M. Petrov, A.N. Popov. *Izvestia*. 2020;(6):140–146.
18. Petrov A., Popov A. Computer vision technology in the development of an ultrasonic repeller. *Lecture Notes in Civil Engineering*. 2020. Vol. 111.

Научный вестник Арктики. 2022. №13. С. 29–35.
Scientific Bulletin of the Arctic. 2022;(13):29–35.

Технические науки

Научная статья
УДК 621.314:004.94
doi: 10.52978/25421220_2022_13_29–35

**ПРОВЕРКА АДЕКВАТНОСТИ ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ
ПРОМЫШЛЕННОГО УЗЛА НАГРУЗКИ**

Сергей Владимирович Плотников¹, Елена Николаевна Барановская²

^{1,2}Заполярный государственный университет им. Н.М. Федоровского.

¹E-mail: haman4125@yandex.ru.

Аннотация. В статье обоснована актуальность проблемы проверки на адекватность имитационной модели; предложена методика выбора и проверки источников реактивной мощности с помощью имитационного моделирования электромагнитных процессов в Matlab/Simulink; приведены модели и результаты моделирования отдельных узлов нагрузки для компенсации реактивной мощности.

Ключевые слова: имитационное моделирование, адекватность, компенсация реактивной мощности, Matlab/Simulink.

Для цитирования: Плотников С.В., Барановская Е.Н. Проверка адекватности имитационной модели промышленного узла нагрузки // Научный вестник Арктики. 2022. №13. С. 29–35. http://dx.doi.org/10.52978/25421220_2022_13_29–35.

Technical sciences

Original article

**CHECKING THE ADEQUACY OF THE IMITATION MODEL
OF THE INDUSTRIAL LOAD KNOT**

Sergei V. Plotnikov¹, Elena N. Baranovskaya²

^{1,2}Fedorkovsky Polar State University.

¹E-mail: haman4125@yandex.ru.

Abstract. The article substantiates the relevance of the problem of checking the adequacy of the simulation model; proposed methods for the selection and verification of sources of reactive power using simulation modeling of electromagnetic processes in Matlab / Simulink; The models and simulation results of individual load nodes for compensation of reactive power are presented.

Keywords: simulation, adequacy, reactive power compensation, Matlab / Simulink.

For citation: Plotnikov S.V., Baranovskaya E.N. Checking the adequacy of the imitation model of the industrial load knot. *Scientific Bulletin of the Arctic*. 2022;(13):29–35. (In Russ.). http://dx.doi.org/10.52978/25421220_2022_13_29–35.

В данный момент имитационное моделирование (ИМ) имеет важное значение для исследований в различных областях науки, промышленности, сельского хозяйства и т.д. Необходимость ИМ обусловлена сложностью, а чаще всего невозможностью прямого изучения реального объекта или процесса, т.к. вмешательство в технологический процесс предприятия может нарушить производственную цепочку. Значительно доступнее и проще создать модель производства или технологического процесса. Можно сказать, что теоретическое знание о чем-либо, как правило, представляет собой совокупность различных моделей.

Самой важной особенностью ИМ заключается в возможности накопления специализированных знаний без потери целостного взгляда на объект исследования. Моделирование систем электроснабжения промышленных предприятий относится к сложным кибернетическим системам с постоянно изменяющимися режимами работы и влияющим друг на друга, особенно при переходных процессах.

Наилучшим программным продуктом, обеспечивающим достоверность результатов виртуальных экспериментов в области электроэнергетики, является система Matlab с пакетом расширений Simulink и библиотекой SimPower Systems, которая была специально разработана для исследований электроэнергетических систем. Используя эти библиотеки, можно имитировать работу электротехнических устройств в любой временной области.

Однако одна из наиболее сложных проблем, с которой можно столкнуться при создании ИМ, – это проверка на адекватность. Под адекватностью модели нужно понимать, достаточно ли хорошо с точки зрения цели исследования результаты, полученные во время моделирования, отражают истинное положение дел.

Имитационная модель будет адекватна оригиналу, если при ее рассмотрении основные параметры модели будут сходны с оригиналом.

Термин «адекватность», как видно, носит расплывчатый смысл. Результативность моделирования значительно возрастёт, если при построении ИМ и переносе результатов с модели на систему-оригинал можно будет воспользоваться некоторой теорией, уточняющей идею подобия, связанную с используемой процедурой моделирования.

К сожалению, такой теории, которая бы позволила оценить адекватность ИМ, нет, в отличие от хорошо разработанной теории подобия явлений одной и той же физической природы.

Адекватность модели объекту исследований всегда ограничена и зависит от цели моделирования. Любая имитационная модель не учитывает некоторые свойства оригинала и поэтому является его абстракцией. Смысл абстрагирования заключается в отвлечении от некоторых несущественных в данном контексте свойств предмета и одновременном сосредоточении внимания на самых важных аспектах. Если во время создания модели будут допущены грубые неточности и расхождения от реальной системы, то и модель, как бы точно она не отображала описание системы, не будет адекватной оригиналу. Для этого проверку адекватности проводят на всех этапах построения ИМ.

Если изучение системы проведено качественно и ИМ достаточно точно отражает реальное положение дел, то далее перед разработчиками стоит лишь проблема эквивалентного преобразования одного описания в другое.

Итак, можно говорить об адекватности модели в любой ее форме и оригинала, если:

- описание поведения, созданное на каком-либо этапе, достаточно точно совпадает с поведением моделируемой системы в одинаковых ситуациях;

- описание убедительно представительно относительно свойств системы, которые должны прогнозироваться с помощью модели [2].

Предварительно исходный вариант ИМ подвергается следующим проверкам:

- все ли существенные параметры включены в модель;
- нет ли в модели несущественных параметров;
- правильно ли отражены функциональные связи между параметрами;
- правильно ли определены ограничения на значения параметров;
- не дает ли модель абсурдные ответы, если ее параметры принимают предельные значения [2].

Такой подход поможет выявить грубые ошибки при построении ИМ.

Все вышеперечисленное носит рекомендательный характер. Поэтому, в основном, качество ИМ и степень ее адекватности зависят от опыта, интуиции, эрудиции разработчика модели и других субъективных факторов [2].

Итоговое решение об адекватности модели может дать лишь практика, то есть сравнение ИМ с оригиналом на основе экспериментов с объектом и моделью. Модель подвергается одинаковым с объектом исследования воздействиям и сравниваются их реакции. Если реакции одинаковы (в пределах допустимой точности), то делается вывод, что модель адекватна оригиналу. Однако надо иметь в виду следующее:

- воздействия на объект носят ограниченный характер из-за возможного разрушения объекта, недоступности к элементам системы и т.д.;
- воздействия на объект имеют физическую природу (изменение питающих

токов и напряжений, температуры, скорости вращения валов и т. д.), а на ИМ – это числовые аналоги физических воздействий [2].

Для оценки степени подобия структур объектов (физических или математических) существует понятие изоморфизма (изо – одинаковый, равный, морфе – форма, греч.).

Две системы изоморфны, если существует взаимно однозначное соответствие между элементами и отношениями (связями) этих систем.

При моделировании сложных технических систем достигнуть такого полного соответствия трудно, да и нецелесообразно. При моделировании абсолютное подобие не имеет места. Стремятся лишь к тому, чтобы модель достаточно хорошо отражала исследуемую сторону функционирования объекта. Модель по сложности может стать аналогичной исследуемой системе и никакого упрощения исследования не будет.

При моделировании электрического оборудования промышленных предприятий имеется очень много факторов, влияющих на поведение электроустановок, которые невозможно учесть в модели. В этом случае необходимо абстрагироваться от несущественных аспектов и учесть только необходимые.

Для примера проверки на адекватность ИМ рассмотрим схему узла нагрузки (УН), содержащего асинхронные электродвигатели (АД) и цеховые трансформаторы (ЦТ) Талнахской обогатительной фабрики (ТОФ) – одного из энергоемких промышленных предприятий Норильского промышленного района (НПР) (модель узла нагрузки разработана для выбора средств компенсации реактивной мощности) (рис. 1).

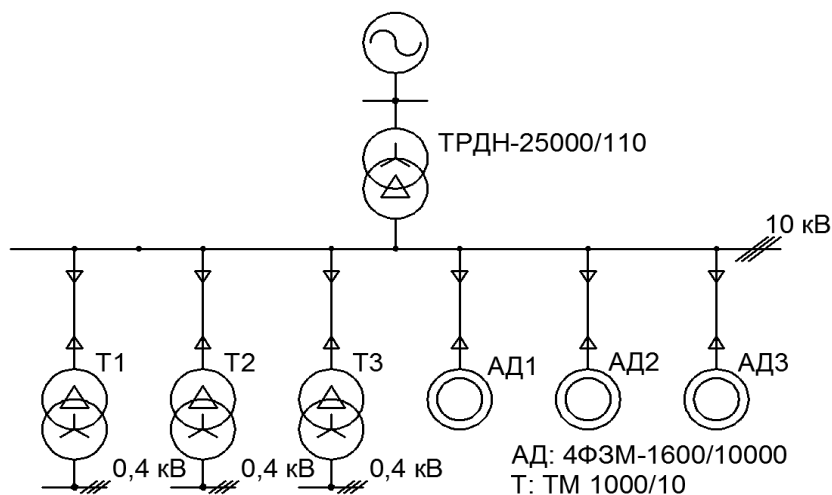


Рис. 1. Характерный узел нагрузки

Значения номинальных средневзвешенных коэффициентов мощности асинхронных двигателей не превышают 0,8 ($\text{tg}\varphi = 0,75$), статической нагрузки – 0,81 ($\text{tg}\varphi = 0,72$). Удельный вес потребления реактивной мощности электроприемниками предприятий составляет: асинхронными двигателями – свыше 60%, трансформаторами – 20–25%, дугowymi электропечными установками, преобразовательными подстанциями, различными индукционными аппаратами, реакторами, воздушными электрическими сетями и др. – около 20%. В целом реактивные нагрузки промышленных предприятий не только соизмеримы с активной нагрузкой, но нередко превышают ее.

Проанализировав узел нагрузки и произведя расчет параметров оборудования, создадим ее модель (рис. 2).

Проанализировав узел нагрузки и произведя расчет параметров оборудования, создадим ее модель (рис. 2).

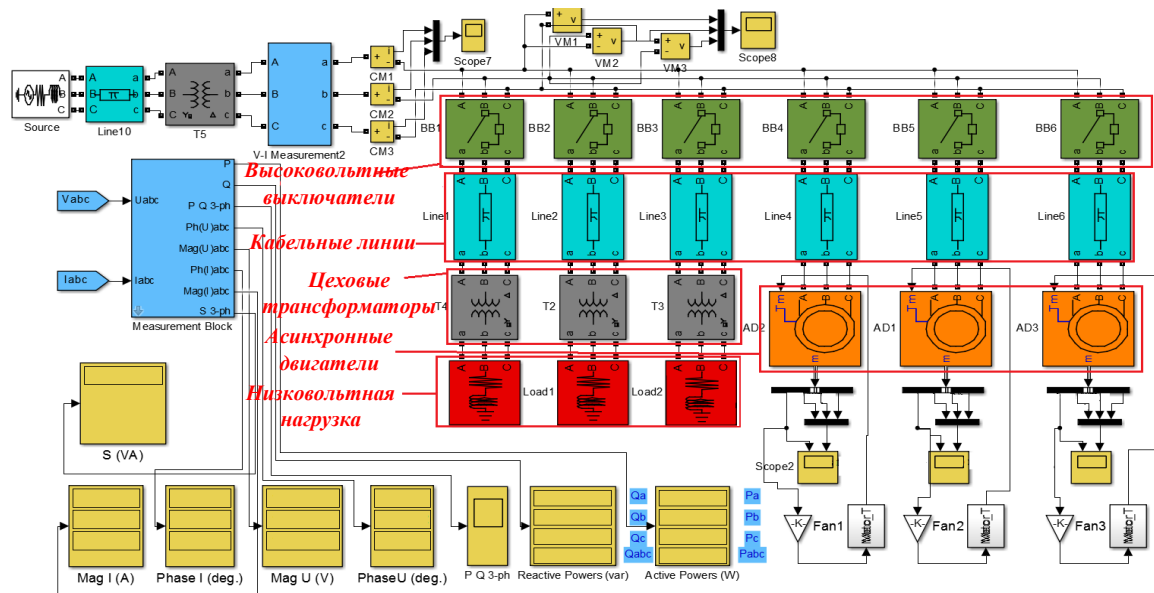


Рис. 2. ИМ узла нагрузки

Результаты моделирования основных параметров представлены на графиках (рис. 3, 4).

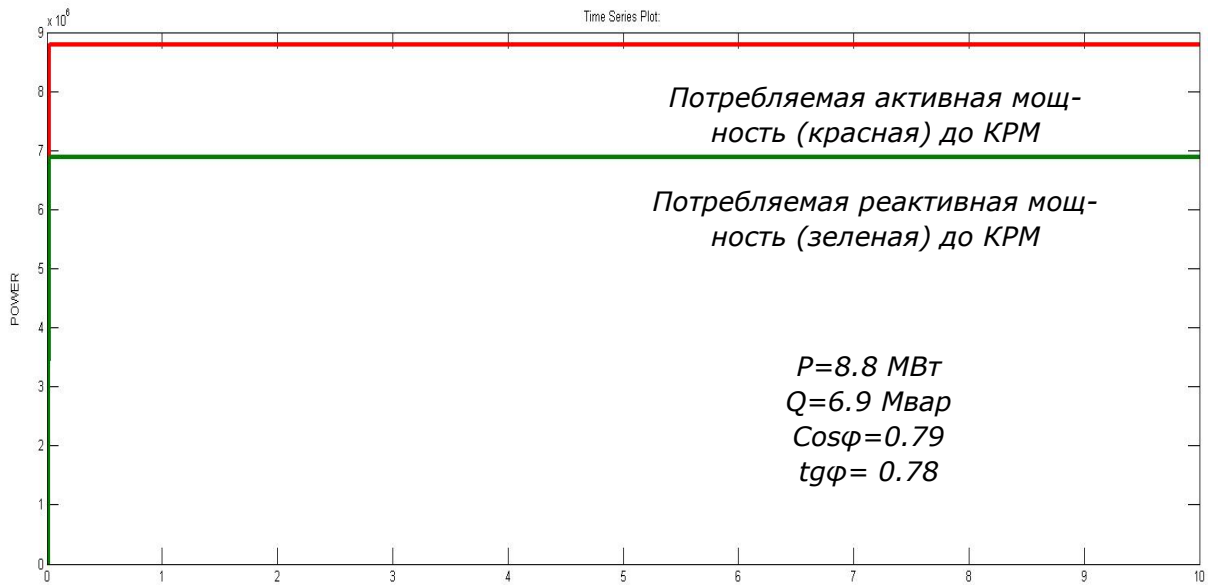


Рис. 3. Потребляемая мощность

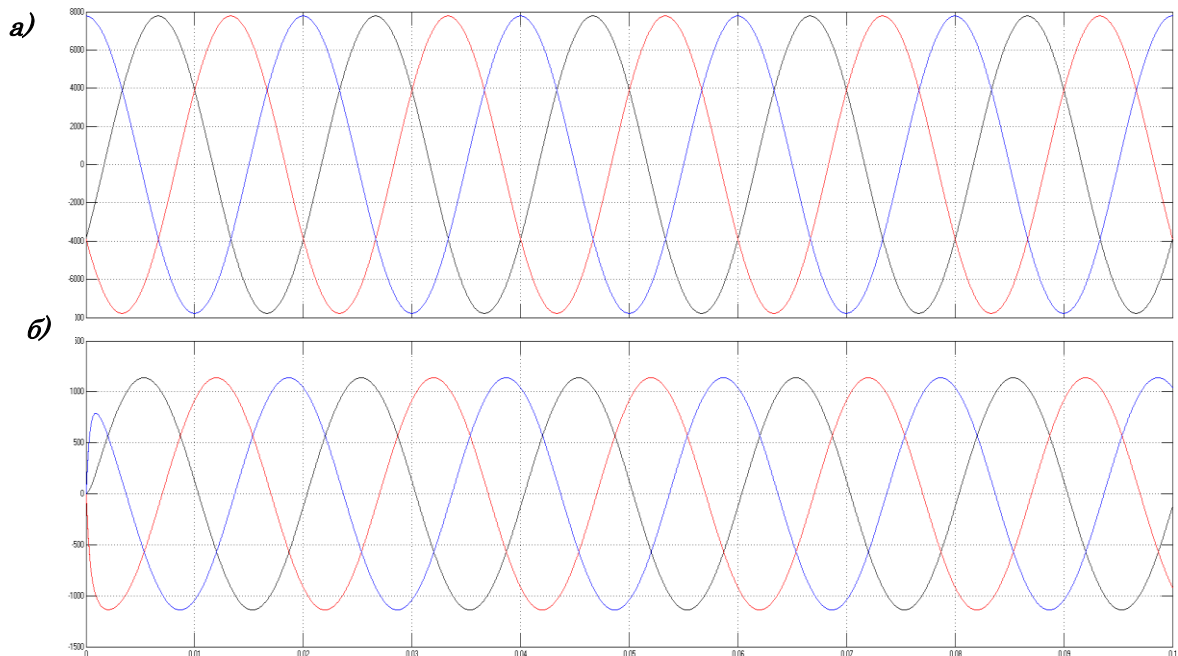


Рис. 4. Осциллограмм напряжения (а) и тока (б) до КРМ

УН потребляет 8.8 МВт активной и 6.9 Мвар реактивной мощности при $\cos\varphi = 0,79$ (см. рис. 3). Практика показывает, что практически для всех энергосистем ЕЭС России характерна работа распределительных сетей с низким значением коэффициента мощности, поэтому до сих пор одним из наиболее эффективных способов повышения качества электроэнергии, а также снижения потерь в питающей и распределительной сетях предприятия является компенсация реактивной мощности (КРМ),

суть которой заключается в повышении коэффициента мощности электропередачи за счет использования локальных источников реактивной мощности (ИРМ), устанавливаемых в распределительных узлах и узлах нагрузки.

Определим мощность батарей конденсаторов $Q_{БК}$, устанавливаемых в сети 10 кВ, требуемых для понижения $\tan\varphi$ до значения $\tan\varphi_{тр} = 0,4$:

$$Q_{БК} = \Sigma Q - Q_{тр},$$

где ΣQ – реактивная мощность системы до КРМ [3]; $Q_{тр}$ – реактивная мощность при нормированном коэффициенте мощности;

$$Q_{тр} = \Sigma P \cdot \operatorname{tg} \varphi_{тр} = 8,8 \cdot 0,4 = 3,52 \text{ Мвар};$$

$$Q_{БК} = \Sigma Q - Q_{тр} = 6,9 - 3,52 = 3,38 \text{ Мвар}.$$

В ИМ принимаем к установке конденсаторную батарею 3,4 Мвар (рис. 5).

Проанализировав результаты моделирования, можно увидеть, что реактивная мощность уменьшилась до планируемой (рис. 6), потребляемые токи также уменьшились, а напряжение возросло после КРМ (рис. 4, 6). С учётом небольшой доли погрешности можно сделать вывод: созданная ИМ для КРМ адекватна (рис. 7).

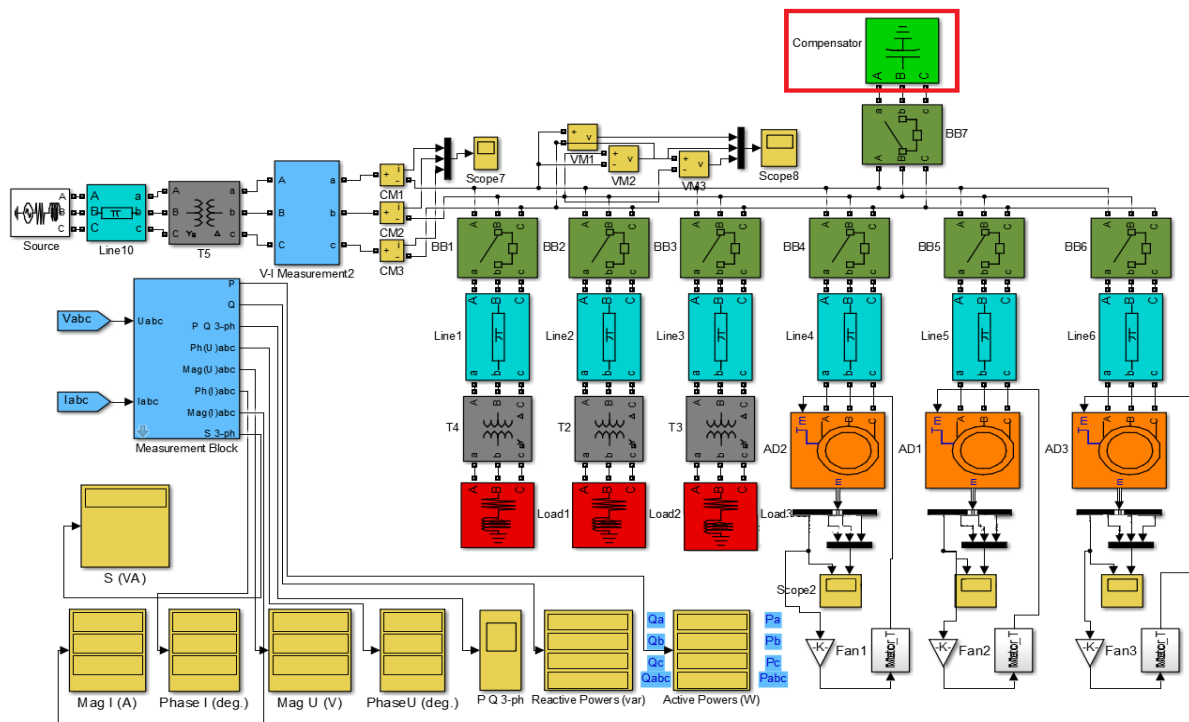


Рис. 5. ИМ с ИРМ

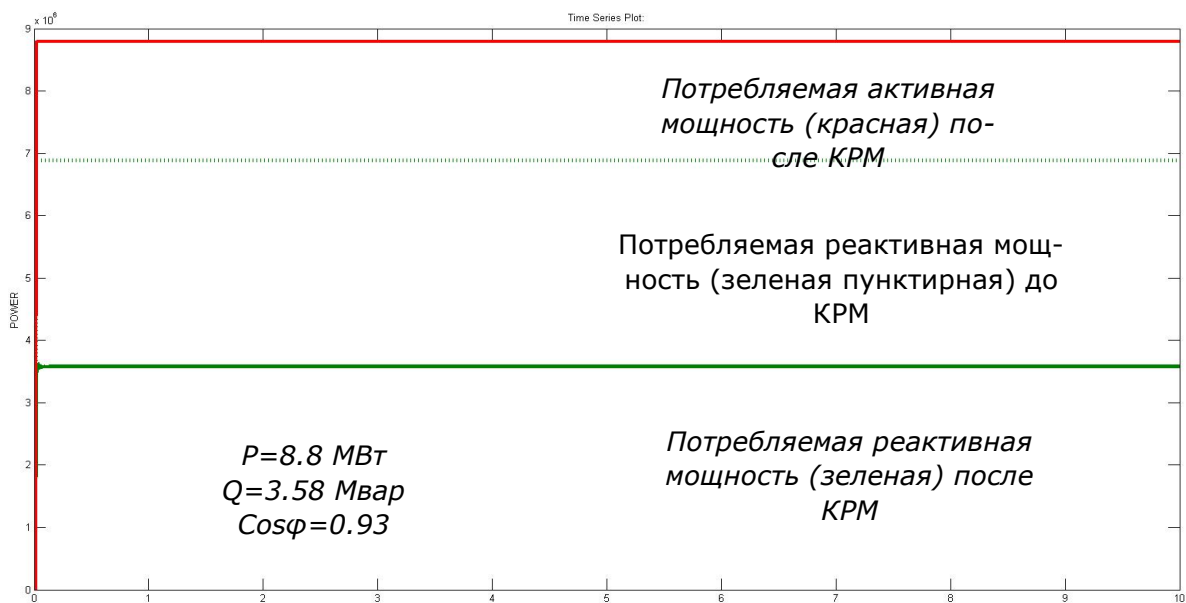


Рис. 6. Потребляемая мощность после КРМ

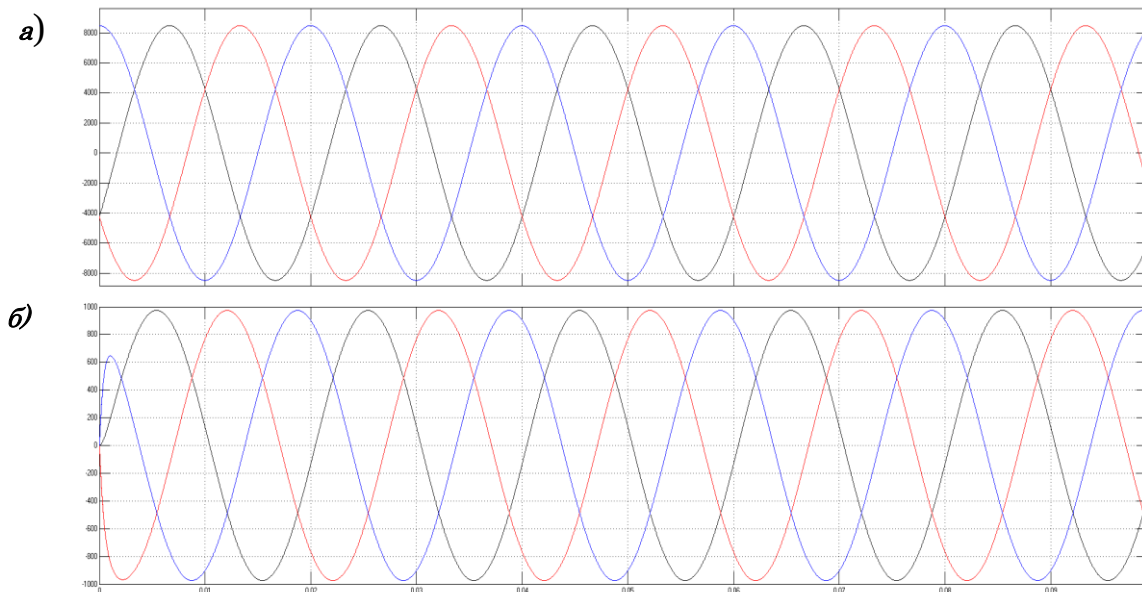


Рис. 7. Осциллограмм напряжения (а) и тока (б) после КРМ

Список источников

1. Черных И.В. Моделирование электро-технических устройств в Matlab, SimPowerSystems и Simulink. М.: ДМК Пресс; СПб.: Питер, 2008. 288 с.
2. Исследование адекватности GPSS World и AnyLogic при моделировании дискретно-событийных процессов: монография. СПб.: ВАС, 2011. 404 с.
3. Кирилина О.И. Управление компенсацией реактивной мощности промышленных узлов нагрузки: диссертация на соискание

ученой степени кандидата технических наук. Норильск, НИИ; Красноярск, КГТУ, 2001. 204 с.

4. Герман-Галкин С.Г., Кардонов Г.А. Электрические машины: лабораторные работы на ПК. СПб., 2003. 256 с.

5. Кабышев А.В. Компенсация реактивной мощности в электроустановках промышленных предприятий: учеб. пособие. Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2012. 234 с.

References

1. Chernykh I.V. Modeling of electrical devices in Matlab, SimPowerSystems and Simulink. Moscow: DMK Press; St. Petersburg: Peter, 2008. 288 p.
2. Study of the adequacy of GPSS World and AnyLogic in modeling discrete-event processes: monograph. St. Petersburg: VAS, 2011. 404 p.
3. Kirilina O.I. Management of reactive power compensation of industrial load nodes:

dissertation for the degree of Candidate of Technical Sciences. Norilsk, Research Institute; Krasnoyarsk, KSTU, 2001. 204 p.

4. Herman-Galkin S.G., Kardonov G.A. Electric machines: laboratory work on PCs. SPb., 2003. 256 p.

5. Kabyshev A.V. Reactive power compensation in electrical installations of industrial enterprises. Tomsk: Publishing House of Tomsk Polytechnic University, 2012. 234 p.

Научный вестник Арктики. 2022. №13. С. 36–42.
Scientific Bulletin of the Arctic. 2022;(13):36–42.

Технические науки

Научная статья

УДК 004.822

doi: 10.52978/25421220_2022_13_36–42

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДИК ПОСТРОЕНИЯ ИНЖЕНЕРНЫХ ОНТОЛОГИЙ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ

Андрей Сергеевич Хамица¹, Николай Николаевич Борисов²,
Алексей Михайлович Петров³

^{1,2,3}Заполярный государственный университет им. Н.М. Федоровского.

Аннотация. В статье рассматривается использование онтологических инструментов при процессе выбора электродвигателя. Разработана и описана инженерная онтология электродвигателя, а также ее использование для повышения эффективности процесса эксплуатации.

Ключевые слова: онтология, цифровая энергетика, электродвигатель, онтологический инструментарий.

Для цитирования: Хамица А.С., Борисов Н.Н., Петров А.М. Использование методик построения инженерных онтологий при эксплуатации электродвигателей // Научный вестник Арктики. 2022. №13. С. 36–42. http://dx.doi.org/10.52978/25421220_2022_13_36–42.

Technical sciences

Original article

USING METHODS FOR CONSTRUCTING ENGINEERING ONTOLOGIES IN THE OPERATION OF ELECTRIC MOTORS

Andrey S. Khamitsa¹, Nickolay N. Borisov², Alexey M. Petrov³

^{1,2,3}Fedorovsky Polar State University.

Abstract. The article discusses the use of ontological tools in the process of choosing an electric motor. An engineering ontology of the electric motor is developed and described, as well as its use to improve the efficiency of the operation process.

Keywords: ontology, digital energy, electric motor, ontological tools.

For citation: Khamitsa A.S., Borisov N.N., Petrov A.M. Using methods for constructing engineering ontologies in the operation of electric motors. *Scientific Bulletin of the Arctic*. 2022;(13):36–42. (In Russ.). http://dx.doi.org/10.52978/25421220_2022_13_36–42.

Введение. Работающим с электрооборудованием специалистам часто необходимо выбирать подходящие под кон-

кретные нужды и задачи устройства. Совершая выбор, они должны руководствоваться, прежде всего, характеристиками, указанными в методиках выбора

оборудования, доступного на рынке. Однако чаще всего подобная практика отсутствует, так как отдаётся предпочтение оборудованию, которое можно получить «здесь и сейчас».

Из-за того, что количество видов электрооборудования бурно растёт, тем более если учесть разнообразие устройств одного типа (например, кабели, которые можно подразделить на 10 групп, включающих в себя больше сотни наименований), специалист не способен ознакомиться с тысячами терминов, характеристик и иными важными «моментами». Учесть все характеристики, число которых для оборудования часто превышает сотни позиций, затруднительно. Это сложно, даже не учитывая того, что оборудование необходимо не в единичном числе, а в большой совокупности подходящих друг другу элементов.

Чтобы оптимизировать процесс совершенствования подбора необходимого оборудования, можно создать онтологический инструмент, способный:

- 1) помочь в поиске подходящего электрооборудования;
- 2) принимать во внимание все имеющиеся устройства;
- 3) учитывать не только объективные характеристики, но и субъективные (например, удобство установки и эксплуатации);
- 4) выдавать рациональные решения (с которыми уже и будет работать специалист).

Существует множество статей, содержащих методики для разработки подобной системы [1–3]. Есть работы, создающие решение этой проблемы для различных областей [4–7], но для выбора электрооборудования их нет.

В связи с этим следует:

- 1) рассмотреть способы организации данных, способные вместить в себя большое их количество;
- 2) выбрать из найденных способов оптимальный для создания необходимого инструмента;

3) изучить решения, на базе которых возможно создание системы, разработать нужное средство;

4) решить, какие параметры будут использоваться при описании используемых устройств;

5) найти наиболее полные базы, включающие в себя большинство используемого электроприборов;

6) создать готовые шаблоны, содержащие необходимые типы оборудования для тех или иных задач;

7) использовать инструмент визуализации для упрощения работы с инструментом.

Теория инженерного онтологического инструментария. При создании необходимого онтологического инструментария должны основываться на современных тенденциях в области энергетики, чтобы он мог соответствовать существующим сегодня и быть основой для принятых в дальнейшем норм и требований.

Наиболее популярной концепцией для понимания развития электроэнергетики в мире (и теперь уже в нашей стране) является «цифровая энергетика». Этот термин, использующийся в Российской Федерации только на площадках правительственных форумов, в настоящее время постепенно начинает входить в обиход.

Хоть и существует множество определений «цифровой энергетике», остановимся на данном варианте. **Цифровая энергетика** – энергетика, в которой кардинально поменялись взаимосвязи между производящими и потребляющими электроэнергию объектами, поскольку появились новые, доступные для каждого, цифровые технологии. Потребитель электроэнергии перестает быть «пассивным элементом» и хочет, чтобы повышалась надёжность электрообеспечения и качество электричества без роста цен [8].

Данное определение, конечно, хорошо описывает направление развития электроэнергетики, но для полного понимания нужно уточнить, в каком

направлении действуют специалисты в целях достижения результатов в заданных концепцией «цифровой энергетики».

Хотелось бы выделить среди нововведений в энергетике две группы: Decentralization, Digitalization, т.е. децентрализация и цифровизация [8].

И если первая группа в России представлена не в полной мере (а то и вовсе отсутствуют), то цифровизируют все области, причем с началом пандемии все большими темпами.

Хотелось бы выделить инженерные онтологии – одно из широко распространённых нововведений, которые специалисты применяют для решения различных прикладных задач [4–7]. Они используют их для организации больших объемов данных, не всегда поддающихся иерархической структуре, которые должны постоянно дополняться и обновляться. Эти системы способны справляться с большим количеством параметров и иметь общую структуру (например, если сила тока в онтологии описывается в микроамперах, то значения всех приборов должны быть преобразованы под эту характеристику).

Результаты применения онтологий зачастую положительные, но в основном они масштабируются только на одно предприятие и в крайне успешных моделях на одну компанию. Среди таких компаний можно отметить Google Dataset Search, которая использует их для поиска.

Цифровая энергетика активно использует онтологический инструментарий. Выделим три проекта из программы Н2020, направленных на обучение систем информационного моделирования зданий (BIM), которые успешно внедряют онтологические методы для своей деятельности:

- Net-UBIEP – используется для улучшения понимания об энергетических вопросах, возникающих вдоль цепочки формирования цены в строительной отрасли;

- BIMEET, основанная на BIM, – общеевропейская стандартизированная квалификационная структура для проведения тренинга по энергоэффективности;

- BIMcert – разрабатывает набор средств BIM, который позволяет удаленным друг от друга группам строительных проектов использовать технологии для улучшения обмена информацией и совместной работы [9].

Исходя из перечисленных концепций и идей, приходим к умозаключению о том, что требуется создать онтологический инструментарий, использующийся специалистами во время поиска, подходящего под конкретные нужды и задачи электрооборудования.

Методика создания онтологического инструментария. Современное производство не может обойтись без использования электродвигателей, поэтому перед специалистами стоит проблема по их рациональному подбору. Основываясь на вышеизложенной теории, необходимо сформировать конкретную методику создания инженерной онтологии для электродвигателя в зависимости от специфики работы специалиста с ним.

Сначала необходимо решить, какие параметры будут использоваться для описания электродвигателя (таблица). Хотелось бы акцентировать внимание на то, что учитываются не только объективные, но и субъективные характеристики, отражающие показатели человеческого фактора, которые необходимы, так как с оборудованием будут работать люди и не учитывать их мнение и способности нерационально.

Параметры электродвигателя

Объективные характеристики	Вес	Сила, с которой электродвигатель действует на опору, препятствующая падению, возникающая в поле сил тяжести
	Номинальное напряжение	Напряжение, на которое спроектирован электродвигатель и к которому относят его рабочие характеристики
	Номинальный ток	Наибольший допустимый по условиям нагрева токопроводящих частей и изоляции ток, при котором оборудование может работать неограниченно длительное время
	Мощность	Величина, которую двигатель может отдавать механической нагрузке с заявленными параметрами без нагрева
	Коэффициент мощности	Отношение активной мощности к полной, он показывает, насколько сдвигается по фазе переменный ток, протекающий через нагрузку, относительно приложенного к ней напряжения
	Частота вращения вала	Величина, равная количеству полных оборотов за единицу времени
	Кратность пускового тока	Отношение полезной механической мощности на валу электродвигателя к активной подводимой электрической мощности
Субъективные характеристики	Простота установки	Характеризует усилия, необходимые для введения в эксплуатацию электродвигателя и необходимой ему инфраструктуры
	Ремонтоспособность оборудования	Характеризует величину затрат, необходимых для поддержания электродвигателя в первоначальном виде
	Удобство эксплуатации	Характеризует способности управляемости и защищённости от ошибок использования персоналом электродвигателя
	Ознакомленность персонала с оборудованием	Характеризует наличие достаточных сведений (у персонала), необходимых для обеспечения функционирования электродвигателя

В целях осуществления данной идеи воспользуемся инструментом для создания онтологий различных предметных областей Protégé (актуальной на данный момент версии 5.5). В отличие от других программ, выбранная авторами может работать локально, является свободной (без наложенных ограничений использования) и имеет открытый код, что хо-

рошо повлияет на дальнейшее расширение и доработку онтологического инструментария.

Создадим классы используемых показателей, для более удобной организации структурируем параметры (левая часть, рис. 1) и для упрощения восприятия визуализируем их (правая часть, рис. 1).

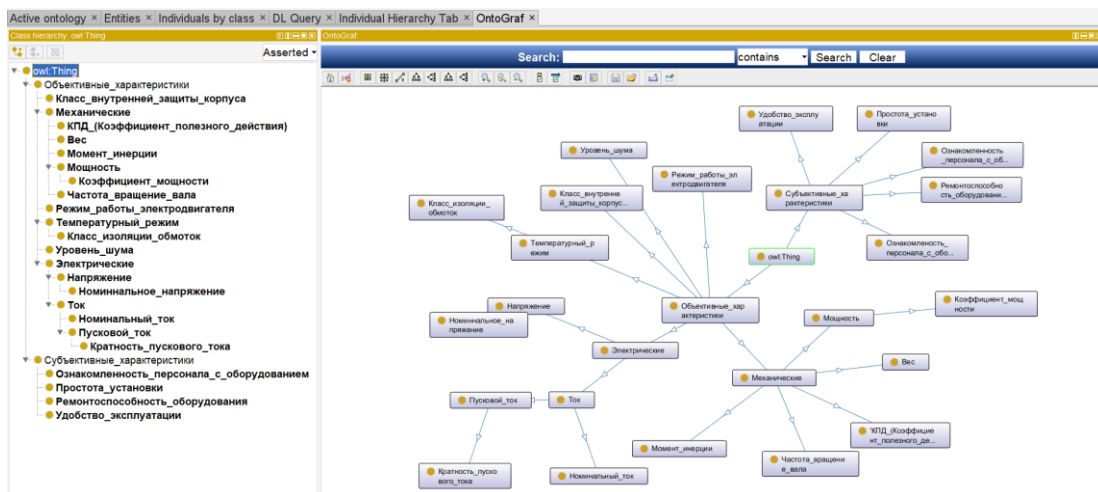


Рис. 1. Организованная структура онтологии в программной среде Protégé

Для работы берем асинхронные трехфазные электродвигатели серии АИР из общедоступного каталога производителя

[10]. После введения этих данных можно графически отобразить их (рис. 2).

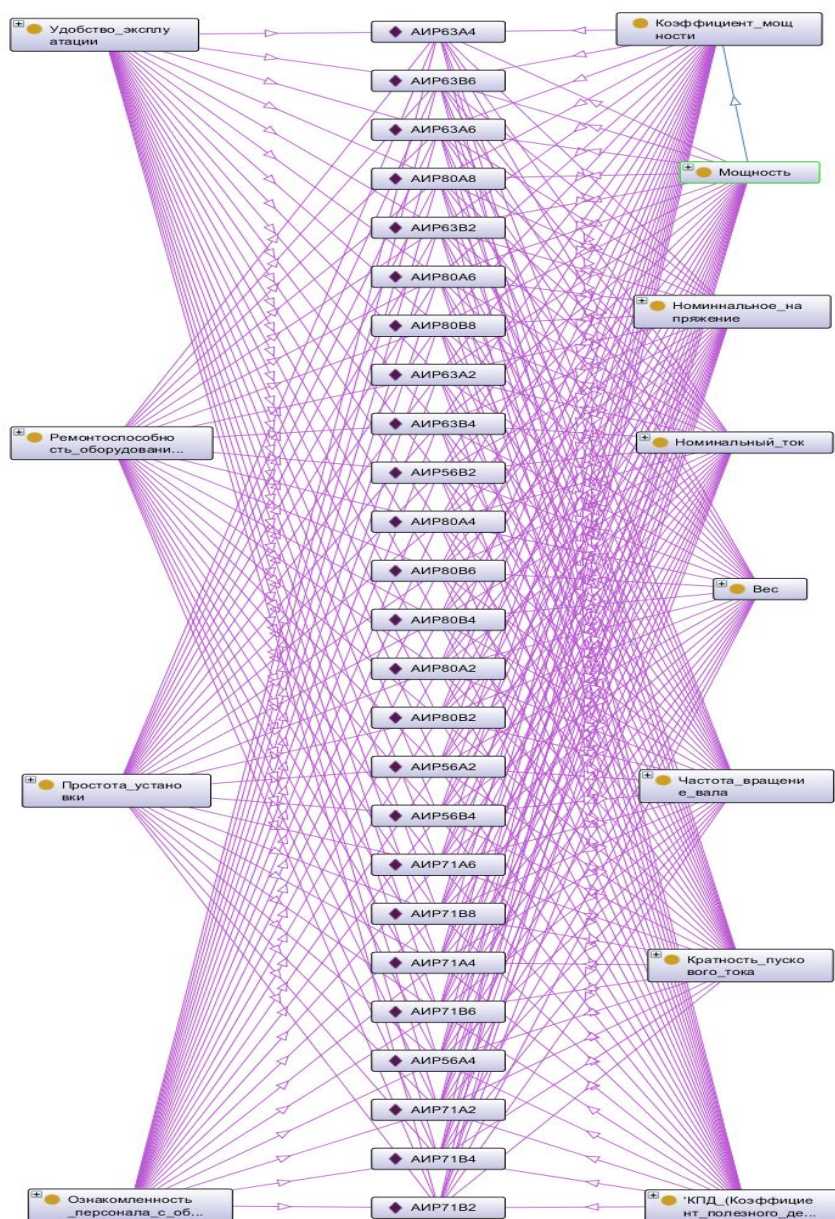


Рис. 2. Отображение введенных электродвигателей

На рис. 2 наблюдаем, как Protégé сформировал связь между двигателями и привязанными к ним классами, и видно, какие параметры привязаны к оборудованию. Можно структурировать данные

разным образом, и при наведении на какой-либо из электродвигателей выводится окно, содержащее принадлежащие ему характеристики (рис. 3).

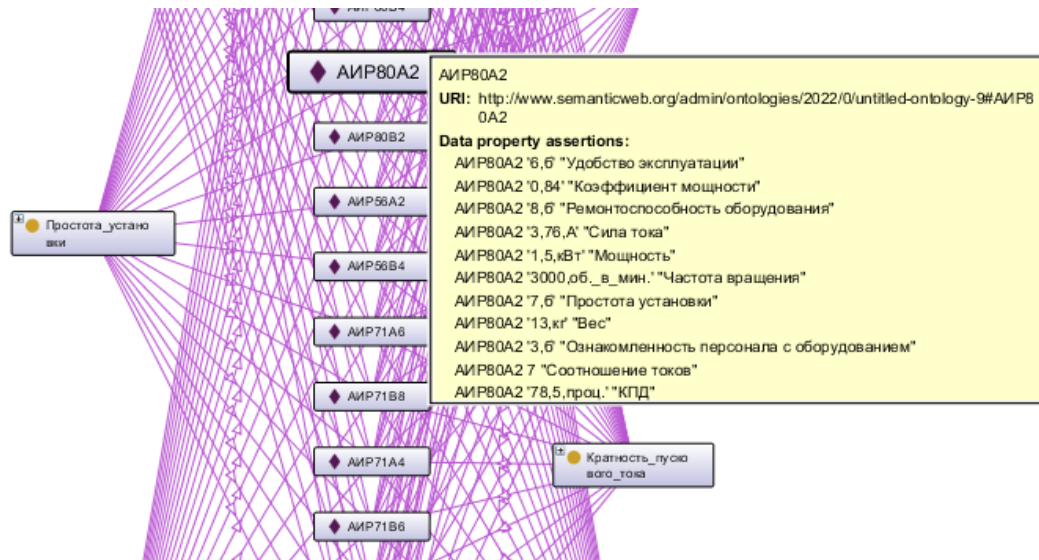


Рис. 3. Интерактивность в полученной структуре

Созданная онтология включает в себя достаточно большое количество данных, чтобы показать целесообразность действий по разработке онтологического инструментария электрооборудования.

Заключение. Целью данной работы являлось создание онтологического инструментария, который мог бы упростить поиск подходящего электрооборудования.

Минусом созданного авторами инструмента является то, что он охватывает только небольшую часть электродвигателей. Причиной такого малого

охвата является несоответствие характеристик одного и того же оборудования в разных источниках, отсутствие общей структуры имеющихся данных (каждый производитель выделяет свои характеристики).

Практической ценностью работы является то, что он может послужить базой для специалистов в области информационных технологий, на основе которой смогут они сделать продукт с удобным интерфейсом и более структурированной базой данных, автоматически сверяющейся с производителями электрооборудования.

Список источников

1. Применение Protege для создания онтологий предметных областей / К.А. Шаропин, Е.В. Берестнева, Т.Г. Маклакова, С.О. Шухарев // Информационные системы и технологии ИСТ-2017: Материалы докладов XXIII Международной научно-технической конференции, посвященной 100-летию НГТУ – Нижегородского политехнического института. Нижний Новгород: Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева, 2017. С. 647–649.
2. Максимов Н.В., Широков В.И., Шамагин А.Ю. Подход к разработке онтологии для предметной области электроэнергетики на основании стандартов ISO 15926, IEC 61970 // Автоматизация процессов управления. 2019. №2(56). С. 59–66.

3. Методика создания онтологии для автомобилестроительной отрасли // Вестник Донецкой академии автомобильного транспорта. 2011. №3. С. 50–57.
4. Столяров, А.И., Севостьянова А.В. Создание онтологии «Лекарственные средства» в системе Protege // Теория и практика применения свободного программного обеспечения: сборник материалов Российской молодежной конференции с элементами научной школы. Магнитогорск: Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, 2016. С. 161–166.
5. Создание онтологий в медицине с использованием программы Protege / О.Г. Берестнева, О.С. Жаркова, Т.Г. Маклакова,

С.О. Шухарев // Информационные и математические технологии в науке и управлении. 2017. №1(5). С. 86–93.

6. Темникова Е.А., Асламова В.С. Создание онтологии предметной области для АСМУП с помощью редактора Protege // Транспортная инфраструктура Сибирского региона. 2013. Т. 1. С. 375–380.

7. Петров А.М., Попов А.Н. Способ поиска решений в области измерительно-вычислительных комплексов сетей теплоснабжения с применением инженерных онтологий Protege // Актуальные вопросы современной науки: теория, методология, практика, инноватика: сборник научных статей по материалам IV Международной научно-практической конференции. Уфа: 2020. С. 64–69.

8. К вопросу о содержании понятия и особенностях онтологии цифровой энергетики и её правового образа / И.В. Понкин, В.П. Куприяновский, Е.М. Семенова [и др.] // International Journal of Open Information Technologies. 2019. Т. 7. №5. С. 66–74.

9. Цифровая энергетика – свет будущего / В.А. Бродт, В.В. Бродт, В.А. Коваленко, Т.В. Потемкина // International innovation research: сборник статей XVI Международной научно-практической конференции. Пенза, 2019. С. 40–42.

10. Каталог электродвигателей. URL: https://samelectric.ru/wp-content/uploads/downloads/2019/12/setz-air-katalog-220-380-www.samelectric.ru_.pdf (дата обращения: 19.01.2022).

References

1. Using Protege to create domain ontologies / K.A. Sharopin, E.V. Berestneva, T.G. Maklakov, S.O. Shukharev // Information systems and technologies IST-2017: Proceedings of the XXIII International Scientific and Technical Conference dedicated to the 100th anniversary of NSTU - Nizhny Novgorod Polytechnic Institute. Nizhny Novgorod: Nizhny Novgorod State Technical University. R.E. Alekseeva, 2017. Pp. 647–649.

2. Maksimov N.V., Shirokov V.I., Shamanin A.Yu. Approach to the development of an ontology for the subject area of the electric power industry based on the standards ISO 15926, IEC 61970. *Automation of management processes*. 2019;(2(56)):59–66.

3. Methodology for creating an ontology for the automotive industry. *Bulletin of the Donetsk Academy of Automobile Transport*. 2011;(3):50–57.

4. Stolyarov, A.I., Sevostyanova A.V. Creation of the ontology «Medications» in the Protege system // Theory and practice of using free software: a collection of materials of the Russian Youth Conference with elements of a scientific school. Magnitogorsk: Magnitogorsk State Technical University. G.I. Nosova, 2016, pp. 161–166.

5. Creation of ontologies in medicine using the Protege program / O.G. Berestneva, O.S. Zharkova, T.G. Maklakov, S.O. Shukharev. *Information and Mathematical Technologies in Science and Management*. 2017;(1(5)):86–93.

6. Temnikova E.A., Aslamova V.S. Creating an ontology of a subject area for ASMUP using the Protege editor. *Transport infrastructure of the Siberian region*. 2013;(1):375–380.

7. Petrov A.M., Popov A.N. A way to search for solutions in the field of measuring and computing systems of heat supply networks using engineering ontologies Protege // Topical issues of modern science: theory, methodology, practice, innovation: collection of scientific articles based on materials of the IV International Scientific and Practical Conference. Ufa: 2020. Pp. 64–69.

8. To the question of the content of the concept and features of the ontology of digital energy and its legal image / I.V. Ponkin V.P. Kupriyanovsky, E.M. Semenova [et al.] // *International Journal of Open Information Technologies*. 2019;7(5):66–74.

9. Digital energy – the light of the future / V.A. Brodt, V.V. Brodt, V.A. Kovalenko, T.V. Potemkin // International innovation research: collection of articles of the XVI International Scientific and Practical Conference. Penza, 2019. Pp. 40–42.

10. Catalog of electric motors. URL: https://samelectric.ru/wp-content/uploads/downloads/2019/12/setz-air-katalog-220-380-www.samelectric.ru_.pdf (date of access: 01/19/2022).

Научный вестник Арктики. 2022. №13. С. 43–47.
Scientific Bulletin of the Arctic. 2022;(13):43–47.

Технические науки

Научная статья
УДК 004.8:624.131.1
doi: 10.52978/25421220_2022_13_43–47

**ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ В ГЕОТЕХНИЧЕСКОМ
МОНИТОРИНГЕ: НАСТОЯЩЕЕ И БУДУЩЕЕ**

**Жанна Геннадьевна Петухова¹, Михаил Вадимович Петухов²,
Игорь Сергеевич Беляев³**

^{1,2,3}Заполярный государственный университет им. Н.М. Федоровского.

^{1,2,3}E-mail: ist@norvuz.ru.

Аннотация. В современном мире развитие строительной сферы в Арктической зоне РФ (далее АЗРФ) серьезно ограничено множеством сложных проблем, таких как перерасход средств и времени, охрана здоровья и безопасность, нехватка рабочей силы и производительности. Кроме того, строительная отрасль является наименее цифровизированной в мире, что затрудняет решение проблем, связанных с мониторингом таяния вечной мерзлоты. Наиболее популярной и перспективной на данный момент является технология искусственного интеллекта, которая с помощью геотехнического мониторинга может прогнозировать таяние вечномерзлых грунтов.

Ключевые слова: искусственный интеллект, мониторинг, Арктика.

Для цитирования: Петухова Ж.Г., Петухов М.В., Беляев И.С. Искусственный интеллект в геотехническом мониторинге: настоящее и будущее // Научный вестник Арктики. 2022. №13. С. 43–47. http://dx.doi.org/10.52978/25421220_2022_13_43–47.

Technical sciences

Original article

**ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN GEOTECHNICAL MONITORING:
PRESENT AND FUTURE**

Zhanna G. Petukhova¹, Mikhail V. Petukhov², Igor S. Belyaev³

^{1,2,3}Fedorovsky Polar State University.

^{1,2,3}E-mail: ist@norvuz.ru.

Abstract. In the modern world, the development of the construction sector in the Arctic zone of the Russian Federation is seriously limited by many complex problems, such as cost and time overruns, health and safety, lack of labor and productivity. In addition, the construction industry is the least digitalized in the world, which makes it difficult to solve problems related to monitoring the melting of permafrost. The most popular and promising at the moment is artificial intelligence technology, which, with the help of geotechnical monitoring, can predict the melting of permafrost soils.

Keywords: artificial intelligence, monitoring, Arctic.

For citation: Petukhova Zh.G., Petukhov M.V., Belyaev I.S. Artificial intelligence in geotechnical monitoring: present and future. *Scientific Bulletin of the Arctic*. 2022;(13):43–47. (In Russ.). http://dx.doi.org/10.52978/25421220_2022_13_43-47.

Введение. Строительная отрасль в Арктике сталкивается со многими проблемами, которые препятствуют ее росту и приводят к крайне низкому уровню производительности по сравнению с другими отраслями [1]. Так получилось, что в Российской Арктике строительная отрасль является одной из наименее оцифрованных.

Отсутствие цифровых технологий и чрезмерно ручной характер отрасли делают управление проектами более сложным и излишне утомительным [3; 4]. Отсутствие адекватного цифрового опыта и внедрение технологий в строительной отрасли также были связаны с неэффективностью затрат, задержками в реализации проектов, низким качеством исполнения, неосведомленным принятием решений и низкими показателями производительности, здоровья и безопасности [5]. В последние годы стало очевидным, что строительная отрасль должна цифровизироваться и быстро наращивать технологический потенциал, особенно в условиях существующей нехватки рабочей силы, пандемии COVID-19 и необходимости обеспечения устойчивой инфраструктуры.

Передовая цифровая технология, такая как искусственный интеллект (ИИ), в последние годы помогла внести значительный вклад в улучшение бизнес-операций, процессов обслуживания и производительности промышленности [1]. Внедрение методов искусственного интеллекта помогло повысить автоматизацию и обеспечить лучшие конкурентные преимущества по сравнению с традиционными подходами [7]. Подполя искусственного интеллекта, такие как машинное обучение, обработка естественного языка, робототехника, компьютер-

ное зрение, оптимизация, автоматизированное планирование и планирование [8], были применены для решения сложных проблемы в области геотехнического мониторинга.

1. Анализ возможности применения геотехнического мониторинга в работе искусственного интеллекта. Для работы с данными, полученными с использованием технологии геотехнического мониторинга, требуется установка инвазивных приборов, таких как инклинометры и/или акселерометры, для измерения вращательного смещения и изменения скоростей смещения. В современном арктическом строительстве появилась необходимость эти данные обрабатывать и автоматизировать для дальнейшей работы с неустойчивыми грунтами.

Геотехническая инженерия имеет дело с материалами (например, почвой и породой), которые по своей природе проявляют различное и неопределенное поведение из-за неточных физических процессов, связанных с их формированием. Моделирование поведения таких материалов в геотехнических инженерных приложениях является сложным и иногда выходит за рамки возможностей большинства традиционных форм проектирования. В последние годы применение искусственного интеллекта (далее ИИ) в широком спектре геотехнических разработок быстро растет. ИИ может быть очень полезен при решении проблем, в которых детерминированные решения недоступны или чрезмерно дороги с точки зрения вычислительных затрат, но для которых имеются значительные наблюдения и данные. Из-за природы материалов геотехнический мониторинг имеет дело с большим количеством неопределенностей, чем другие

области гражданского строительства и машиностроения.

Работая с огромными массивами исследований, которые необходимо обрабатывать с использованием метода анализа данных, технология искусственного интеллекта может быть подходящим и эффективным альтернативным способом решения инженерно-геологических задач, и в последние годы были достигнуты значительные успехи, поскольку этой области уделяется много внимания.

2. Первые попытки обработки данных из датчиков. Система геотехнического мониторинга, запущенная в Норильске в качестве пилотного проекта, показала свою эффективность. Данный проект охватывает основные промышленные объекты «Норникеля» и часть жилой инфраструктуры города. Полноценная интеграция системы обеспечит экологическую безопасность и эксплуатационную надежность зданий и сооружений в суровых арктических условиях.

Первый проект «Система мониторинга зданий и сооружений» был запущен на аварийных складах дизельного топлива Норильско-Таймырской энергетической компании (ОАО «НТЭК», дочернее предприятие «Норильского никеля»). Его цель – обеспечить непрерывный автоматизированный мониторинг температуры вечномерзлых грунтов фундаментов и деформационного поведения фундаментов. Такой мониторинг позволит обеспечить бесперебойную эксплуатацию объектов, своевременно выявлять потенциально опасные дефекты и отклонения, которые могут привести к повреждению зданий и сооружений или их отдельных элементов.

Как пояснил первый заместитель генерального директора АО «НТЭК» Дмитрий Литвинов, объем инвестиций в пилотный проект составил 50,5 млн. руб. Он был реализован на 11 объектах хранения дизельного топлива (8 резервуарах и 3 насосных станциях) ТЭЦ–1, ТЭЦ–2 и ТЭЦ–3. В ранее пробуренных

скважинах было установлено около 40 термометров, которые позволяют контролировать температурный режим грунтов оснований объектов в режиме онлайн. Кроме того, были установлены сейсмические датчики, позволяющие отслеживать продольные и поперечные колебания строительных конструкций объектов, и инклинометры, реагирующие на отклонения железобетонных конструкций фундаментов. Система также позволяет контролировать температурный и влажностный режим в техническом подземелье, что является необходимым показателем для геотехнического мониторинга.

Данные, которые поступают с датчиков, моментально обрабатываются и передаются в центр сбора информации. Цифровая платформа позволяет оператору в режиме реального времени проводить контроль основных параметров безопасности объекта. В будущем данная платформа будет интегрирована в общий комплекс сбора и анализа параметров состояния всех объектов под названием «информационно-диагностическая система безопасности» [2]. На основе этих данных можно проводить прогнозирование поведения почвы с использованием искусственного интеллекта.

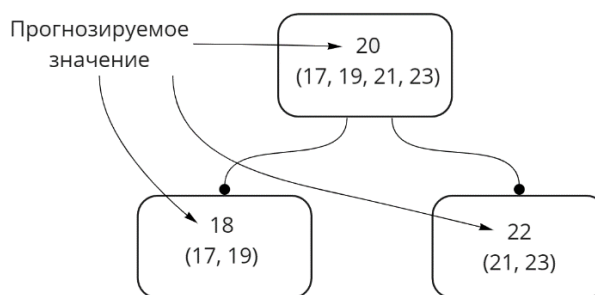
3. Выбор алгоритма для обработки входящих данных. Для выявления наилучшего алгоритма прогнозирования данных в этом случае был выбран алгоритм дерева регрессии с градиентным усилением – это метод, который учится на своих ошибках. По сути, это мозговой штурм и интеграция множества плохих алгоритмов обучения для обучения. Алгоритм дерева регрессии с градиентным усилением основан на идее Boosting, Adaboosting – самый известный алгоритм усиления. Основная идея состоит в том, чтобы использовать несколько слабых классификаторов для создания сильного классификатора. Алгоритм дерева регрессии с градиентным усилением используется для прогнози-

рования регрессии, а также может использоваться для классификации после корректировки.

Идея алгоритма дерева регрессии с градиентным усилением дает естественное преимущество в обнаружении различных отличительных признаков и комбинаций признаков. В разных строительных отраслях используют его для автоматического обнаружения эффективных функций и комбинаций функций в качестве функций в модели LR для повышения точности прогнозирования CTR (прогнозирование рейтинга).

Принцип работы дерева регрессии с градиентным усилением. Общий процесс дерева регрессии аналогичен дереву классификации, разница в том, что каждый узел дерева регрессии получит прогнозируемое значение, взяв в качестве примера уровень таяния, прогнозируемое значение равно среднему значению, принадлежащему этому узлу. При ветвлении каждый порог признака исчерпывается, чтобы найти наилучшую точку сегментации, но лучшим критерием является уже не максимальная энтропия, а минимальная квадратичная ошибка. Другими словами, чем больше вариаций о разрушении прогнозируется неправым, тем более возмутительной является ошибка и тем больше будет квадрат ошибки. Минимизируя квадрат ошибки, можно найти наиболее надежный базис ветвления. Ветвление действует до тех пор, пока уровень разрушения на каждом листовом узле не станет уникальным или не будет достигнуто заданное условие завершения (например, верхний предел количества листьев).

Если уровень на последнем листовом узле не уникален, значит, средний уровень разрушения на заданном участке используется как прогнозируемое значение конечного узла (рисунок).



Пример работы дерева регрессии

Заключение. Необходимость отслеживания всего процесса разрушения зданий в режиме реального времени является очень актуальным на территории АЗРФ. В настоящее время традиционная технология обнаружения таких участков выявляет много неточностей и проблем, связанных с человеческим фактором. С быстрым развитием технологий обработки современных цифровых данных и технологии искусственного интеллекта задача по выявлению разрушаемых домов в АЗРФ станет более экономичной и практичной, особенно работая в реальном времени. Анализ отслеживания с помощью данных с датчиков не только имеет важное практическое значение и огромные экономические выгоды в системе мониторинга устойчивости зданий, но и позволяет предсказать, какие сооружения представляют потенциальную опасность для людей.

Список источников

1. Беляев И.С. Использование цифровых платформенных решений для развития строительной сферы Арктической зоны Российской Федерации // Научный вестник Арктики. 2021. №10. С. 36–41.
2. Петухова Ж.Г., Петухов М.В. Влияние изменения климата на несущую способность зданий // Научный вестник Арктики. 2021. №11. С. 35–41.

3. Хомяков М.Ю., Щеголева Н.Л. Сокращение вычислительной сложности классифицирующих алгоритмов семейства AdaBoost // Известия высших учебных заведений. 2010. №4. С. 32–39.
4. Петухова Ж.Г. Оценка стратегии развития предпринимательства в регионе и поддержка МСП на муниципальном уровне // Экономика и управление. 2016. №11 (133).

C. 62–69. URL: http://emj.spbume.ru/index.php?option=com_content&view=article&id=1073&Itemid=45.

5. Freund Y., Schapire R. Experiments with a new boosting algorithm // Machine learning:

Proc. of the 13th int.conf. ICML '96, 3–6 July 1996. Bari, Italy. San Mateo, CA: Morgan Kaufmann, 1996. P. 148–156.

References

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

2. Petukhova Zh.G., Petukhov M.V. The influence of climate change on the bearing capacity of buildings. *Scientific Bulletin of the Arctic*. 2021;(11):35–41.

3. Khomyakov M.Yu., Shchegoleva N.L. Reduction of computational complexity of classifying algorithms of the AdaBoost family. *Izvestia of higher educational institutions*. 2010;(4):32–39.

4. Petukhova Zh.G. Assessment of the strategy of entrepreneurship development in the region and support for SMEs at the municipal level. *Economics and Management*. 2016;(11):62–69. URL: http://e.spbume.ru/index.php?option=com_content&view=article&id=1073&Itemid=45.

5. Freund Y., Schapire R. Experiments with a new boosting algorithm // Machine learning: Proc. of the 13th int.conf. ICML '96, 3–6 July 1996. Bari, Italy. San Mateo, CA: Morgan Kaufmann, 1996. P. 148–156.

Научный вестник Арктики. 2022. №13. С. 48–53.
Scientific Bulletin of the Arctic. 2022;(13):48–53.

Технические науки

Научная статья

УДК 621.744.079:669.34

doi: 10.52978/25421220_2022_13_48–53

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ
ПРОТИВОПРИГАРНЫХ ПОКРЫТИЙ НА ОСНОВЕ ГРАФИТА
В ПРОЦЕССЕ ОТЛИВКИ АНОДНОЙ МЕДИ**

Леонид Владимирович Крупнов¹, Андрей Дмитриевич Бородин²,
Александр Александрович Пономаренко³

^{1,3}ЗФ ПАО «ГМК «Норильский никель».

²Заполярный государственный университет им. Н.М. Федоровского.

Аннотация. В статье рассмотрен вопрос применения противопригарных покрытий на основе графита, предназначенных для процесса отливки анодной меди в медные изложницы. Основной целью данной работы стало снижение удельного расхода покрытия на тонну отливаемой меди. Показаны результаты проведения опытно-промышленных испытаний на этапах отливки медных анодов и электролитического рафинирования меди.

Ключевые слова: огневое рафинирование, анодная медь, литьё, изложница, противопригарные покрытия, графит, шамотный мертель, медный шлам.

Для цитирования: Крупнов Л.В., Бородин А.Д., Пономаренко А.А. Определение возможности применения противопригарных покрытий на основе графита в процессе отливки анодной меди // Научный вестник Арктики. 2022. №13. С. 48–53. http://dx.doi.org/10.52978/25421220_2022_13_48–53.

Technical sciences

Original article

**DETERMINATION OF THE POSSIBILITY OF USING
OF MOULD WASHES BASED ON GRAPHITE IN THE PROCESS
OF CASTING ANODE COPPER**

Leonid V. Krupnov¹, Andrey D. Borodin², Alexander A. Ponomarenko³

^{1,3}MMC Norilsk Nickel.

²Fedorovsky Polar State University.

Abstract. The article considers the issue of using mould washes based on graphite, intended for the process of anode copper casting into copper moulds. The main objective of this work was reducing the specific consumption of the mould wash per ton of cast copper. There are shown the results of pilot tests at the stages of copper anode casting and electrolytic refining of copper.

Keywords: fire refining, anode copper, casting, mould, mould washes, graphite, chamotte mortar, copper slime.

For citation: Krupnov L.V., Borodin A.D., Ponomarenko A.A. Determination of the possibility of using of mould washes based on graphite in the process of casting anode copper. *Scientific Bulletin of the Arctic*. 2022;(13):48–53. (In Russ.). http://dx.doi.org/10.52978/25421220_2022_13_48-53.

Состояние вопроса. Противопригарные покрытия, применяемые на сегодняшний день в технологии огневого рафинирования на стадии отливки анодной меди в медные изложницы, представленные в виде водной суспензии огнеупорного порошка, имеют в своём составе преимущественно оксиды кремния и алюминия (кремнезём и глинозём, соответственно). Несмотря на высокую степень адгезии покрытия к изложницам, частицы огнеупорного порошка срываются потоком расплавленной меди и концентрируются в центральной части полотна анода. Это приводит к необходимости частого пополнения слоя покрытий на изложнице. Удельный расход покрытия составляет 0,68 кг на 1 т отливаемых анодов.

Помимо высокого удельного расхода покрытий на отливку анодов, снижается КПД процесса электрорафинирования анодной меди ввиду наличия остатков огнеупорного порошка на полотне.

Известно, что чистая медь обладает высокой электропроводностью и теплопроводностью, что в сочетании с высокой пластичностью позволяет широко использовать её в электрохимической и теплотехнической отраслях промышленности. Однако наличие примесей, в той или иной степени, ухудшает технические характеристики металла. Один из путей включения примесей в катодный осадок – зароботка твёрдых частиц электролитного шлама и противопригарного покрытия, используемого при отливке анодной меди в процессе электролитического рафинирования.

Для снижения удельного расхода покрытия возможно использование покры-

тия на графитовой основе со связующими добавками. Ранее в Плавильном участке №3 плавильного цеха Медного завода (ПУ–3 ПЦ МЗ) проводили испытания противопригарного покрытия на основе кристаллического графита в смеси с поливиниловым спиртом, однако ввиду быстрого выгорания спирта частицы графита теряли адгезионную способность, а при добавлении шамотного мертеля брак оставался на высоком уровне [1]. Одним из возможных приемлемых решений, представленных на российском рынке, является покрытие «Литоформ» марки 900 поставщика/производителя ООО «СПС», Самарская область, г. Тольятти, предназначенное для отливки цветных металлов серийного производства [2].

Целью данной работы является снижение количества твёрдых нерастворимых частиц в медном электролите цеха электролиза меди (ЦЭМ), поступающих с остатками противопригарного покрытия на поверхности медных анодов и с сохранением текущих производственных показателей по отливке медных анодов.

Методика проведения испытаний. Текущее противопригарное покрытие, применяемое в настоящее время в ПУ–3 ПЦ МЗ – шамотный мертель – серо-белый порошок с содержанием Al_2O_3 не менее 31% (далее – контрольное покрытие) [3].

Экспериментальное покрытие («Литоформ» марки 900) представляет собой графитсодержащую пасту тёмно-коричневого цвета (далее – опытное покрытие).

Покрытия готовят по следующей методике. В специальной ёмкости с объёмом $\approx 200 \text{ дм}^3$ смешивают техническую воду с твёрдой частью (порошок шамотного мертеля) в соотношении 2:1. Постоянное перемешивание суспензии обеспечивают методом барботирования при помощи сжатого воздуха. При приготовлении суспензии опытного покрытия соблюдают соотношение «Техническая вода : Литоформ», равный 3:1.

На две независимые медеразливочные машины (МРМ) устанавливают 20 вновь отлитых изложниц. Перед первой разливкой контрольные и опытные изложницы затирают порошком шамотного мертеля. После первого круга отливки анодов изложницы поливают, со-

ответственно, суспензиями контрольного и опытного покрытия. Интенсивность поливки регулируют на основании визуальной оценки поверхности изложниц.

По окончании отливки и охлаждения анодов с использованием контрольного и опытного покрытий партии годных анодов направляют в ЦЭМ МЗ, которыми оснащают две независимые серии электролизных ванн. Процесс электро-рафинирования ведут с четырёхразовой выгрузкой анодов.

Обсуждение результатов испытаний в ПУ-3 ПЦ МЗ. Химический и гранулометрический составы контрольного и опытного покрытий представлены в табл. 1 и 2.

Таблица 1

Химический состав противопопригарных покрытий

Наименование	Содержание, % (масс.)					
	Fe	SiO ₂	CaO	MgO	Al ₂ O ₃	C
Мертель огнеупорный алюмосиликатный (контрольное покрытие)	1,40	53,54	0,53	0,41	35,4	0,34
«Литоформ» марки 900 (опытное покрытие)	16,17	5,74	0,33	< 0,10	0,40	62,4

Таблица 2

Гранулометрический состав противопопригарных покрытий [5]

Наименование	Выход класса крупности, %				
	-1,00 мм + 0,50 мм	-0,50 мм + 0,10 мм	-0,10 мм + 0,071 мм	-0,071 мм + 0,045 мм	-0,045 мм
Шамотный мертель (контрольное покрытие)	0,53	21,49	7,73	10,67	59,58
«Литоформ» марки 900 (опытное покрытие)	4,58	7,08	5,36	9,06	73,92

Из данных, представленных в табл. 1, видно, что основным компонентом опытного покрытия является углерод, который не оказывает отрицательного влияния на качество катодного осадка [4, С. 7].

В соответствии с данными табл. 2 наблюдается увеличение выхода класса крупности -0,045 мм на 14,3% (абс.) и класса крупности +0,5 мм – на 4,0% (абс.) в опытном образце в сравнении с контрольным.

Известно [1], что при приготовлении суспензии покрытия, наносимой в дальнейшем на литейную форму, преобладание частиц с крупностью -0,05 мм благоприятно сказывается на седиментационной устойчивости данной суспензии (устойчивость частиц к оседанию в ёмкости после окончания перемешивания). Частицы крупностью +0,5 мм оседают на дно ёмкости, в связи с чем требуется непрерывное перемешивание суспензии. Увеличение седиментационной устойчивости позволяет после нанесения и

сушки суспензии образовывать равномерный слой покрытия на всех изложницах, что положительно влияет на процесс отливки анодов.

В ПУ–3 ПЦ МЗ проводили разливку анодов с использованием опытного покрытия. По окончании процесса разливки анодной меди было получено 1151 шт. опытных анодов, из которых отбраковано 22 шт. (1,91%) по следующим признакам:

- 7 шт. – посторонние включения;
- 11 шт. – заплески;
- 4 шт. – искривление электроконтактов (ушей).

Значение 1,91% является приемлемым и находится на одном уровне с текущими показателями выхода брака анодов при огневом рафинировании черновой меди.

Контрольное покрытие (шамотный мертель) наносили на изложницы, установленные на независимую МРМ. На рис. 1 показана изложница, покрытая суспензией шамотного мертеля (после сушки).



Рис. 1. Изложница с покрытием на основе шамотного мертеля

Анод, отлитый в изложницу, покрытую шамотным мертелем (контрольным покрытием), представлен на рис. 2.

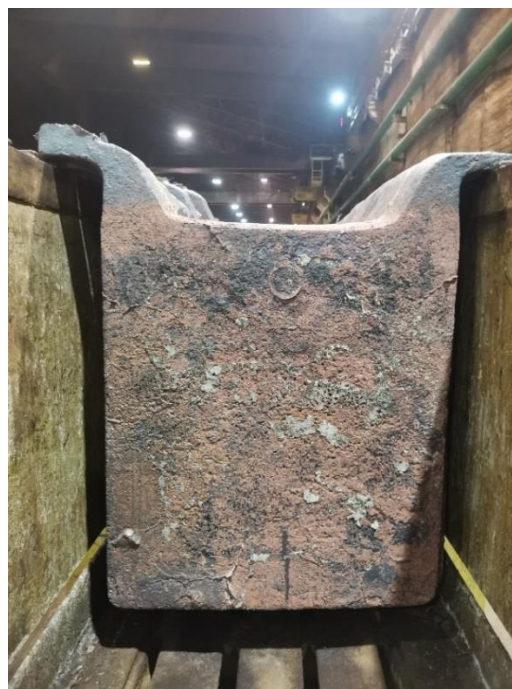


Рис. 2. Медный анод, отлитый с использованием шамотного мертеля

После испарения влаги суспензии опытного покрытия с изложницы готовое покрытие приобрело чёрную окраску, характерную для графитовых огнеупорных наполнителей, что наглядно показано на рис. 3.



Рис. 3. Изложницы, обработанные суспензией противопопригарного покрытия «Литоформ» марки 900

Анод, отлитый в изложницу, обработанную суспензией покрытия «Литоформ», представлен на рис. 4.



Рис. 4. Медный анод, отлитый с использованием покрытия «Литоформ» марки 900

Удельный расход опытного покрытия в период опытно-промышленных испытаний (ОПИ) составил 0,34 кг на 1 т отливаемой меди при соотношении Ж:Т (Техническая вода : Литоформ) = 3:1, что меньше расхода контрольного покрытия (0,68 кг/т анодной меди) в 2 раза.

Обсуждение результатов испытаний в ЦЭМ МЗ. ОПИ опытных анодов проводили в ЦЭМ МЗ. Содержание меди в электролите контрольной и опытной серий составило от 60,2 до 61,8 г/дм³. В среднем концентрация серной кислоты в электролите опытной серии составила 159,2 г/дм³, контрольной – 165,2 г/дм³.

В табл. 3 представлены основные параметры электролитического рафинирования контрольных и опытных анодов.

Таблица 3

Параметры электрорафинирования анодной меди в период ОПИ

№ п/п	Наименование серии	Масса загруженных анодов, т	Выход скрапа, %	Продолжительность анодной кампании, сут.	Масса партии катодов, т	Выход брака, %	Вес одного катода, кг	Продолжительность настоя, сут.	Средняя нагрузка, кА	Среднее напряжение на серию, В
1	Опытная серия	269,1	12,0	17,4	70,3	0	69,7	5,4	356,5	10,4
					57,3	0	56,8	3,6		11,8
					54,0	0	53,6	2,9		13,4
					65,3	0	64,7	3,9		15,5
Среднее значение					61,7	0	61,2	3,9	—	12,8
2	Контрольная серия	269,7	12,3	17,3	49,8	0	49,4	3,2	356,5	10,4
					64,8	0	64,3	4,3		11,8
					70,0	0	69,5	4,2		13,6
					61,8	0	61,3	3,9		15,5
Среднее значение					61,6	0	61,1	3,9	—	12,8

Из данных табл. 3 следует, что условия электрорафинирования опытных и контрольных анодов были идентичными. Содержание твёрдой фазы в электролите контрольной серии составило 10,9 мг/дм³, что на 7,3% ниже, чем в контрольной – 11,7 мг/дм³. При этом содержание примесных компонентов в опытных катодах составило 27,2 г/т, что на 5,9% ниже, чем в контрольных – 28,9 г/т.

По итогам испытаний в ПУ-3 ПЦ и ЦЭМ МЗ при использовании противогарного покрытия «Литоформ» марки 900 не обнаружено негативного влияния на технологические параметры отливки анодов и электрорафинирования с получением катодной меди, соответствующей марке М00к по ГОСТ 859 [5].

Методика приготовления покрытий не претерпела существенных изменений, за исключением корректировки Ж:Т с 2:1 до 3:1, что позволило снизить удельный расход противопригарного покрытия с 0,68 кг/т до 0,34 кг/т. При этом снижение остаточного количества покрытия, поступающего с медными анодами в ЦЭМ, снижает риск получения бракованной катодной меди, поскольку попадание мелкодисперсных нерастворимых частиц покрытия провоцирует появление плавучего шлама. Помимо того, повышается качество медных катодов по содержанию примесных компонентов.

Дальнейшее решение по замене шамотного мертеля на углеродсодержащее покрытие будет приниматься с учетом экономической целесообразности мероприятия.

Выводы:

- удельный расход противопригарного покрытия «Литоформ» марки 900 составил 0,34 кг на 1 т отливаемой меди, что в 2 раза ниже расхода шамотного мертеля (0,68 кг/т);
- брак медных анодов при отливке меди с применением опытного покрытия составил 1,91% от общего количества полученных анодов, что считается приемлемым наряду с текущими показателями (1,7%–3,0%);
- брак медных катодов за время проведения ОПИ в ЦЭМ МЗ отсутствовал;
- содержание твердой фазы в электролите опытной серии составило 10,9 мг/дм³, что ниже на 7,3%, чем в контрольной серии – 11,7 мг/дм³;
- содержание примесных компонентов в опытных катодах составило 27,2 г/т, что ниже на 5,3%, чем в контрольных.

Список источников

1. Исследования новых составов противопригарных покрытий для улучшения качества медных анодов / А.Д. Бородин, П.В. Малахов, В.Г. Орудзов, С.И. Чипиляга // Цветные металлы. 2022. №2. С. 49–55.
2. NE 4191-005-48171403-2001. Покрытие защитное для литья металлических сплавов «Литоформ». Технические условия // ООО «Базальт-А. Смоленск, 2001. 10 с.
3. ГОСТ 6137–2015. Мертели огнеупорные алюмосиликатные. Технические условия. Введ. 01.04.2016. М: Стандартинформ, 2015. 15 с.

4. Антипин Г.В., Банников М.Т., Домашнев А.Д. Торцевые уплотнения аппаратов химических производств. М.: Машиностроение, 1984. 112 с.
5. ГОСТ 24598–81. Руды и концентраты цветных металлов. Ситовый и седиментационный методы определения гранулометрического состава. Введ. 01.01.1983. М: Государственный комитет СССР по стандартам, 1981. 8 с.
6. ГОСТ 859–2014. Медь. Марки. Введ. 01.07.2015. М.: Стандартинформ, 2015. 6 с.

References

1. Research of new compositions of non-stick coatings to improve the quality of copper anodes / A.D. Borodin, P.V. Malakhov, V.G. Orudzhov, S.I. Chipilyaga. *Nonferrous metals*. 2022;(2):49–55.
2. NE 4191-005-48171403-2001. Protective coating for casting metal alloys «Litoform». Specifications // ООО Bazalt-A. Smolensk, 2001. 10 p.
3. GOST 6137–2015. Refractory aluminosilicate mortars. Technical conditions. Introduction 04/01/2016. M: Standartinform, 2015. 15 p.

4. Antipin G.V., Bannikov M.T., Domashnev A.D. End seals for chemical production devices. M.: Mashinostroenie, 1984. 112 p.
5. GOST 24598–81. Ores and concentrates of non-ferrous metals. Sieve and sedimentation methods for determining the granulometric composition. Introduction 01/01/1983. M: USSR State Committee for Standards, 1981. 8 p.
6. GOST 859–2014. Copper. Marks. Introduction 07/01/2015. Moscow: Standartinform, 2015. 6 p.

Научный вестник Арктики. 2022. №13. С. 54–59.
Scientific Bulletin of the Arctic. 2022;(13):54–59.

Технические науки

Научная статья

УДК 622.7

doi: 10.52978/25421220_2022_13_54–59

**ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ВОВЛЕЧЕНИЯ
ЛЕЖАЛЫХ ХВОСТОВ ХВОСТОХРАНИЛИЩА №1
В МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЕ ПРОИЗВОДСТВО**

Зинаида Георгиевна Уфатова¹, Екатерина Александровна Севостьянова²

^{1,2}Заполярный государственный университет им. Н.М. Федоровского.

¹E-mail: z-ufatowa@yandex.ru.

²E-mail: sevushae@mail.ru.

Аннотация. В статье представлен минералогический, химический и гранулометрический состав техногенного сырья хвостохранилища №1. Была раскрыта гравитационно-флотационная схема обогащения лежалых хвостов, произведен анализ содержания полезных компонентов на различных стадиях переработки, а также отмечено экономическое и экологическое значение вовлечения хвостов в металлургическое производство.

Ключевые слова: хвостохранилище, лежалые хвосты, обогащение, экология.

Для цитирования: Уфатова З.Г., Севостьянова Е.А. Исследование технологии вовлечения лежалых хвостов хвостохранилища №1 в металлургическое производство // Научный вестник Арктики. 2022. №13. С. 54–59. http://dx.doi.org/10.52978/25421220_2022_13_54–59.

Technical sciences

Original article

**RESEARCH OF TECHNOLOGY OF INVOLVEMENT
OF STALE TAILINGS OF THE TAILINGS DUMP №1
IN METALLURGICAL PRODUCTION**

Zinaida G. Ufatova¹, Ekaterina A. Sevostyanova²

^{1,2}Fedorovsky Polar State University.

¹E-mail: z-ufatowa@yandex.ru.

²E-mail: sevushae@mail.ru.

Abstract. The author's article presents the mineralogical, chemical and particle size of the technogenic raw materials of the tailings № 1. The gravitational and flotation scheme of the enrichment of layal tails was disclosed, the content of beneficial components at various stages of processing was analyzed, and the economic and environmental importance of the engagement of the tails in metallurgical production was noted.

Keywords: tailings storage, stale tails, enrichment, ecology.

For citation: Ufatova Z.G., Sevostyanova E.A. Research of technology of involvement of stale tailings of the tailings dump №1 in metallurgical production. *Scientific Bulletin of the Arctic*. 2022;(13):54–59. (In Russ.). http://dx.doi.org/10.52978/25421220_2022_13_54-59.

«Норильский никель» – мировой лидер на рынке никеля и палладия, один из крупнейших производителей платины и меди. Компания придерживается принципиальной позиции по комплексному извлечению полезных компонентов, а экологическая безопасность производства является одним из её ключевых приоритетов.

Длительное освоение месторождений Норильского промышленного района привело к образованию на земной поверхности значительного количества отходов переработки руд. Содержание ценных компонентов в них и общий объем накопленных металлов позволяет рассматривать эти объекты в качестве дополнительной сырьевой базы.

Вместе с тем в настоящее время вопросы экологической безопасности хвостохранилищ приобретают особое значение, так как практически все накопители техногенного сырья долгосрочно оказывают негативное влияние на гидросферу, атмосферу, почвенно-растительный покров и изменяют существующие ландшафты.

По этим причинам появилась необходимость в технологии переработки, которая смогла бы обеспечить доизвлечение полезных компонентов и позволила бы восполнить выбывшие производственные мощности, а также снизила бы экологическую нагрузку на окружающую среду.

В ходе выполнения научно-исследовательской работы были проведены исследования материала хвостохранилища №1 Норильской обогатительной фабрики (далее НОФ) (рис. 1). Краткая характеристика хвостохранилища представлена в табл. 1.

Таблица 1

**Краткая характеристика
хвостохранилища №1 НОФ**

Название	Хвостохранилище №1
Расположение	2,5 км от площадки НОФ
Текущий статус	Действующие хвостохранилище
Дата начала эксплуатации	Октябрь 1948 г.
Способ возведения	Намывное
Текущая отметка гребня	49 м
Текущий объем, заполнение	144 млн. м ³
Класс опасности объекта/класс опасности складированных отходов обогащения	II класс ГТС/ V класс



Рис 1. Хвостохранилище №1 НОФ

Материал хвостохранилища характеризуется минеральным составом, представленным в табл. 2. Сульфидные минералы в пробе представлены пирротинном, пентландитом, халькопиритом и пиритом, сумма которых составляет до 5%мас. Редкие сульфидные минералы, такие как борнит, никелин, миллерит, сфалерит, галенит и другие, содержатся в количестве сотых-тысячных долей процента.

Таблица 2

Химический состав сульфидных материалов

Минерал	% мас.	Элемент, %						
		Fe	Ni	S	Co	Cu	Pb	Zn
Пирротин	3,5	59,9–60,1	0,2–0,4	39,6–39,7				
Пирит	0,5	45,7–45,8	0,7	53,9–60				
Пентландит	0,2–0,5	30–31,2	33,4–34,6	33,8–33,9	1,4–1,6			
Халькопирит	0,2–0,5	31,4		35,1–35,2		33,5–33,6		
Кубанит	сотые–тысячные доли процента	40,4		36,3		23,3		
Галенит	сотые–тысячные доли процента	1,5		13,5–13,6			86,5	
Сфалерит	сотые–тысячные доли процента	2,4		33				64,6
Другие сульфиды	сотые–тысячные доли процента							

Техногенное месторождение состоит в меньшей мере из двух типов отвалных хвостов НОФ, различающихся по своим технологическим свойствам, а именно: слагаемых дамбы и складированных в основном бассейне хвостохранилища. Химические составы отвалных хвостов представлены в табл. 3.

Таблица 3

Химический состав хвостов хвостохранилища №1 НОФ

Тип материала отвалных хвостов	Химический состав, %, г/т*										
	Ni общ.	Ni s	Cu	Fe	Co	S	SiO2	Pt*	Pd*	Au*	Ag*
Материал основного бассейна	0,134	0,07	0,1	10,3	0,01	0,891	43,67	0,348	0,779	0,045	1,035
Материал дамбы	0,227	0,17	0,2	11,9	0,013	1,827	40,98	0,596	1,419	0,076	0,895

Гранулометрический состав материала основного бассейна и дамбы хвостохранилища №1 представлен в табл. 4 и табл. 5 [1].

Таблица 4

Гранулометрический состав материала, образующего основной бассейн хвостохранилища

Класс крупности	Выход класса крупности, %		
	частн.	по «+»	по «-»
+0,250	1,50	1,50	98,50
-0,250+0,125	10,72	12,22	87,78
-0,125+0,071	17,90	30,12	69,88
-0,071+0,045	13,47	43,59	56,41
-0,045+0,020	18,62	62,21	37,79
-0,020+0,010	8,80	71,01	28,99
-0,010+0,000	28,99	100,00	0,00
	100,00		

Таблица 5

Гранулометрический состав материала дамбы хвостохранилища

Класс крупности	Выход класса крупности, %		
	частн.	по «+»	по «-»
+0,500	2,26	2,26	97,74
-0,500+0,250	17,16	19,42	80,58
-0,250+0,125	29,70	49,12	50,88
-0,125+0,071	18,01	67,13	32,87
-0,071+0,045	10,18	77,31	22,69
-0,045+0,020	7,29	84,60	15,40
-0,020+0,010	5,95	90,55	9,45
-0,010+0,000	9,45	100,00	0,00
	100,00		

Из анализа качества и объемов техногенного минерального сырья можно сделать вывод, что вовлечение лежалых хвостов хвостохранилища №1 в металлургическое производство действительно является перспективной задачей.

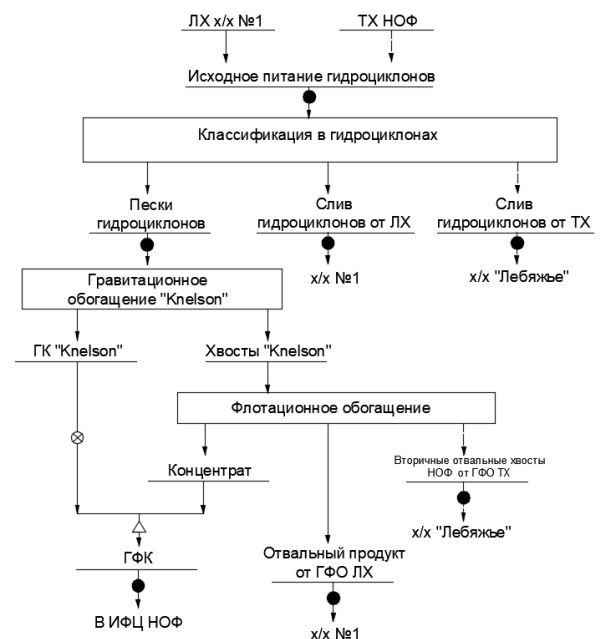
Переработка лежалых хвостов в Норильском промышленном районе производится в цехе по переработке лежалых хвостов (ЦПЛХ) ООО «Нордінвэс». Годовая мощность предприятия составляет 5 млн. т. [2].

Обогащение материала хвостохранилища осуществляется по схеме комбинированного типа с предварительной классификацией в гидроциклонах для выведения из технологического процесса шламовой фракции

Поднятие лежалых хвостов (ЛХ) из хвостохранилища №1 осуществляется путем их растепления и размыва хвостами НОФ текущего производства (ТХ).

Пульпу хвостохранилища с содержанием 20% твердого вещества подвергают классификации с выделением материала крупностью $-1,2 + 0,25$ мм, который затем поступает на обогащение в концентраторы «Knelson». В них из фракций крупностью более 40 мкм осуществляется извлечение минералов платиновой группы, а с помощью флотационного

обогащения песковых фракций лежалых хвостов крупностью менее 40 мкм получают общий гравитационно-флотационный концентрат (ГФК). Для наглядности представлена принципиальная схема переработки лежалых хвостов (рис. 2) [3].



● - Балансовая точка учета (прямое измерение качественных и количественных показателей, расчетный показатель). Точка балансового учета ГФК находится на территории ИФЦ НОФ, точка технологического контроля количественных показателей в здании ЦПЛХ;

△ - Технологическая точка учета (прямое измерение качественных и количественных показателей);

⊗ - Технологическая точка учета (прямое измерение количественных показателей);

Рис. 2. Принципиальная схема переработки ЛХ (ТХ)

Сливы гидроциклонов и отвальные продукты от лежалых хвостов поступают на хвостохранилище №1, а от текущих – на хвостохранилище «Лебяжье». Товарный продукт – гравитационно-флотационный медно-никелевый концентрат – поставляется обратно на Норильскую обогатительную фабрику с целью последующего вовлечения его в оборот ПАО «ГМК «Норильский никель» (рис. 3) [3].

Также в рамках исследования были рассмотрены пробы металлосодержащих продуктов на разных этапах гравитационно-флотационной схемы обогащения лежалых хвостов. На основе

среднегодовых проб были получены следующие результаты (табл. 6).

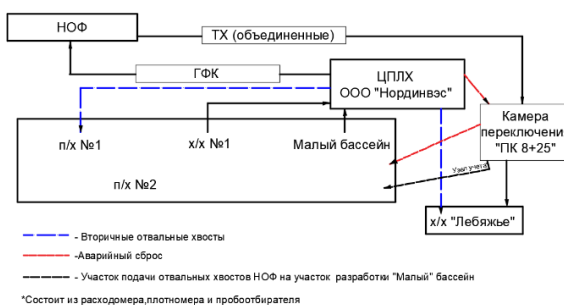


Рис 3. Схема гидротранспорта продуктов переработки ЛХ НОФ

Таблица 6

Содержание полезных компонентов на различных этапах переработки

Продукт	Массовая доля									
	%				г/т					
	Ni	Cu	Co	S	Pt	Pd	Ru	Ir	Au	Ag
Исходное питание	0,170	0,116	0,0160	1,91	0,42	0,80	0,035	0,0195	0,041	0,58
Пески гидроциклонов	0,135	0,094	0,0110	1,44	0,35	0,64	0,030	0,0097	0,035	0,47
ГК «Knelson»	0,469	0,548	0,0238	4,66	22,94	5,76	0,132	0,0393	0,563	2,73
ГФК	1,564	0,792	0,0551	21,25	4,17	9,11	0,465	0,1632	0,410	5,23
Слив гидроциклонов	0,170	0,116	0,0110	1,91	0,38	0,84	0,036	0,0126	0,034	0,70
Вторичные хвосты	0,109	0,089	0,0104	0,99	2,76	0,53	0,022	0,0064	0,030	0,39

На диаграммах произведен сравнительный анализ среднегодовых проб материала до и после процесса гравитационно-флотационного обогащения (рис. 4, 5).

Содержание практически всех ценных компонентов во вторичных хвостах меньше, чем в исходных. Стоит отметить, что в этом случае повышение полноты извлечения полезных компонентов из лежалых хвостов хвостохранилища №1 НОФ имеет большое природоохранное значение. Переработка лежалых хвостов снижает негативное влияние на экологию местности. Это происходит за счет уменьшения выбросов тяжёлых металлов и токсичных продуктов окисления минералов в природную среду. Вторичные же отвальные хвосты направляются на хвостохранилище «Лебяжье» и хвостохранилище №1 НОФ –

для создания дополнительных конструктивных элементов устойчивости дамб.

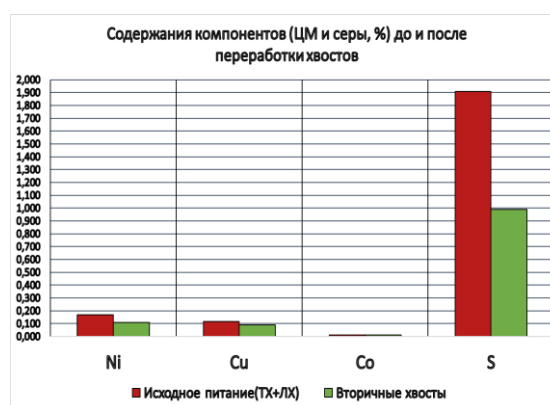


Рис. 4. Диаграмма содержания компонентов (цветные металлы и сера) до и после переработки хвостов



Рис. 5. Диаграмма содержания компонентов (драгоценные металлы) до и после переработки хвостов

Выводы. Из результатов вещественного состава техногенного сырья хвостохранилища №1 НОФ следует, что оно имеет значительную извлекаемую и потребительскую ценность. Вовлечение в эксплуатацию хвостов металлургического производства позволяет продлить срок службы предприятия, восполняет выбывающие производственные мощности по балансовым запасам руд при росте качественных показателей использования минеральных ресурсов недр [4].

Список источников

1. Информационный отчет по теме: «Изучение вещественного состава и разработка оптимальной схемы гравитационно-флотационного обогащения силикатных хвостов хвостохранилища НОФ-1 на материале укрупненной лабораторной технологической пробы». Этап 1. ООО «Институт Гипроникель». СПб., 2016, 51 с.
2. Лебедев А.С., Чебурашкин И.С., Маркворт Лутц. Работа флотокамер «allflot»

В ходе анализа выявлены различия в технологических свойствах взятых проб: как в гранулометрическом, так и в химическом составе двух проб материала. Так, в пробе, отобранной с основного бассейна, содержание класса –71 мкм составило 69,88%, а с дамбы – 32,87%, кроме того, материал с дамбы богаче материалом основного бассейна по всем полезным компонентам: Ni – в 1,65, Cu – в 2,98, Pt – в 1,71 и Pd – в 1,82 раза.

Современный уровень обогащения материала хвостохранилища №1 позволяет извлекать значительную часть оставшихся ценных компонентов (Ni 26,1%; Cu 30,09%; Pt 23,43%; Pd 30,58%; Au 23,25%; Ag 32,95%).

Уменьшение качественных и количественных показателей хвостов после переработки оказывает благоприятное влияние на экологическую обстановку района, а вторичные отвальные хвосты от переработки способствуют укреплению дамбы.

при переработке лежалых хвостов Норильской ОФ // Золото и технологии. 2021. №1. 51 с.

3. Временный технологический регламент по порядку учета металлосодержащих продуктов, полученных ООО «Нординвэс» по гравитационно-флотационной схеме обогащения хвостов «лежалых» ВТР 03783480.30.11-1-2020. Норильск, 2020. 13 с.

4. Рыльникова М.В., Юн А.Б., Терентьева И.В. Второе дыхание жезказгана // Горная промышленность. 2015. №3. С. 32.

References

1. Information report on the topic: «Study of the material composition and development of an optimal scheme for gravity-flotation enrichment of silicate tailings of the NOF-1 tailing dump on the material of an enlarged laboratory technological sample». Stage 1. Gipronickel Institute LLC, SPb., 2016. 51 p.
2. Lebedok A.S., Cheburashkin I.S., Markvort Lutz. The operation of the allflot flotation chambers during the processing of stale

tailings of the Norilsk Concentrator. *Gold and Technologies*. 2021;(1):51.

3. Temporary technological regulation on the procedure for accounting for metal-containing products obtained by Nordinves LLC according to the gravity-flotation scheme for the enrichment of stale VTR tailings 03783480.30.11-1-2020. Norilsk, 2020. 13 p.

4. Rylnikova M.V., Yun A.B., Terent'eva I.V. Zhezkazgan's second wind. *Mining industry*. 2015;(3):32.

Научный вестник Арктики. 2022. №13. С. 60–66.
Scientific Bulletin of the Arctic. 2022;(13):60–66.

Технические науки

Научная статья
УДК 727.1.05:332.142.6
doi: 10.52978/25421220_2022_13_60–66

**ПРИНЦИПЫ ФОРМИРОВАНИЯ АРХИТЕКТУРЫ
ОБЩЕОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ЗДАНИЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ
«ЗЕЛЕННЫХ» ТЕХНОЛОГИЙ В СУРОВОМ КЛИМАТЕ**

Олеся Владимировна Киселева¹, Наталья Валерьевна Кривошеина²

^{1,2}Сибирский федеральный университет.

Аннотация. В статье рассматривается современный и зарубежный опыт проектирования общеобразовательных учреждений с целью выявления основных принципов применения «зеленых» технологий в суровых условиях Севера и Арктики. В последнее время во всем мире все большую популярность набирает направление «зеленое» строительство, позволяющее создать устойчивую архитектуру среди школьных зданий для создания минимального уровня потребления энергетических ресурсов, обеспечивая здоровую и комфортную среду в течение всего жизненного цикла здания. Применен метод анализа и сравнения мирового опыта строительства школьных зданий с использованием «зеленых» технологий для выявления общих и отличительных характеристик, которые проанализированы в статье. Рассмотрены национальные стандарты оценки и сертификации зданий, которые способствуют экологической устойчивости среды.

Ключевые слова: «зеленые» технологии, «зелёное» строительство, энергоэффективность, устойчивая среда, энергосбережение, природно-климатические условия, экологическая безопасность, Север, школьные здания.

Для цитирования: Киселева О.В., Кривошеина Н.В. Принципы формирования архитектуры общеобразовательных зданий с применением «зеленых» технологий в суровом климате // Научный вестник Арктики. 2022. №13. С. 60–66. http://dx.doi.org/10.52978/25421220_2022_13_60–66.

Technical sciences

Original article

**PRINCIPLES FOR FORMING THE ARCHITECTURE
OF EDUCATIONAL BUILDINGS WITH THE USE
OF «GREEN» TECHNOLOGIES IN A HARD CLIMATE**

Olesya V. Kiseleva¹, Natalia V. Krivosheina²

^{1,2}Siberian Federal University.

Abstract. The article discusses modern and foreign experience in the design of educational institutions in order to identify the basic principles for the use of «green» technologies in the harsh conditions of the North and the Arctic. Recently, the direction of

«green» building is gaining more and more popularity all over the world, which allows creating a sustainable architecture among school buildings to create a minimum level of energy consumption, providing a healthy and comfortable environment throughout the entire life cycle of the building. The method of analysis and comparison of world experience in the construction of school buildings using «green» technologies has been applied to identify common and distinctive characteristics, which are analyzed in the article. National standards for evaluation and certification of buildings that contribute to the environmental sustainability of the environment are considered.

Key words: «green» technologies, «green» construction, energy efficiency, sustainable environment, energy saving, natural and climatic conditions, environmental safety, North, school buildings.

For citation: Kiseleva O.V., Krivosheina N.V. Principles for forming the architecture of educational buildings with the use of «green» technologies in a hard climate. *Scientific Bulletin of the Arctic*. 2022;(13):60–66. (In Russ.). http://dx.doi.org/10.52978/25421220_2022_13_60–66.

В России и за рубежом активно развиваются направления «зеленое» строительство и «зеленые» технологии, определяющие вектор на повышение энергоэффективности и экологической безопасности зданий и сооружений. Одной из главных задач на современном этапе является минимизация негативного воздействия зданий и сооружений на окружающую среду и повышение безопасности жизнедеятельности человека. При строительстве зданий, использующих невозобновляемые источники энергии, человек должен стремиться защитить экосистему от разрушительной своей деятельности, при этом обеспечивая устойчивое развитие для будущих поколений. Это значит, что возводимые объекты должны быть пассивными, активными, экологически устойчивыми, а их эксплуатация эффективной и безопасной для естественных процессов сложившейся экосистемы. Наиболее эффективным инструментом повышения устойчивости окружающей среды выступает проектирование и строительство «зеленых» зданий.

«Зеленые» здания, работающие на принципах ресурсосбережения и энергоэффективности, помогают не только снизить негативное воздействие строительных проектов на окружающую среду, но и сохранить здоровье людей,

эксплуатирующих эти объекты. В ситуации, когда электрическое освещение и отопление труднодоступных населенных пунктов осуществляется за счет энергоносителей (например, дизельного топлива), внедрение технологий солнечной и ветровой энергетики является значительным шагом по снижению затрат и рисков [1]. Такой подход позволит не только обеспечить устойчивое функционирование чувствительной арктической экосистемы и повысить уровень экологической безопасности, но и улучшить качество жизни людей, проживающих в отдаленных северных районах.

Существуют основные общие направления в области «зеленого» строительства для достижения устойчивой среды обитания. Вот некоторые из них: инфраструктура и качество внешней среды, качество архитектуры и планировки объекта, комфорт и экология внутренней среды, утилизация отходов, энергосбережение и энергоэффективность, безопасность жизнедеятельности и т.д. [2]. Указанные направления тесно взаимосвязаны между собой и четко прослеживаются по системам сертификации «зеленых» зданий. Среди них одна из самых первых – английская система BREEAM (British Building Research Establishment Environmental Assessment Method), существующая с 1990 г. Одной из наиболее

широко признанных считается американская система оценки LEED (Leadership in Energy and Environment Design), принятая в 1998 г., а также российская GREEN ZOOM [3]. За прошедшие два года к ним добавились американские WELL и FitWel. Это сертификаты нового уровня, в которых прежде всего оценивается уровень здоровья человека и влияние на него архитектурной среды. Например, наличие теплиц и огородов на крышах домов, создание среды экологического досуга с целью положительного влияния на здоровье человека. Особенно это актуально для северных и арктических территорий.

Северные территории очень важны в климатических процессах на Земле. Арктический и субарктический пояс создают экологическую систему планеты. Изменение климата и сохранение многолетней мерзлоты – глобальные проблемы, которые взаимосвязаны между собой. Любые климатические изменения отражаются на существующем биоразнообразии. Будущее энергетического рынка связано с освоением новых месторождений на северных территориях [4]. Исходя из этого, при строительстве жилых и общественных зданий на северных территориях следует использовать современные «зеленые» технологии. Это необходимо для создания полноценной комфортной среды, которая будет максимально компенсировать природно-климатические условия без вреда для окружающей среды. Данные «зеленые» технологии, конечно, будут неразрывно связаны с вопросами энергоснабжения, так как без решения этой задачи развивать хрупкие в экологическом плане территории очень затруднительно и дорого.

«Зеленая» архитектура охватывает много типологий зданий. Одной из самых популярных являются общеобразовательные школы. Строительство «зеленых» образовательных учреждений на Севере реализуется технологиями «зеленого» строительства и обеспечивает правильный пример будущему поколению к

созданию устойчивой архитектурной среды. По данным исследований, дети находятся в школе до 60% дневного времени – это довольно большой промежуток и, конечно же, условия учреждения оказывают влияние на состояние здоровья, культуру и мировоззрение учащихся. Применение «зеленых» технологий в школьных зданиях помогает создавать осознанное отношение человека к окружающей среде. Необходимо формировать у детей понимание неразрывной взаимосвязи человека и природы, взаимозависимости деятельности человека и ее последствий для природы и самого человека как части природы. В «зеленых» школах учащиеся и все сотрудники занимаются экологическим просвещением, максимально вовлечены в поддержание экологической политики школы.

В современной России проектирование школ с применением «зеленых» технологий только начинает развиваться, но в зарубежной практике это архитектура настоящего. Как правило, это инновационные школы, при проектировании и строительстве которых учитываются особенности природного ландшафта, природные элементы и растительность, проектирование зеленых крыш и применение натуральных строительных материалов. Все это влияет на качественную архитектурную среду и оказывает положительное влияние на состояние здоровья, психофизический комфорт, развитие творческих способностей у учащихся [5].

Одним из ярких примеров «зеленой» школы является школа Saunalahti в город Эспоо, Финляндия, спроектированная архитекторами компании «Verstas Architects» (рис. 1). Это малоэтажное здание с системами эффективной вентиляции с рекуперацией тепла, регулируемым освещением и солнечной энергией. Для отделки интерьеров и фасадов здания школы архитекторы использовали экологичные природные материалы. Аутентичные материалы долго-

вечны и придают зданию теплую и спокойную атмосферу – грубый красный кирпич, теплое дерево, бетон и медь на фасадах и дуб, бетон, светлый кирпич с шероховатой поверхностью в интерьерах. Деревянные фасады, выходящие на школьные дворы, защищены длинными карнизами.



Рис. 1. Виды, генплан, план и разрез «зеленой» школы Saunalahti в городе Эспоо, Финляндия.
Источник: https://www.archdaily.com/406513/saunalahti-school-verstas-architects/51ef5810e8e44e94e50000d9-saunalahti-school-verstas-architects-south-west-elevation?next_project=no

Не менее интересным является начальная школа во французском городе Бобиньи (рис. 2). Тщательная ориентация здания по отношению к сторонам света обеспечивает каждый этаж постройки оптимальным уровнем естественного освещения. Северный и восточный фасады насчитывают по три этажа, а в южной части высота постройки уменьшается для того, чтобы впустить солнце в центр объема. Там находится овалный внутренний двор-atrium. По его периметру сгруппированы классные комнаты подготовительной группы с одной скругленной прозрачной стеной, сквозь которую в помещения попадают солнечные лучи. Организована многоуровневая «зеленая» крыша.



Рис. 2. Виды, генплан, план и разрез «зеленой» школы в городе Бобиньи, Франция.
Источник: <https://www.archdaily.com/307384/complex-school-in-bobigny-mikou-design-studio>

Еще одним удачным примером «зеленой» школы является Nueva School в США (рис. 3). Архитекторы сделали акцент на зеленую крышу студенческого центра, которая содержит растения, произрастающие обычно на калифорнийских лугах. Растения сохраняют естественную экосистему района, помогают изолировать здания, снижают потребление энергии, необходимой для их обогрева и охлаждения, уменьшают сток ливневых вод и сводят к минимуму эффект теплового острова. Постройки ориентированы в соответствии с солнцем и направлением северо-западных бризов в теплый период. В школе установлен монитор ресурсов. Система является всесторонним устройством мониторинга, используется для измерения и отображения как стандартных коммунальных услуг (газ, электричество и вода), так и воздействия инновационных зеленых архитектурных систем здания – общий углеродный след (рис. 4). Информация, полученная с помощью Agilewaves Resource Monitor, включена в школьную учебную программу по естественным наукам и служит инструментом для управляющих объектами. Из древесины выполнены солнцезащитные экраны, настилы и мебель. Экраны защищают здание и снижают расходы энергии на его охлаждение.



Рис. 3. Виды, генплан, план и разрез «зеленой» школы Nueva School в США. Источник: https://gardener.ru/library/architectural_panoram_a/page432.php?&print=1

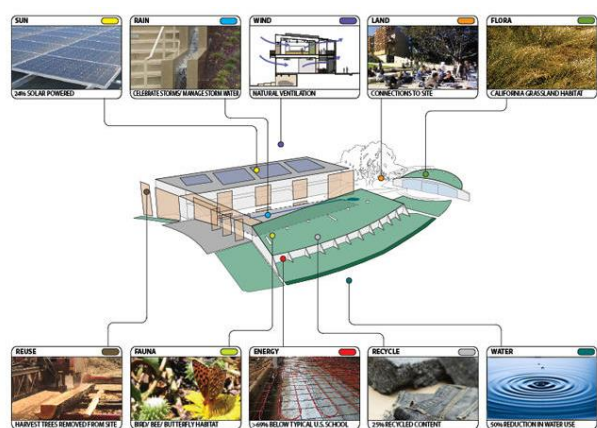


Рис. 4. Схема применения зеленых технологий в школе Nueva School в США. Источник: https://gardener.ru/library/architectural_panoram_a/page432.php?&print=1

Концепция Rommen школы и культурного центра в Осло, Норвегия, состоит в объединении ее пространства с ландшафтом окружающего пространства. Школьное здание органично вписано в рельеф. Крыша школы покрыта зеленью из очитков. На территории максимально сохранены существующие деревья с табличками, для того чтобы дети могли познакомиться с названиями растений местных лесов.

В результате анализа мирового опыта проектирования и строительства «зеленых» школ можно отметить, что архитекторами больше внимания уделяется таким составляющим, как форма, цвет, конструкция кровли, планировка, этажность, расположение окон относительно сторон света, использование натуральных материалов. Они стремятся продемонстрировать новые сред-

ства архитектурно-художественной выразительности, стремление к интересным решениям относительно образа. Происходит внедрение в современную практику инновационных систем энергоэффективности и ресурсосбережения: вентиляция с рекуперацией тепла, регулируемое освещение, использование солнечных панелей, озеленение на крышах, умные системы и т.д. Например, немецкий учёный и предприниматель Holger Thorsten Schubart, президент компании Neutrino Energy Group, создал инновационную технологию электрогенерации – графен. Изобретённый наноматериал позволяет обеспечивать электрогенерацию низкой плотности для электроснабжения отдельных электроприборов и даже жилых помещений. Он считает, что именно новые материалы могут облегчить задачу поиска решений для экологических на сегодняшний день проблем, так как на данный момент происходит масса открытий, касающихся различных свойств новых материалов [6]. Американскими учеными из Калифорнийского университета в Лос-Анджелесе был изобретен новый материал CONCRETE – зеленый бетон, в качестве основного компонента которого используются выбросы углекислого газа электростанций. Не менее интересным является разработка шведскими исследователями из Королевского технического института нового инновационного материала – прозрачное дерево. Этот материал позволяет не загораживать естественный солнечный свет. Компания Bio Mason выпустила на рынок экологически чистый растущий кирпич, в основу которого входят песок и бактерии, не наносящие вреда окружающей среде [7]. Таким образом, внедрение инновационных материалов в архитектуру общественных зданий позволяет экономить электроэнергию, очищать воздух, иметь больше солнечного света в помещениях. Данные технологии улучшают экологическую ситуацию, защищают

природную среду, экономят электроэнергию и могут быть адаптированы для северных территорий при проектировании и строительстве школьных зданий [8].

Из вышерассмотренного можно выделить, что при проектировании «зеленых» школ архитекторы стараются применять инновационные экологические материалы, повысить долговечность, экономию и комфорт здания, что повышает устойчивость среды обитания. Это, в свою очередь, влияет на окружающую среду и здоровье учащихся. В связи с этим были выделены основные принципы формирования архитектуры общеобразовательных зданий с применением «зеленых» технологий в суровом климате:

– *принцип зеленого здания*, где важным элементом является «зеленая» крыша для регулирования температуры и влажности в здании, а также защищает от пыли, сокращает уровень шума и защищает конструкции от атмосферных осадков;

– *принцип энергоэффективности* заключается в снижении потребления количества энергии за счет применения вентиляции с механической вытяжкой, наружных ограждающих конструкций с повышенной теплозащитой, энергоэффективных окон и альтернативных источников энергии;

– *принцип экологичности* определяется в повышении комфорта и безопасности для здоровья учащихся за счет применения в экстерьере и интерьере экологических материалов;

– *принцип инновационности* характеризуется внедрением и применением инновационных технологий и решений,

способствующих повышать экологичность школьного здания;

– *принцип уважения к месту* предусматривает единение здания и человека с его природным окружением.

Данные принципы реализуются при помощи планировочных, инженерных и градостроительных приёмов, направленных на минимизацию использования электроэнергии и воды при помощи применения экологически чистых материалов в строительстве, дополнительного озеленения, использования инновационных технологий и материалов. Компактность, малоэтажность, правильная ориентация здания по сторонам света и грамотное использование цветовых решений, все эти стратегии позволяют обеспечить устойчивое функционирование экосистемы северных территорий. В целом стратегии строительства позволяют не только обеспечить устойчивое функционирование чувствительной арктической экосистемы и повышение уровня экологической безопасности, но и улучшить качество жизни людей, находящихся в холодных районах.

Разработка архитектурных концепций новых школ с применением «зеленых» технологий, на основе данных принципов, обеспечит не только эффективность образовательного процесса, но и экологически безопасную среду, способствующую сохранению здоровья школьников. Успешная реализация всех принципов дает возможность создать экологически устойчивое, пассивное здание, что способствует улучшению внутреннего микроклимата здания и задает вектор развития «зеленого» строительства на северных территориях.

Список источников

1. Бородин В.Х., Кокорин А.О., Юлкин Г.М. Возобновляемые источники энергии в изолированных населенных пунктах Российской Арктики // Всемирный фонд дикой природы (WWF). 2017. 80 с.

2. Корниенко С. Зеленое строительство – инновационный и социально значимый элемент повышения устойчивости среды // Здания высоких технологий. 2017. №3. С. 69–80. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=32836220> (дата обращения: 1.04.2022).

3. Захарова Н. Экологическая архитектура или наступление «Зелёных». URL: <https://arch-sochi.ru/2014/03/ekologicheskaya-arhitektura-ili-nastuplenie-zelyonyih/> (дата обращения: 7.04.2022).

4. Орехова К.В. «Зеленая» архитектура в условиях Урала. URL: http://book.uraic.ru/project/conf/txt/005/archvuz30_pril/019/019.htm (дата обращения: 1.04.2022).

5. Мигулько Е.Н. «Зеленая» архитектура современных зарубежных школ // Наука. Инновации. Технологии. 2013. №4 С. 78–88. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=22794840> (дата обращения: 1.04.2022).

6. Новые материалы и зеленые технологии для энергетики Арктики и Севера. URL:

<https://cont.ws/@id314306805/2106877> (дата обращения: 1.04.2022).

7. Крыласова Е.А., Смирнова Е.В. «Зеленые технологии» в архитектуре // Международный студенческий вестник. 2017. №4. С. 793–796. URL: <https://eduherald.ru/ru/article/view?id=17555> (дата обращения: 2.04.2022).

8. Шальне О.Г., Федорова К.В., Ечкалов А.В. «Зеленое» строительство как фактор развития современной экосистемы // Цифровая и отраслевая экономика. 2020. №2(19). С. 109–114. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=43042646> (дата обращения: 1.04.2022).

References

1. Borodin V.Kh., Kokorin A.O., Yulkin G.M. Renewable energy sources in isolated settlements of the Russian Arctic // World Wildlife Fund (WWF). 2017. 80 p.

2. Kornienko S. Green building – an innovative and socially significant element of increasing the sustainability of the environment. *Buildings of high technologies*. 2017;(3):69–80. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=32836220> (date of access: 1.04.2022).

3. Zakharova N. Ecological architecture or the attack of the «Greens». URL: <https://arch-sochi.ru/2014/03/ekologicheskaya-arhitektura-ili-nastuplenie-zelyonih/> (date of access: 04/07/2022).

4. Orekhova K.V. «Green» architecture in the conditions of the Urals. URL: http://book.uraic.ru/project/conf/txt/005/archvuz30_pril/019/019.htm (date of access: 1.04.2022).

5. Migulko E.N. «Green» architecture of modern foreign schools. *Nauka. Innovation. Technology*. 2013;(4):78–88. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=22794840> (date of access: 1.04.2022).

6. New materials and green technologies for the energy sector in the Arctic and the North. URL: <https://cont.ws/@id314306805/2106877> (date of access: 1.04.2022).

7. Krylasova E.A., Smirnova E.V. «Green technologies» in architecture. *International Student Bulletin*. 2017;(4):793–796. URL: <https://eduherald.ru/ru/article/view?id=17555> (date of access: 2.04.2022).

8. Shalne O.G., Fedorova K.V., Echkalov A.V. «Green» construction as a factor in the development of a modern ecosystem. *Tsifrovaya i ot-raslovaya ekonomika*. 2020;(2(19)):109–114. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=43042646> (date of access: 1.04.2022).

Научный вестник Арктики. 2022. №13. С. 67–76.
Scientific Bulletin of the Arctic. 2022;(13):67–76.

Технические науки

Научная статья
УДК 622.83:550.34
doi: 10.52978/25421220_2022_13_67–76

**ВЫЯВЛЕНИЕ МАРКИРУЮЩИХ ПРИЗНАКОВ ГЕОДИНАМИЧЕСКИ
АКТИВНЫХ ЗОН В ШАХТНЫХ ПОЛЯХ
НА ОСНОВЕ МОРФОСТРУКТУРНОГО АНАЛИЗА
ОТЛОЖЕНИЙ ТУНГУССКОЙ СЕРИИ**

Александр Юрьевич Мезенцев¹, Анатолий Константинович Устинов²,
Наталья Владимировна Семенякина³, Людмила Константиновна Мирошникова⁴
^{1,2,3,4}Заполярный государственный университет им. Н.М. Федоровского.

Аннотация. В работе рассматривается возможность определения положения геодинамически активных структур как в границах горного отвода, так и шахтных полей по комплексу выявленных морфологических признаков толщи осадочных отложений тунгусской серии (карбон-пермь), которые окончательно были сформированы в ходе движения магматического расплава и формирования магматических камер во вмещающей осадочной толще, сопровождающихся перестройкой седиментационных структурно-тектонических условий. На основе морфометрического анализа осадочных отложений были выявлены границы морфотектонических блоков с резко контрастирующими показателями напряженности рельефа, которые являются границами шахтных полей, совпадающими с разрывными нарушениями третьего порядка. В результате выделения блоков различных уровней высот и расчета тектонической ступени были определены участки с относительно высокой плотностью разрывных нарушений, которые маркируются сейсмической активностью и отнесены к геодинамическим активным зонам.

Ключевые слова: Талнахский рудный узел, шахтное поле, геодинамически активные зоны, морфометрический анализ, тектоническая ступень.

Для цитирования: Выявление маркирующих признаков геодинамически активных зон в шахтных полях на основе морфоструктурного анализа отложений тунгусской серии / А.Ю. Мезенцев, А.К. Устинов, Н.В. Семенякина, Л.К. Мирошникова // Научный вестник Арктики. 2022. №13. С. 67–76. http://dx.doi.org/10.52978/25421220_2022_13_67–76.

OF MARKING FEATURES OF GEODYNAMICLY ACTIVE ZONES IN MINE FIELDS ON THE BASIS OF MORPHOSTRUCTURAL ANALYSIS OF DEPOSITS OF THE TUNGUSKA SERIES

Alexander Yu. Mezentsev¹, Anatoly K. Ustinov²,
Natalya V. Semenyakina³, Lyudmila K. Miroshnikova⁴
^{1,2,3,4}Fedorovsky Polar State University.

Abstract. The paper considers the possibility of determining the position of geodynamically active structures as within the boundaries of the mining allotment of mine fields according to the complex of identified morphological features of the sedimentary deposits of the Tunguska series (Carboniferous-Permian), which were finally formed during the movement of magmatic melt and the formation of magma chambers in the enclosing sedimentary sequence, accompanied by a restructuring of the sedimentary structural-tectonic conditions.

Based on the morphometric analysis of sedimentary deposits, the boundaries of morphotectonic blocks with sharply contrasting indicators of relief tension were identified, which are the boundaries of mine fields, coinciding with discontinuities of the third order. As a result of the allocation of blocks of different levels of heights and the calculation of the tectonic step, areas with a relatively high density of faults were identified, which are marked by seismic activity and assigned to geodynamic active zones.

Keywords: Talnakh ore cluster, mine field, geodynamically active zones, morphometric analysis, tectonic step.

For citation: Of marker features of geodynamically active zones in mine fields on the basis on morphostructural analysis of deposits of the Tunguska series / A.Yu. Mezentsev, A.K. Ustinov, N.V. Semenyakina, L.K. Miroshnikova. *Scientific Bulletin of the Arctic*. 2022;(13):67–76. (In Russ.). http://dx.doi.org/10.52978/25421220_2022_13_67-76.

Введение. Актуальностью работы является выявление маркирующих признаков геодинамически активных зон, внутри которых выделяются области высоконапряженных горных пород и нестабильное состояние геологической среды. Основной целью регионального геодинамического районирования в пределах Талнахского рудного узла является выделение в природном горном массиве блоков тектонически напряженных зон (ТНЗ), где на больших глубинах в сложных горно-геологических условиях проявляются опасные события и явления геодинамической природы [1–3]. Задача проведенных исследований сводилась к

методологическим разработкам по установлению «маркирующих» признаков блоков с геодинамической активностью, отражающих нестабильное состояние геологической среды.

Работы выполнены с использованием материалов детальной разведки ПО «Норильскгеология» проводимые с 1972 по 2012 гг. Наиболее детально изучается геодинамический блок рудничного поля рудника «Таймырский».

Методы исследования. Разработки по локальному прогнозированию геодинамически активных зон выполнялись согласно рекомендациям Батугиной И.М., Батугина А.С., Петухова И.М. и др. [4–6].

Анализ признаков геодинамической неустойчивости недр производился по схеме изолинейного распределения мощностей (изопакит) и абсолютных глубин залегания подошвы осадочных отложений тунгусской серии. Морфологическая схема масштаба 1: 25000 отложений тунгусской серии отстроена по геологическим данным буровых скважин с последующей компьютерной обработкой методом Auto CAD 2012. При выделении геодинамических блоков использован метод выделения блоков с различными высотными уровнями и расчета тектонической ступени. Установление разрывных нарушений и направления их развития производилось вдоль линий максимального перегиба земной поверхности положительной и отрицательной кривизны.

Геологическое строение поля рудника «Таймырский». Талнахский руд-

ный узел расположен в южной части Хараелахской мульды в зоне пересечения ее долгоживущим Норильско-Хараелахским разломом (НХР) глубокого заложения. Разлом делит мульду на два блока: восточный, в пределах которого расположено Талнахское месторождение, и западный, вмещающий Октябрьское месторождение. Геологическое строение этой части осложняется развитием прощадочных структур. В окончательном формировании структур месторождения значительную роль сыграло воздействие внедрившейся рудоносной интрузии, локализованной в осадочной толще девона. В поле рудника Таймырский расположены четыре рудных залежи: Хараелахская первая (С-1), вторая (С-2), третья (С-3) и четвертая (С-4) (рис. 1, 2). Структура отдельных рудных тел осложняется сбросо-сдвиговой тектоникой.

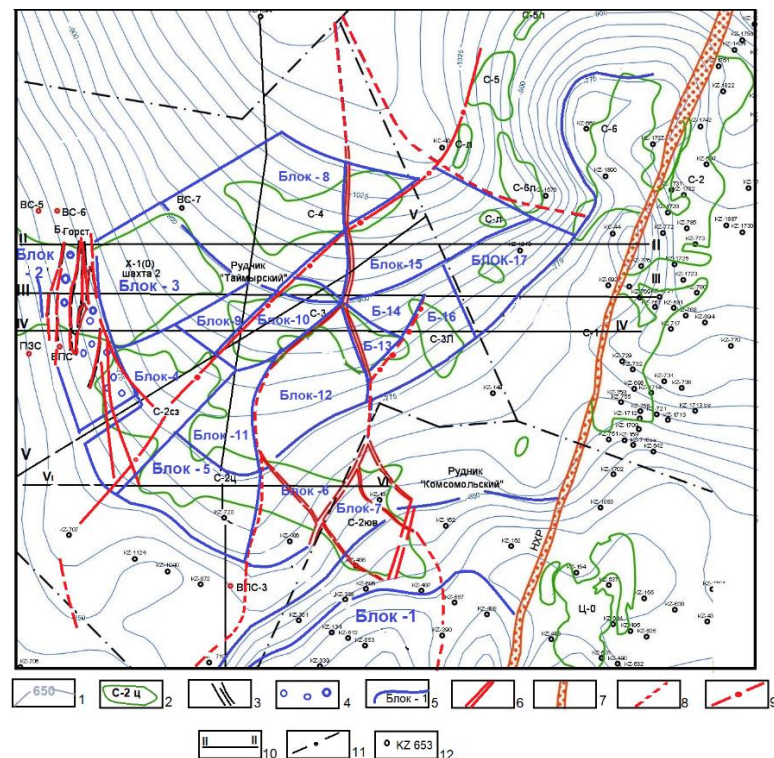


Рис. 1. Морфоструктурная схема и анализ признаков геодинамической неустойчивости недр по картине изолинейного распределения изоповерхностей подошвы отложений тунгусской серии: 1 – изоповерхности абсолютных глубин подошвы отложений тунгусской серии; 2 – рудные залежи; 3 – зона большого Горста; 4 – проявление сейсмичности; 5 – границы геодинамических блоков; 6 – разломы, установленные по данным детальной разведки; 7 – Главный шов Норильско-Хараелахского разлома; 8 – предполагаемые разломы, отстроенные по перегибам палеорельефа подошвы отложений тунгусской серии; 9 – предполагаемые разломы, отстроенные по перегибам палеорельефа кровли отложений тунгусской серии; 10 – профиль и его номер; 11 – границы рудного поля рудника «Таймырский»; 12 – скважины детальной разведки

Результаты исследований. Определение признаков геодинамической нестативности недр производилось на основе анализа изолинейного распределения

изопахит мощностей и абсолютных отметок подошвы осадочных отложений тунгусской серии на схемах масштаба 1:25000 (рис. 1, 2).

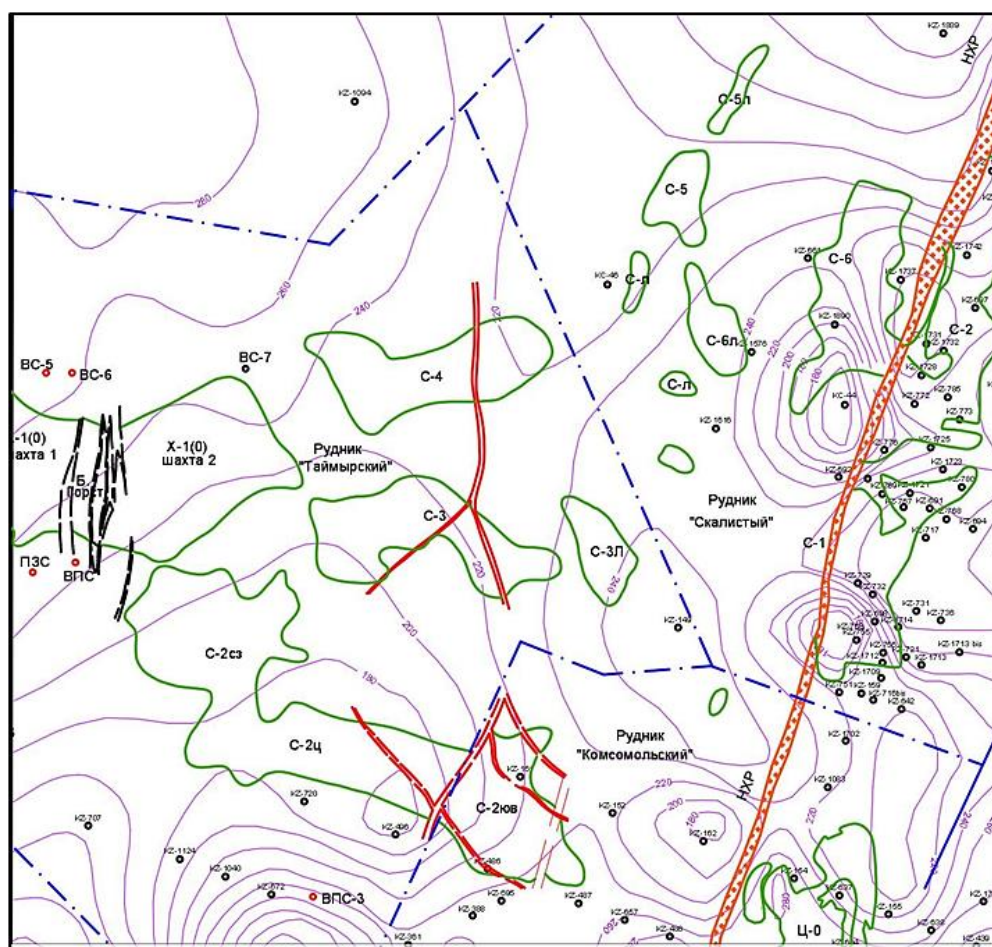


Рис. 2. Морфоструктурная схема изопохит отложений тунгусской серии (условные обозначения на рис. 1)

В пределах шахтного поля рудника «Таймырский» гипсометрические отметки подошвы колеблются в значениях от –1025 м на северо-востоке до –650 м на юго-западе. Мощность отложений на северо-востоке составляет 260 м, на юго-западной границе с полем шахты «Комсомольская» составляет 400 м. На основе этих данных производилось выделение геодинамических блоков с различными уровнями высот и расчет величины тектонической ступени как в пределах всего шахтного поля, так и отдельно каждой рудной залежи.

В качестве одного из методов выделения блоков на территории Талнахской

тектономагматической системы применен расчет минимальной разности высот [4–5]:

$$h = 0,1 \cdot (H_{\max} - H_{\min}),$$

где $H_{\max}$ – минимальная отметка изопохиты (или подошвы) отложений тунгусской серии; $H_{\min}$ – максимальная отметка изопохиты (или подошвы) отложений тунгусской серии

Полученная величина h фактически является тектонической ступенью, разделяющей различные по высоте блоки (таблица).

Расчет тектонической ступени в пределах шахтного поля рудника «Таймырский»

Объект	Изопахиты мощности отложений тунгусской серии			Абсолютные отметки глубин подошвы отложений тунгусской серии		
	Максимальная, м	Минимальная, м	Тектоническая ступень h , м	Максимальная, м	Минимальная, м	Тектоническая ступень h , м
Поле рудника «Таймырский»	400	260	14,0	-1025	-650	37,5
Залежь С-1	260	210	5,0	-900	-650	25,0
Залежь С-2	210	180	3,0	-860	-700	16,0
Залежь С-3	230	190	4,0	-925	-825	10,0
Залежь С-4	240	220	2,0	-1050	-925	12,5
Граница шахтных полей рудников «Таймырский» и «Комсомольский»	400	160	24,0	-750	-500	25,0

Границы геодинамических блоков проведены на морфоструктурной схеме подошвы осадочных отложений тунгусской серии с учетом значений тектонической ступени (около 40 м), анализа изолинейного распределения изопахит и выделенных линий тектонических нарушений как по данным детальной разведки, так и предполагаемых (см. рис. 2). Заверка границ геодинамически активных зон производилась с последующим уточнением их положения в профилях, на которых отражены геометрические образы кровли и подошвы отложений тунгусской серии.

Одним из методов геодинамического районирования и маркирования геодинамических активных структур является анализ их связей и отношений с уже имеющимися разрывными нарушениями.

Установление разрывных нарушений и направления их развития производилось вдоль линий максимальных перегибов положительной и отрицательной кривизны палеорельефа отложений тунгусской серии. Положение разрывных предполагаемых нарушений, отображенных на рис. 1 и установленных по данным детальной и эксплуатационной разведок (рис. 3), в отдельных случаях пространственно совпадает.

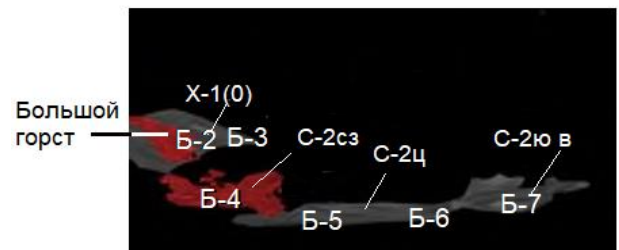


Рис. 3. Каркасная модель залежей богатых массивных сульфидных руд рудника «Таймырский»: по данным эксплуатационной разведки: серый цвет – рудные тела; красный – разрывные нарушения

Геодинамический блок–1. Максимальные значения h отмечены на границе шахтных полей рудников «Таймырский» и «Комсомольский» (см. таблицу), где наблюдаются кольцевые и купольные структуры (см. рис. 1, 2). Как было установлено ранее, данные структуры образовались в юго-западной части Талнахского рудного узла в результате процессов сдвижения и кручения, которые сопровождали продвижение магматических расплавов с северо-востока Харелахской мульды на юго-запад и напрямую отражают развитие в недрах различных форм неравновесных процессов [7]. В пределах рассматриваемой площади на границе двух шахтных полей геодинамически активные структуры представляют собой границы морфотектонических блоков с резко контрастирующими показателями напряжен-

ности рельефа [8]. Границы блоков производились с последующим уточнением их положения в Профиле I, на котором отражены геометрические образы кровли от 200 до 400 м и подошвы отложений тунгусской серии с абсолютными отметками от –1125 до –400 м (рис. 4). Выделенные кольцевые структуры являются маркирующими признаками геодинамически активных блоков, в которых возможны высокие риски развития опасных геодинамических процессов и явлений.

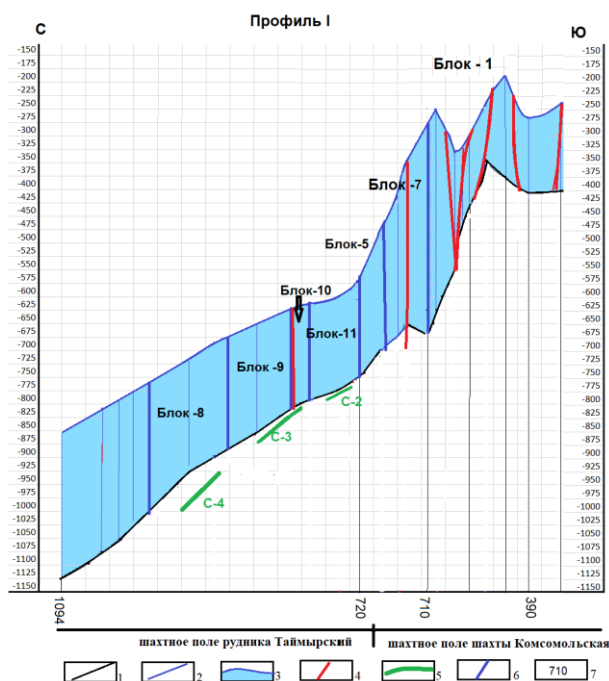


Рис. 4. Геодинамические блоки на границе шахтных полей рудников «Таймырский» и «Комсомольский»: 1–2 – границы отложений тунгусской серии: 1 – подошвы; 2 – кровли; 3 – мощность отложений тунгусской серии; 4 – разломы третьего и четвертого уровня, установленные при выделении блоков различных высотных уровней и совпадающие с разрывной тектоникой, выделенной по данным детальной разведки; 5 – проекции рудных тел на горизонтальную плоскость; 6 – границы геодинамических блоков; 7 – скважины детальной разведки

Геодинамические блоки 2 и 3. Залежь С-1 на востоке, севере и юге ограничена геологическими контурами выклинивания залежи. Западной границей является Горный сброс с амплитудой до 50 м, с углом падения по плоскости сместителя от 75° (рис. 5). На этом

участке в интервале гипсометрических отметок от –1000 м до –1300 м рудное тело осложнено серией ступенчатых разрывных нарушений с амплитудами смещения от 5 до 20–25 м, что соответствует расчетным величинам тектонической ступени (см. таблицу). В блоке отметки кровли отложений тунгусской серии колеблются от 200 до 260 м, абсолютные отметки подошвы от –775 м до –710 м. Вдоль границ блока 2 по данным Центра геодинамической безопасности отмечается сейсмическая активность (рис. 1, 5–7) [9].

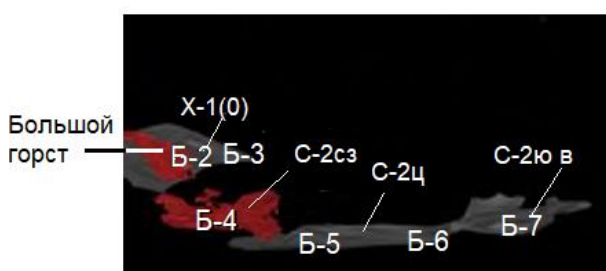


Рис. 5. Каркасная модель залежей богатых массивных сульфидных руд рудника «Таймырский»: 1 – данные разведки с поверхности; 2 – данные эксплуатационной разведки; серый цвет – рудные тела, красный – зоны тектонических нарушений

В пределах восточного Блока 3 тело залежи С-1 залегает в отложениях девона на глубинах от –1300 до –1400 м. Угол падения рудного тела в северо-восточном направлении составляет от 14° до 22° , мощность колеблется в пределах от 5 до 43 м. Тектонических нарушений, влияющих на морфологию рудного тела, не отмечено (см. рис. 5). Границы блока проведены по отметкам подошвы отложений тунгусской серии от –900 до –775 м. В центральной части блока отмечается просадочная структура, которая ограничена разрывными нарушениями, установленными при анализе морфоструктурных схем отложений тунгусской серии (рис. 6).

К северо-востоку от залежи С-1 расположена третья С-3 залежь богатых руд. Падение залежи северо-восточное под углом $5-20^\circ$.

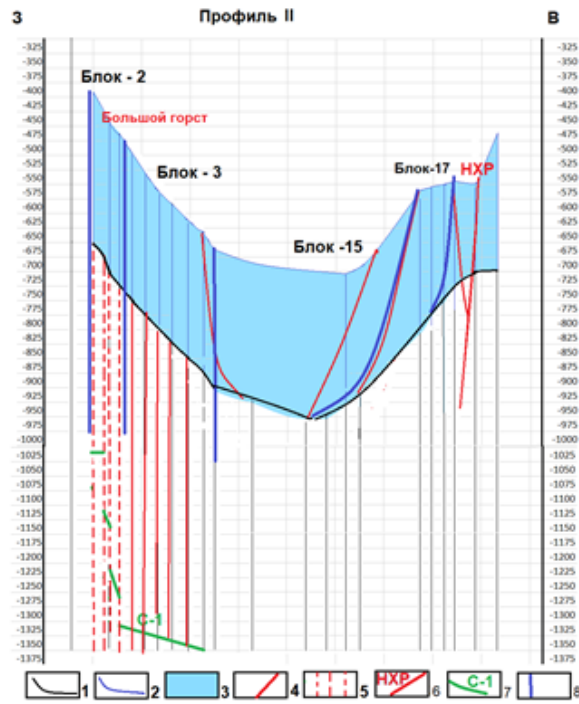


Рис. 6. Геодинамические блоки в рудном поле рудника «Таймырский» залежь С-1: 1–4 – на рис. 3; 5 – разломы зоны Большого горста; 6 – зона Норильско-Хараелахского разлома; 7 – проекции рудных тел на горизонтальную плоскость; 8 – границы геодинамических блоков

Рудное тело локализовано в осадочно-метаморфизованных отложениях нижнего девона на глубинах от –1550 до –1600 м и располагается в центральной части прогиба (синклинали). Рудное тело осложнено разломами, выделенными при анализе морфоструктурных схем, которые частично пространственно совпадают с разломами по данным детальной разведки (рис. 1, 7).

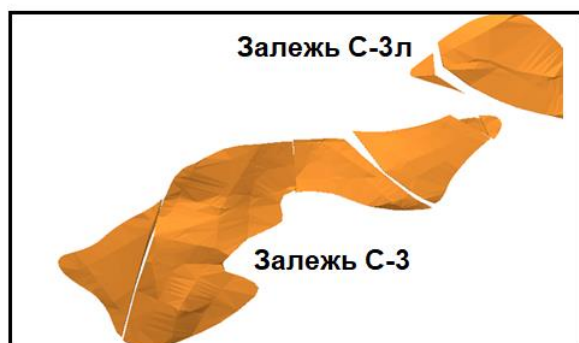


Рис. 7. Каркасная модель залежей С-3 и С-3 л по данным детальной разведки

С юго-востока залежи С-1 расположена Северная вторая (С-2) залежь богатых руд, которая в плане имеет сложную

конфигурацию и прослеживается в юго-восточном направлении на 2,15 км (см. рис. 5). Рудное тело мощностью от 1 до 22,3 м, залегает в интервале глубин от –1300 до –1400 м. Тело падает на северо-восток под углом до 22°. На востоке залежь ограничивается осложняющим ее взбросом с амплитудой до 120 м (рис. 8).

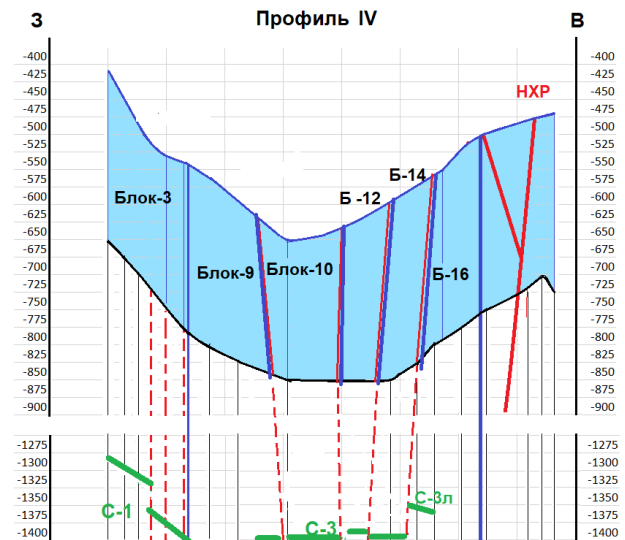


Рис. 8. Геодинамические блоки в рудном поле рудника «Таймырский» залежи С-1 и С-3 (условные обозначения на рис. 4)

Угол падения рудного тела на этом участке изменяется от 8 до 12°. Элементы структурно-тектонического плана поля рудника Таймырский на данном участке пространственно совпадают со структурными формами, выделенными в отложениях тунгусской серии (см. рис. 7). В блоке отметки кровли отложений тунгусской серии колеблются от 180–200 м, абсолютные отметки подошвы от –775 м до –710 м. Геодинамически опасные зоны традиционно расположены в области взброса.

Северная часть залежи С-2 расположена в геодинамическом блоке (Б-4), границами которого являются отметки подошвы тунгусской серии от –775 м до –900 м. Расчетные значения тектонической ступени (h) составляют около 16 м. В центральной части третьего и четвертого блоков на основе анализа рельефа на морфоструктурных планах кровли и подошвы тунгусской серии выделены зоны разломов, которые на отдельных

участках сочленяются с разломами, установленными по данным детальной разведки. Разломы простираются в северо-восточном направлении (рис. 1, 9).

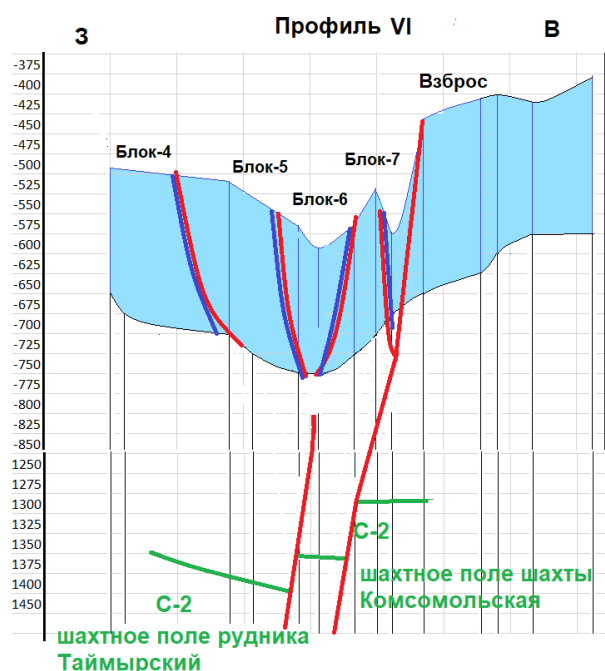


Рис. 9. Соотношение морфоструктурного плана отложений тунгусской серии и структурно-тектонических форм рудного тела С-2

Заключение. Рассмотрены методические вопросы выделения морфоструктурных групп геодинамически активных систем и зональное строение недр. Анализ признаков геодинамической неустойчивости недр производился по картине изолинейного распределения мощностей и подошвы отложений тунгусской серии.

Выделенные блоки с геодинамически активных зон в отложениях тунгусской

серии пространственно совпадают со строением геологической среды, вмещающей рудные тела. Заверка границ геодинамически активных зон производилась с последующим уточнением их положения в профилях, на которых отражены геометрические образы кровли и подошвы отложений тунгусской серии. Маркирующими признаками геодинамически активных зон являются кольцевые структуры на границе полей рудников «Таймырский» и «Комсомольский» (Блок-1). Наличие аномальных геодинамических условий в районе Большого горста и взброса с амплитудой 120–150 м (Блок-6), ограничивающего рудное тело (залежь С-2), в пределах поля рудника «Таймырский» традиционно подтверждается сейсмической активностью [9; 10]. Установлена связь данных зон с повышенной геодинамической активностью с участками, где в процессе производства подземных горных работ возникали явления горных и горно-тектонических ударов, внезапных выбросов, внезапных обрушений кровли и др. [1–3; 11–13].

На основе анализа распределения линий максимального перегиба земной поверхности положительной и отрицательной кривизны на морфоструктурных схемах отложений тунгусской серии были выделены зоны разрывных нарушений и установлена их связь с имеющимися системами крупных разрывных нарушений, выделенных по данным детальной разведки.

Список источников

1. Оценка геомеханического состояния массива горных пород на Талнахском и Октябрьском месторождениях / А.А. Еременко, Т.П. Дарбинян, И.И. Айнбиндер, А.И. Конурин // Горный журнал. 2020. №1. С. 82–86.
2. Оценка напряженного состояния рудного массива залежи С-2 шахты «Скалистая» до начала очистных работ / Р.Б. Галаов, А.А. Кисель, А.А. Андреев, В.В. Зубков // Горный журнал. 2016. №7. С. 10–14.
3. Обоснование порядка обработки рудных залежей в пределах шахты «Глубокая» /

- С.А. Неверов, А.А. Неверов, А.И. Конурин, Н.П. Медведева // Фундаментальные и прикладные вопросы горных наук. 2019. №2. С. 200–206.
4. Руководство по геодинамическому районированию шахтных полей / И.М. Батугина [и др.]. СПб.: ВНИМИ, 2012. 114 с.
5. Батугина И.М., Батугин А.С. Опыт применения метода геодинамического районирования при решении экологических задач // ГИАБ. 2014. №6. С. 228–233.

6. Применение и развитие метода геодинамического районирования по прогнозу геодинамической опасности на угольных шахтах Китая / Тяньвэй Лань, Хунвэй Чжан, Шэн Ли, А.С. Ватутин, Вэйго Чжао, Цян Ли, Цзючжэн Сунь // Известия высших учебных заведений Геология и разведка. 2018. №6. С. 71–76.

7. Геодинамически активные структуры западного фланга Талнахского рудного узла / Л.К. Мирошникова, А.Ю. Мезенцев, Н.В. Семенякина, Е.М. Котельникова // Горная промышленность. 2020. №3. С. 105–113.

8. Геодинамическое районирование юго-западной части Талнахской тектоно-магматической системы / Л.К. Мирошникова, А.Ю. Мезенцев, Г.А. Кадыралиева, М.А. Перепелкин // Горная промышленность. 2021. №6. С. 103–109.

9. Мирошникова Л.К., Уфатова З.Г., Кирпиченков К.А. Сейсмические работы при геодинамическом районировании массива горных пород и руд в условиях разработки глубоких рудников // Горная промышленность. 2018. №1 (137). С. 46–47.

10. Применение методики выявления сейсмически опасных участков массива для анализа события 9 января 2018 года на Расвумчоррском руднике / А.А. Козырев, И.Э. Семенова, О.Г. Журавлева, А.В. Пантелеев // Вестник Кольского научного центра РАН. 2019. №2 (11). С. 13–19.

11. Andrews P.G. Ground support selection rationale: a Gold Fields perspective. Proceedings of the Ninth International Symposium on Ground Support in Mining and Underground Construction. Perth: Australian Centre for Geomechanics, 2019. Pp. 15–28.

12. Laubscher D., Guest A., Jakubec J. Guidelines on Caving Mining Methods: The Underlying Concepts. Queensland: The University of Queensland, 2017. 282 p.

13. Stacey T. R. Rock engineering design – the importance of process, prediction of behaviour, choice of design criteria, review and consideration of risk. Proceedings of the International Seminar on Design Methods in Underground Mining. Perth: Australian Centre for Geomechanics, 2015. Pp. 57–76.

References

1. Assessment of the geomechanical state of the rock mass at the Talnakh and Oktyabrskoye deposits / A.A. Eremenko, T.P. Darbinyan, I.I. Ainbinder, A.I. Konurin. *Mining magazine*. 2020;(1):82–86.

2. Evaluation of the stress state of the ore massif of the S-2 deposit of the Ska-listaya mine before the start of mining / R.B. Galaov, A.A. Kisel, A.A. Andreev, V.V. Zubkov. *Mining Journal*. 2016;(7):10–14.

3. Justification of the procedure for mining ore deposits within the Glu-bokaya mine / S.A. Neverov, A.A. Neverov, A.I. Konurin, N.P. Medvedeva. *Fundamental and applied issues of mining sciences*. 2019;(2):200–206.

4. Guidelines for geodynamic zoning of mine fields / I.M. Batugina [i dr.]. St. Petersburg: VNIMI, 2012. 114 p.

5. Batugina I.M., Batugin A.S. Experience in applying the method of geodynamic zoning in solving environmental problems. *GIAB*. 2014;(6):228–233.

6. Application and development of the geodynamic zoning method for predicting geodynamic hazard in coal mines in China / Tianwei Lan, Hongwei Zhang, Sheng Li, A.S. Vatuutin,

Weigo Zhao, Qiang Li, Jiuzhen Sun. *Proceedings of Higher Educational Institutions Geology and Exploration*. 2018;(6):71–76.

7. Geodynamically active structures of the western flank of the Talnakh ore cluster / L.K. Miroshnikova, A.Yu. Mezentssev, N.V. Semenyakin, E.M. Kotelnikova. *Mining industry*. 2020;(3):105–113.

8. Geodynamic zoning of the southwestern part of the Talnakh tectonic-magmatic system / L.K. Miroshnikova, A.Yu. Mezentssev, G.A. Kadyralieva, M.A. Perepelkin. *Mining industry*. 2021;(6):103–109.

9. Miroshnikova L.K., Ufatova Z.G., Kirpichenkov K.A. Seismic work during geodynamic zoning of rock and ore massif in the conditions of deep mine development. *Gornaya promyshlennost*. 2018;(1(137)):46–47.

10. Application of the technique for identifying seismically hazardous areas of the massif for the analysis of the event on January 9, 2018 at the Rasvumchorrsky mine / A.A. Kozyrev, I.E. Semenova, O.G. Zhuravleva, A.V. Panteliev. *Bulletin of the Kola Scientific Center of the Russian Academy of Sciences*. 2019;(2 (11)):13–19.

11. Andrews P.G. Ground support selection rationale: a Gold Fields perspective. Proceedings of the Ninth International Symposium on Ground Support in Mining and Underground Construction. Perth: Australian Centre for Geomechanics, 2019. Pp. 15–28.

12. Laubscher D., Guest A., Jakubec J. Guidelines on Caving Mining Methods: The

Underlying Concepts. Queensland: The University of Queensland, 2017. 282 p.

13. Stacey T. R. Rock engineering design – the importance of process, prediction of behaviour, choice of design criteria, review and consideration of risk. Proceedings of the International Seminar on Design Methods in Underground Mining. Perth: Australian Centre for Geomechanics, 2015. Pp. 57–76.

Научный вестник Арктики. 2022. №13. С. 77–82.
Scientific Bulletin of the Arctic. 2022;(13):77–82.

Технические науки

Научная статья
УДК 621.967.3
doi: 10.52978/25421220_2022_13_77–82

**РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ
РЕДУКТОРНО-МУЛЬТИПЛИКАТОРНОГО
ГИДРОПРИВОДА ЛИСТОВЫХ НОЖНИЦ**

Сергей Степанович Пилипенко¹, Андрей Игоревич Вакуленко²

^{1,2}Заполярный государственный университет им. Н.М. Федоровского.

¹E-mail: pilipenko@norvuz.ru.

²E-mail: sydney@yandex.ru.

Аннотация. Рассматриваются насосный редукторно-мультипликаторный привод листовых ножниц с двухцилиндровым силовым блоком. Приведено описание разработанной схемы управления приводом с использованием сдвоенных дозаторов (редуктор и мультипликатор) периодического действия. Редуктор включается при холостом ходе, мультипликатор – при рабочем ходе. Их зарядка происходит при обратном ходе силового блока. В итоге решается задача синхронизации работы цилиндров и обеспечивается режим прямого хода с двумя ступенями скорости и давления, что определяет снижение установочной мощности насосов до 30%. Приведена методика оценки силовых и скоростных параметров привода на условии равенства мощностей при холостом и рабочем ходе и на условии равенства времени рабочего цикла при использовании разработанного привода и простого насосного. Получены зависимости для расчёта характерных параметров: коэффициенты редукции и мультипликации, время рабочего цикла, соотношение мощностей и скоростей рассматриваемого и простого насосного привода.

Ключевые слова: листовые ножницы, гидропривод, гидравлический редуктор, гидравлический мультипликатор, схема управления, мощность насосов, параметры привода, методика, расчет.

Для цитирования: Пилипенко С.С., Вакуленко А.И. Разработка и исследование редукторно-мультипликаторного гидропривода листовых ножниц // Научный вестник Арктики. 2022. №13. С. 77–82. http://dx.doi.org/10.52978/25421220_2022_13_77–82.

Technical sciences

Original article

**RESEARCH AND DEVELOPMENT OF A REDUCTIVE-MULTIPLICATIVE
HYDRAULIC DRIVE FOR A SHEET METAL SHEARS**

Sergey S. Pilipenko¹, Andrey I. Vakulenko²

^{1,2}Fedorovsky Polar State University.

¹E-mail: pilipenko@norvuz.ru.

²E-mail: sydney@yandex.ru.

Abstract. The paper deals with the pumping gear-multiplier drive of sheet shears with a two-cylinder power unit. The description of the developed drive control scheme with the use of dual dispensers (gearbox and multiplier) of periodic action is given. The gearbox is turned on at idle, the multiplier – at working stroke. Their charging occurs during the reverse course of the power unit. As a result, the task of synchronizing the operation of the cylinders is solved and the forward stroke mode is ensured with two speed and pressure levels, which determines a reduction in the installed power of the pumps to 30%.

A method for estimating the power and speed parameters of the drive is given on the condition of equality of power at idle and working stroke and on condition of equality of the working cycle time when using the developed drive and simple pumping.

Dependences are obtained for calculating the characteristic parameters: reduction and multiplication coefficients, operating cycle time, the ratio of powers and speed of considered and simple pump drive.

Keywords: sheet shears, hydraulic drive, hydraulic reducer, hydraulic multiplier, control circuit, pump power, drive parameters, methods, calculations.

For citation: Pilipenko S.S., Vakulenko A.I. Research and development of a reductive-multiplicative hydraulic drive for a sheet metal shears. *Scientific Bulletin of the Arctic*. 2022;(13):77–82. (In Russ.). http://dx.doi.org/10.52978/25421220_2022_13_77-82.

По условиям нагружения многих металлургических машин, например, листовых ножниц с наклонными ножами, целесообразным является использование двухцилиндрового гидропривода [1]. К общим требованиям простоты, надежности и экономичности привода в этом случае добавляется требование обеспечения синхронного движения силовых цилиндров во все периоды работы привода.

Наиболее простым, а во многих случаях и более экономичным является простой насосный привод с насосами постоянной подачи [2–3]. Существенным недостатком этого привода является значительная установочная мощность. Для компенсации этого недостатка используют маховичный привод, устанавливают насосы с несколькими ступенями давления и подачи, снабжают привод мультипликатором и дополнительными баками и др. [2–3].

Известно, что эксплуатационные показатели простого насосного привода можно повысить, сделав его редукторно-мультипликаторным [4], при котором холостой ход осуществляется с использо-

ванием гидравлического редуктора, рабочий ход – с использованием мультипликатора. В итоге обеспечивается равномерная загрузка насосов, снижается их рабочее давление и, как следствие, требуется меньшая установочная мощность. В этом случае, при использовании сдвоенных редуктора и мультипликатора, решается и задача синхронизации силовых цилиндров.

Вариант привода [5], приемлемый для листовых ножниц (рис. 1), содержит силовой блок 1 в составе двух силовых цилиндров 2 и двух возвратных цилиндров 3, насосную станцию 4, редукторно-мультипликаторный блок 5 в составе сдвоенных редуктора 6 и мультипликатора 7, реверсивный золотник 8, золотник 9 переключения ступеней давления и две системы отсечных золотников: систему трех золотников 10, 11, 12 и систему двух золотников 13, 14.

Все ступени давления осуществляются при переключении реверсивного золотника в позицию А (прямой ход).

На первой ступени (редукторной) жидкость от насоса через золотники 8 и 9 поступает во входной цилиндр D_p ре-

дуктора и вытесняется из его двух выходных цилиндров d_p в силовые цилиндры 2 раздельно. Жидкость от возвратных цилиндров 3 вытесняется на слив по трубопроводу 15.

На второй ступени (мультипликаторной) жидкость от насоса через золотник 8 и золотник 9 (переключается в позицию В) поступает во входной цилиндр D_m мультипликатора и вытесняется из его двух выходных цилиндров d_m в силовые цилиндры раздельно.

Обратный ход осуществляется при переключении реверсивного золотника в позицию В. Жидкость от насоса поступает в полости возвратных цилиндров 3 по трубопроводу 15 и перетекает из силовых цилиндров 2 в полости выходных цилиндров, сначала – мультипликатора, а потом – редуктора. При этом жидкость из выходных цилиндров мультипликатора и редуктора сливается через золотник 9 (позиция В при зарядке мультипликатора, позиция А – при зарядке редуктора).

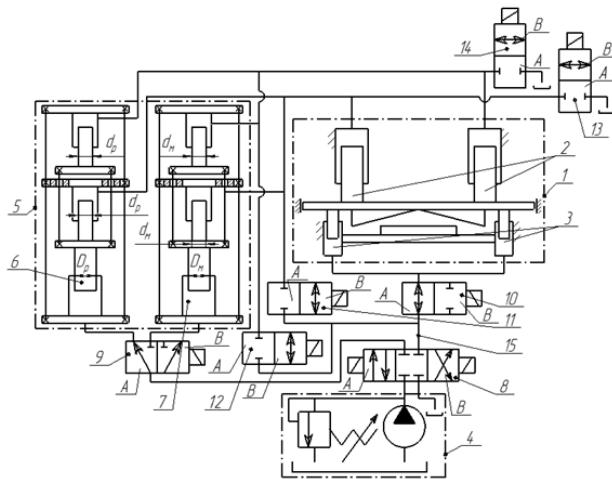


Рис. 1. Схема двухцилиндрового двухскоростного редукторно-мультипликаторного привода

Объем жидкости в силовых цилиндрах в конце прямого хода может превышать объем жидкости, необходимый для зарядки редуктора и мультипликатора, или может быть меньше этого объема. При первом соотношении этих объемов первым в исходное положение выходит блок плунжеров редуктора; при втором

соотношении – блок плунжеров силового блока. С учетом этого обратный ход заканчивается по одному из двух вариантов.

При первом варианте золотники 13 и 14 переключаются в позицию В и остаток жидкости из силовых цилиндров сливается через эти золотники.

При втором варианте переключаются в позицию В золотники 10, 11 и 12. Жидкость от насоса, поступающая по трубопроводу 15 через золотники 12 и 11, доводит блок плунжеров редуктора до исходного положения. Золотник 10, закрывая выход из возвратных цилиндров, фиксирует достигнутое ранее крайнее верхнее положение плунжеров силового блока.

Для простых сдвоенных редуктора 6 и мультипликатора 7 (см. рис. 1) соотношения диаметров плунжеров цилиндров должны отвечать условиям:

– для редуктора

$$d_p^2 < 2D_p^2;$$

– для мультипликатора

$$D_m^2 > 2d_m^2.$$

При этом коэффициенты редукции K_p и мультипликации K_m будут равны:

$$K_p = \frac{d_p^2}{2D_p^2} < 1; \quad K_m = \frac{D_m^2}{1d_m^2} > 1. \quad (1)$$

Силовые и кинематические параметры привода определяются в основном графиком силового нагружения и скоростным режимом в течение рабочего цикла, который состоит из прямого и обратного хода. Для листовых ножниц величина прямого хода H состоит из холостого хода H_x и рабочего H_p . При этом величины прямого и обратного хода равны, а усилие рабочего хода R_p можно считать постоянным и равным усилию резания листа. Постоянными будут и усилия холостого R_x и возвратного R_o хода.

При использовании простого насосного привода [6] давление, создаваемое насосом P_n , пропорционально давлению

в силовых цилиндрах, которое определяется усилием R , т.е.:

– при прямом ходе

$$P_H = R/(2F),$$

– при обратном ходе

$$P_H = R/(2F_o),$$

где F и F_o – площади поршней (плунжеров) силовых и возвратных цилиндров соответственно.

При холостом ходе это давление P_x ; при рабочем ходе – P_p ; при обратном ходе – P_o :

$$P_x = \frac{R_x}{(2F)}; P_p = \frac{R_p}{(2F)}; P_o = \frac{R_o}{(2F_o)}. \quad (2)$$

График давлений $P = f(S)$ в этом случае подобен графику $R = f(S)$ (рис. 2).

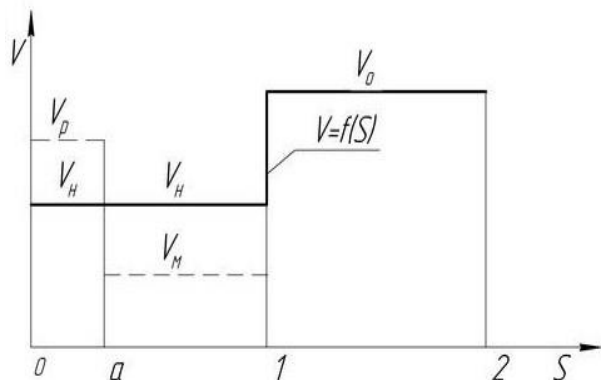
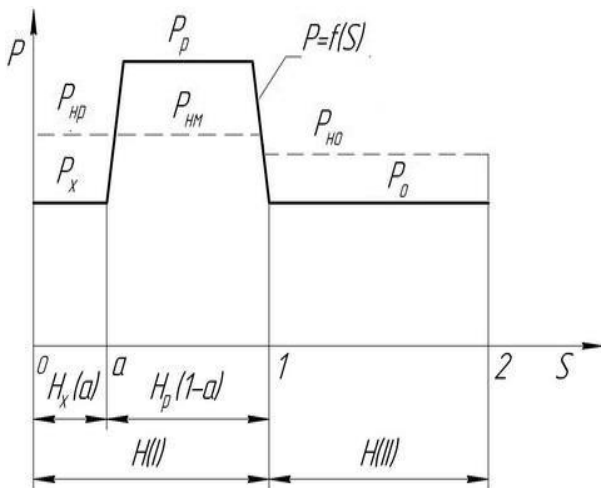


Рис. 2. Графики $P = f(S)$; $V = f(S)$ ножиц в течение рабочего цикла

Скорости движения ножей при холостом и рабочем ходах будут равны (скорость прямого хода V_H). Скорость V_H и

скорость обратного хода V_o будет определять подача насосов Q_H как:

$$V_H = \frac{Q_H}{(2F)}; V_o = \frac{Q_H}{(2F_o)}. \quad (3)$$

Соотношение этих скоростей:

$$\frac{V_o}{V_H} = \frac{F}{F_o} = K_c$$

или

$$V_o = K_c \cdot V_H, \quad (4)$$

где $K_c = F/F_o$ – коэффициент усиления силового блока.

На графике (см. рис. 2) функция $V = f(S)$ представлена сплошными прямыми линиями.

При простом насосном приводе установочная мощность насосов N_1 определяется максимальным давлением в силовых цилиндрах [6] (в данном случае, это давление P_p) и подачей насосов $Q_H = 2F \cdot V_H$, т.е.

$$N_1 = P_p \cdot Q_H = 2F \cdot V_H \cdot P_p. \quad (5)$$

Время рабочего цикла T_1 будет равно:

$$\begin{aligned} T_1 &= \frac{H}{V_H} + \frac{H}{V_o} = \frac{H}{V_o} (K_c + 1) = \\ &= \frac{H (K_c + 1)}{V_H \cdot K_c}. \end{aligned} \quad (6)$$

При использовании редукторно-мультипликаторного привода (см. рис. 1) рабочий ход происходит с двумя ступенями скорости ножей и давления, создаваемого насосами.

Включение редуктора при холостом ходе обеспечивает редукторную скорость V_P и давление насосов $P_{нр}$:

$$\begin{aligned} V_P &= \frac{V_H}{K_p} = \frac{Q_H}{2F \cdot K_p}; \\ P_{нр} &= \frac{P_x}{K_p} = \frac{Q_H}{2F \cdot K_p}. \end{aligned} \quad (7)$$

Включение мультипликатора при рабочем ходе обеспечивает мультипликаторную скорость V_M и давление насосов $P_{нм}$:

$$\begin{aligned} V_M &= \frac{V_H}{K_M} = \frac{Q_H}{2F \cdot K_M}; \\ P_{HM} &= \frac{P_p}{K_M} = \frac{R_p}{2F \cdot K_M}. \end{aligned} \quad (8)$$

Скорость обратного хода V_{OM} будет при этом равна скорости V_O ; давление насосов P_{HO} не будет равным давлению P_O с учётом использования силового блока в операции зарядки редуктора и мультипликатора.

На графиках функций $V = f(S)$ и $P = f(S)$ (см. рис. 2) значение этих параметров показано пунктирными линиями.

Определяющими параметрами предлагаемого привода являются коэффициенты редукции K_p и мультипликации K_M . Цель сравнительного анализа — установить приемлемое сочетание и диапазон величин этих параметров.

Исходными условиями данного анализа принимаем равенство мощностей при холостом N_x и рабочем N_p ходе для рассматриваемого привода и равенство времени рабочего цикла при использовании рассматриваемого привода T_2 и при использовании простого насосного привода T_1 . При этом оцениваем соотношение установочных мощностей n простого N_1 и рассматриваемого N_2 привода. Эти условия:

$$\begin{aligned} N_2 &= N_x = N_p; \quad T_1 = T_2; \\ n &= \frac{N_2}{N_1}. \end{aligned} \quad (9)$$

Для универсальности результатов анализа вводим параметры относительного перемещения a и относительной нагрузки b :

$$\begin{aligned} a &= \frac{H_x}{H}; \quad \frac{H_p}{H} = \frac{H - H_x}{H} = (1 - a); \\ b &= \frac{P_x}{P_p}. \end{aligned} \quad (10)$$

Для рассматриваемого привода (см. рис. 1) в соответствии с графиком давления (см. рис. 2) и зависимостей (7), (8) и (10):

$$\begin{aligned} N_x &= P_{np} \cdot Q_H = \frac{P_x \cdot Q_H}{K_p} = \\ &= \frac{b \cdot P_p \cdot Q_H}{K_p}; \\ N_p &= P_{HM} \cdot Q_H = \frac{P_p \cdot Q_H}{K_M}. \end{aligned} \quad (11)$$

С учетом графика скорости (см. рис. 2) и зависимостей (7), (8) и (10):

$$\begin{aligned} T_2 &= \frac{H_x}{V_p} + \frac{H_p}{V_M} + \frac{H}{V_O} = \\ &= \frac{H \cdot K_p}{V_H} + \frac{H \cdot K_M}{V_H} + \frac{H}{V_H K_c} = \\ &= \frac{H}{V_H K_c} \left[a \cdot K_p \cdot K_c + (1 - a) \cdot K_M \cdot K_c + 1 \right]. \end{aligned} \quad (12)$$

Используя зависимости (6), (12) и (11), на базе условий (9) получаем уравнения относительно K_p и K_M :

$$\begin{cases} b \cdot K_M - K_p = 0; \\ 1 - a \cdot K_p - (1 - a) K_M = 0. \end{cases}$$

Решение этой системы дает результат:

$$\begin{aligned} K_p &= \frac{b}{[1 - a(1 - b)]}; \\ K_M &= \frac{1}{[1 - a(1 - b)]}. \end{aligned} \quad (13)$$

С учётом условия (9) и зависимостей (11) и (13) — установочная мощность насосов N_2 и давление насосов P_H :

$$\begin{aligned} N_2 &= P_p \cdot Q_H [1 - a(1 - b)]; \\ P_H &= P_{np} = P_{HM} = P_p [1 - a(1 - b)]. \end{aligned} \quad (14)$$

С учётом (5) и (14) соотношение установочных мощностей:

$$n = \frac{N_2}{N_1} = [1 - a(1 - b)] \quad (15)$$

Для машин, подобных листовым ножницам, усилие холостого хода может составлять $(10 \div 20)\%$ от усилия рабочего хода, т.е. $b = 0,1 \div 0,2$. Для примера (базовый вариант) принимаем $b = 0,2$. Тогда, например, при $a = 0,26 - n = 0,792$; $K_M = 1,262$; $K_p = 0,252$; $V_p = 3,97 \cdot V_H$; $V_M = 0,792 \cdot V_H$; $P_{HM} = 0,792 \cdot P_p$.

Таким образом, рассматриваемый редукторно-мультипликаторный привод, при данных условиях осуществляющий рабочий цикл за равное с простым насосным приводом время, будет иметь на

20,8% меньшую установочную мощность насосов.

Выводы. Перевод простого насосного привода листовых ножниц в разряд редукторно-мультипликаторного обеспечивает значительное снижение установочной мощности (до 30%) и, соответственно, рабочего давления насосов. Последнее позволяет разрабатывать приводы на основе недорогих насосов среднего давления – шестерённых и пластинчатых.

Список источников

1. Система управления подвижной traversой гидравлических ножниц: а.с. СССР №979033 Кл. В23D 15/24 / Н.В. Становой, Л.Н. Кузьменко. Опубл. 07.12.82. Бюл. №45.
2. Добринский Н.С. Гидравлический привод прессов. М.: Машиностроение, 1975. 222 с.
3. Бочаров Ю.А., Прокофьев В.Н. Гидропривод кузнечно-прессовых машин. М.: Высшая школа, 1969. 247 с.
4. Потапенков А.П., Пилипенко С.С., Серебренников Ю.Г. Разработка и исследова-

ние гидравлического редукторно-мультипликаторного привода металлургических машин // Известия вузов. Чёрная металлургия. 2009. №8. С. 54–59.

5. Патент №2084348 РФ В30В 15/24. Гидравлический пресс / А.П. Потапенков, В.И. Чабаненко, О.В. Миняков [и др.]. Опубл. 20.09.97. Бюл. №5.

6. Лепёшкин А.В. Михайлин А.А., Шейпак А.А. Гидравлика и гидропневмопривод. Т.2. Гидравлические машины и гидропневмопривод: учебник. М.: МГИУ, 2005. 352 с.

References

1. The control system of the movable traverse of hydraulic shears: a.s. USSR №979033 Class. B23D 15/24 / N.V. Stanovoy, L.N. Kuzmenko. Published 07.12.82. Bull. №45.
2. Dobrinsky N.S. Hydraulic press drive. M.: Mashinostroenie, 1975. 222 p.
3. Bocharov Yu.A., Prokofiev V.N. Hydrodrive of forging and pressing machines. M.: Higher school, 1969. 247 p.
4. Potapenkov A.P., Pilipenko S.S., Serebrennikov Yu.G. Development and research of

a hydraulic gear-multiplier drive for metallurgical machines. *Izvestiya vuzov. Ferrous metallurgy*. 2009;(8):54–59.

5. Patent No. 2084348 RF B30B 15/24. Hydraulic press / A.P. Potapenkov, V.I. Chabanenko, O.V. Minyakov [et al.]. Publ. 09/20/97. Bull. №5.

6. Lepeshkin A.V. Mikhailin A.A., Sheipak A.A. Hydraulics and hydropneumatic drive. T.2. Hydraulic machines and hydropneumatic drive: textbook. M.: MGIU, 2005. 352 p.

Научный вестник Арктики. 2022. №13. С. 83–88.
Scientific Bulletin of the Arctic. 2022;(13):83–88.

Технические науки

Научная статья
УДК 628.474.76:546.224–31(551.51)
doi: 10.52978/25421220_2022_13_83–88

**НОВЫЕ ТЕНДЕНЦИИ УТИЛИЗАЦИИ ДИОКСИДА СЕРЫ
В НОРИЛЬСКОМ ПРОМЫШЛЕННОМ РАЙОНЕ**

Наталья Анатольевна Губина¹, Татьяна Игоревна Вакуленко²,
Римма Камыловна Рагимова³

^{1,2,3}Заполярный государственный университет им. Н.М. Федоровского.

Аннотация. В статье изложены проблемы снижения выбросов диоксида серы в окружающую среду и приведение этих показателей к требованиям законодательства РФ. Для снижения выбросов диоксида серы реализуется комплексный проект модернизации производственных мощностей на Надеждинском металлургическом и Медном заводах – Серная программа. Проект основан на технических решениях, предполагающих промежуточное производство серной кислоты. Проект предполагает частичную модернизацию металлургического производства и строительство мощностей по утилизации диоксида серы на Медном и Надеждинском металлургическом заводах с необходимыми инфраструктурными проектами. Выполнен обзор источников информации по серному проекту, изучено воздействие диоксида серы на организм человека и окружающую среду, рассмотрены мероприятия по реализации серного проекта.

Ключевые слова: серный проект, диоксид серы, утилизация, металлургическое производство, окружающая среда, нейтрализация серы.

Для цитирования: Губина Н.А., Вакуленко Т.И., Рагимова Р.К. Новые тенденции утилизации диоксида серы в Норильском промышленном районе // Научный вестник Арктики. 2022. №13. С. 83–88. http://dx.doi.org/10.52978/25421220_2022_13_83–88.

Technical sciences

Original article

**NEW TRENDS IN SULFUR DIOXIDE UTILIZATION
IN THE NORILSK INDUSTRIAL REGION**

Natalya A. Gubina¹, Tatyana I. Vakulenko², Rimma K. Ragimova³

^{1,2,3}Fedorovsky Polar State University.

Abstract. The article outlines the problems of reducing sulfur dioxide emissions into the environment and bringing these indicators to the requirements of the legislation of the Russian Federation. To reduce sulfur dioxide emissions, a comprehensive project is being implemented to modernize production facilities at the Nadezhda Metallurgical and Copper Plants – the Sulfur Program. The project is based on technical solutions involving the intermediate production of sulfuric acid. The project involves a partial

modernization of metallurgical production and the construction of facilities for the utilization of sulfur dioxide at the Copper and Nadezhda Metallurgical Plants with the necessary infrastructure projects. measures to implement the sulfur project.

Keywords: sulfur project, sulfur dioxide, recycling, metallurgical production, environment, sulfur neutralization.

For citation: Gubina N.A., Vakulenko T.I., Ragimova R.K. New trends in sulfur dioxide utilization in the Norilsk industrial region. *Scientific Bulletin of the Arctic*. 2022;(13);83–88. (In Russ.). http://dx.doi.org/10.52978/25421220_2022_13_83-88.

В руде, добываемой на Таймыре, высокое содержание серы. К сожалению, ее нельзя полностью отделить на этапе обогащения (рис. 1). В результате сера выжигается при плавке и уходит в атмосферу в виде сернистого газа. В ЗФ ПАО «ГМК «Норильский никель» понимают, что проблему нужно решать.

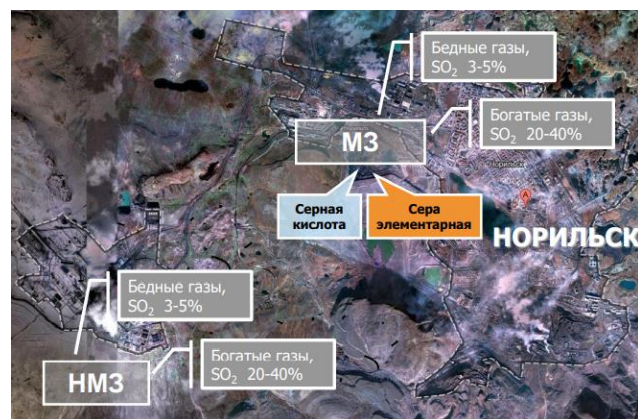


Рис. 1. Основные источники выбросов диоксида серы в ЗФ

В соответствии с требованиями законодательства РФ Компания должна снизить выбросы диоксида серы в окружающую среду. Для их выполнения реализуется комплексный проект модернизации производственных мощностей НМЗ и МЗ – Серная программа. Проект предполагает частичную реконфигурацию металлургического производства и строительство мощностей по утилизации диоксида серы на Медном (МЗ) и Надеждинском металлургическом заводах (НМЗ) с необходимыми инфраструктурными проектами. Он основан на технических решениях, предполагающих промежуточное производство серной кислоты [1; 2].

Модернизация Медного и Надеждинского заводов – крупнейший проект в истории «Норникеля». Общая площадь застройки составит 290 тысяч квадратных метров. Максимальная высота зданий 70 м, что сравнимо с Казанским собором в Петербурге или Спасской башней в Москве. Для строительства используют 94 тысячи тонн металла, что составит вес четырех Шуховских башен [2].

Цель исследования – изучение различных способов утилизации серы. Для достижения данной цели решаются следующие **задачи**: выполнение обзора источников информации по серному проекту; изучение воздействия диоксида серы на организм человека и на окружающую среду; анализ допустимых значений выбросов диоксида серы; изучение мероприятий по реализации серного проекта.

Основные минералы, которые направляются на металлургическую переработку после стадии обогащения (CuFeS_2 , NiFeS_2), содержат до трети серы (по массе), которая не отделяется физическими способами при обогащении, а может быть удалена только в процессе пирометаллургической переработки обогащенного сырья (рис. 2). Наличие такой связанной серы определило выбор автогенных пирометаллургических процессов в Норильске (взвешенная плавка, плавка в жидкой ванне), которые используют тепло, выделяемое при удалении серы, для экономии потребления природного газа [6].



Рис. 2. Серная программа.
Источник решаемой проблемы

В соответствии с Федеральным законом «Об охране окружающей среды», ООО «Институт Гипроникель» в 2017 г. разработал «Норматив предельно допустимых выбросов для основных производственных подразделений ЗФ ПАО ГМК «Норильский никель» [3]. Установлены следующие максимально допустимые значения для диоксида серы: для Медного завода – не более 118 тыс. т/год, для Надеждинского металлургического завода – не более 218 тыс. т/год. Снижение до указанных значений выбросов диоксида серы в 2025 г. обеспечит гарантированное выполнение требований законодательства к чистоте атмосферного воздуха на территории Российской Федерации.

SO₂ является компонентом атмосферы, вызывающим наибольшую озабоченность, и используется в качестве индикатора для большей группы газообразных оксидов серы (SO₂) (рис. 3). Другие газообразные оксиды серы типа SO₂ (например, SO₃) встречаются в атмосфере в концентрациях значительно ниже, чем SO₂ [6]. Как правило, можно ожидать, что меры контроля, снижающие содержание SO₂, снизят воздействие всех газообразных SO₂ на людей. Это может иметь важные благоприятные эффекты, заключающиеся в сокращении образования твердых сернистых загрязнителей, таких как мелкодисперсные сульфатные частицы. Выбросы, которые приводят к высоким концентрациям SO₂, как правило, также приводят к образованию других SO₂. Крупнейшим источником выбросов SO₂ является сжи-

гание ископаемого топлива на электростанциях и других промышленных объектах [4; 5].

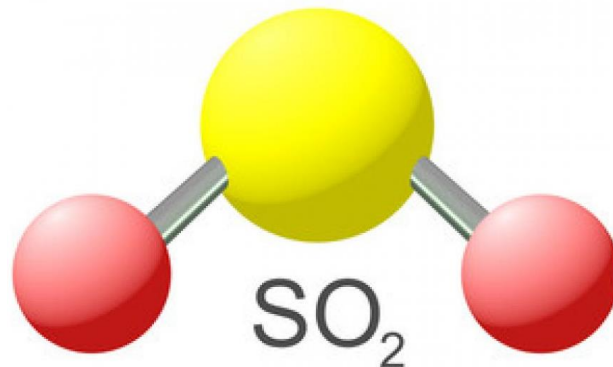


Рис. 3. Формула диоксида серы

К более мелким источникам выбросов SO₂ относятся промышленные процессы (добыча металла из руды), природные источники (вулканы), локомотивы, корабли и другие транспортные средства, тяжелое оборудование, сжигающее топливо с высоким содержанием серы [5; 6].

Кратковременное воздействие SO₂ может нанести вред дыхательной системе, а длительное – нервной. Мелкие частицы проникают глубоко в легкие и в достаточном количестве могут стать причиной проблем со здоровьем. При высоких концентрациях газообразный SO₂ может нанести вред деревьям и растениям, повреждая листву и снижая рост, а также способствует выпадению кислотных дождей, наносящих вред чувствительным экосистемам. SO₂ и другие оксиды серы могут вступать в реакцию с другими соединениями в атмосфере, образуя мелкие частицы, которые снижают видимость [4; 6]. При взаимодействии с SO₂ строительные конструкции подвергаются окислению, что приводит к изменению их окраски и сокращению сроков эксплуатации.

Как предотвратить загрязнение воздуха диоксидом серы? Нормативы выбросов загрязняющих веществ, назначаемые предприятиям, способствуют сокращению выбросов SO₂ и загрязняющих веществ, образующих оксиды серы, и помогут им соответствовать национальным стандартам качества воздуха.

Если в населенных пунктах качество воздуха не соответствует стандартам по вине предприятия, то далее следуют штрафные санкции [6].

Предприятия для реализации серного проекта уже достигли следующих показателей: увеличение мощности пиromеталлургического передела Надеждинского металлургического завода с целью переработки всего объема никелевого сырья; вывод из эксплуатации Никелевого завода, перевод переработки всего никельсодержащего сырья на Надеждинский металлургический завод; ввод в эксплуатацию установки по получению сульфит-бисульфитного реагента из богатых отходящих газов печей Ванюкова Медного завода; вывод из эксплуатации конвертерного передела плавильного цеха Медного завода с переносом переработки медного штейна и производство всего объема анодной меди на Надеждинский металлургический завод; утилизация диоксида серы технологических газов печей Ванюкова №2,3 Медного завода; утилизация технологических газов печей взвешенной плавки (ПВП-1,2) и комплекса непрерывного конвертирования (ПВК КНК) Надеждинского металлургического завода.

Серная программа предполагает утилизацию диоксида серы на Медном и Надеждинском металлургическом заводе с предварительным получением серной кислоты и ее дальнейшей нейтрализацией известняком с получением гипса. В ходе выполнения серной программы будут обеспечены: высокая степень утилизации диоксида серы (до 99,7%); низкое потребление природного газа и отсутствие потребления кислорода; проекты исключают сброс неочищенных сточных вод; применяемые технологии утилизации основаны на технических решениях, имеющих промышленные аналоги в мире и РФ. Помимо диоксида серы, применяемые технологии позволят снизить до минимума выбросы твердых загрязняющих веществ,

содержащих Cu, Ni. Проектами предполагается использование в технологической схеме существующих неочищенных сточных вод.

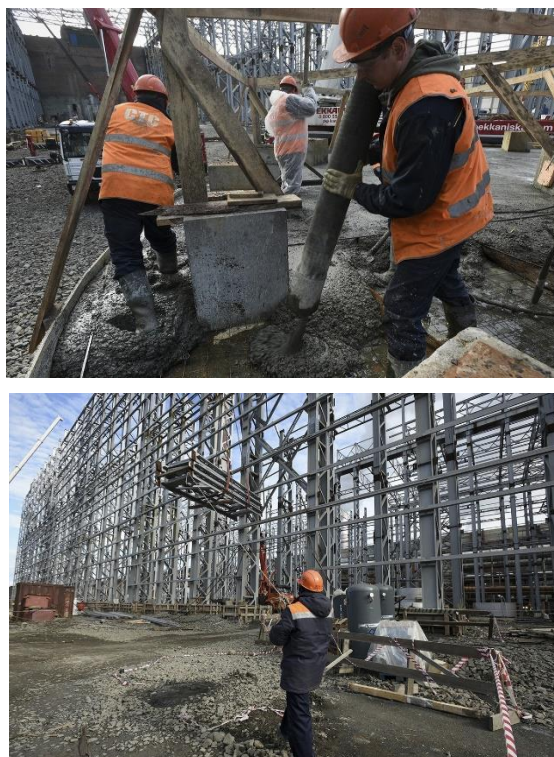


Рис. 4. Строительство комплекса по утилизации диоксида серы на НМЗ

Комплекс по утилизации диоксида серы на НМЗ (рис. 5): предполагается утилизация диоксида серы из отходящих газов печей взвешенной плавки и перспективного проекта НМЗ-ЗПК (строительство третьего плавильного агрегата на НМЗ), снижение выбросов диоксида серы от источников НМЗ до нормативов ПДВ (218 тыс. т в год). Экологический эффект – сокращение выбросов диоксида серы позволит в 2023 г. достичь нормативов ПДВ от источников НМЗ. Разработана проектная документация, на которую получены положительные заключения Государственной экологической экспертизы и Главгосэкспертизы; выполнены подготовительные работы (демонтаж, очистка площадки); разработка рабочей документации, заключены контракты на поставку оборудования с длительными циклами изготовления. Заключены и реализуются до-

говоры с генподрядными организациями на выполнение комплекса работ (включая СМР) на основной площадке и на площадке гипсохранилища, а также выполняются строительно-монтажные работы. Выполняется строительство вахтового поселка для строителей.



Рис. 5. Надеждинский металлургический завод

Комплекс по утилизации диоксида серы на МЗ (рис. 6): предполагается ликвидация источника выброса бедных отходящих газов из конверторного отделения, снижение выбросов диоксида серы от источников до нормативов ПДВ (118 тыс. тонн в год), а также утилизация диоксида серы из концентрированных отходящих газов печей Ванюкова и комплекса непрерывного конвертирования на Медном заводе. Экологический эффект – сокращение выбросов диоксида серы позволит в 2025 г. достичь нормативов ПДВ от источников МЗ. Разработана рабочая документация на выполнение первоочередных работ по проекту (МЗ-ТПООП); выполнены значитель-

ный объем инженерных изысканий и исследований; разработана конструкторская документация на часть нестандартного оборудования; заключены договоры на поставку части нестандартного оборудования; выполнена поставка части оборудования; начата разработка документации по основным проектам. Заключен и реализуется договор с генподрядной организацией на выполнение комплекса первоочередных работ (включая СМР) по проекту МЗ ТПООП (объекты мокрой газоочистки).



Рис. 6. Медный завод

Закключение. В ходе исследования различных способов утилизации серы в НПП можно сделать вывод о том, что рассматриваемые комплексы работ, реализуемые на предприятиях в городе Норильске, выполняются успешно. Проанализировав допустимые значения выбросов для диоксидов серы, приходим к выводу, что на данный момент несколько десятков тысяч тонн воздушных загрязнений перестали отравлять атмосферу Норильска.

Список источников

1. Серная программа. URL: <https://www.nornickel.ru/sustainability/environment/sulphur/>?
2. «Серный проект» назван крупнейшей экологической инициативой в России. URL: <https://sgnorkilsk.ru/nornickel/sernyj-proekt-nazvan-krupnejshej-ekologicheskoy-iniciativoj-v-rossii/>?
3. Об охране окружающей среды: Федеральный закон от 10.01.2002 №7-ФЗ (последняя редакция). URL: [http://www.](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_34823/)

[consultant.ru/document/cons_doc_LAW_34823/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_34823/)?

4. Загрязнение атмосферы диоксидом серы. URL: <https://laboratoria.by/stati/diox-sery/>?

5. Загрязнение биосферы оксидами серы. URL: <https://www.activestudy.info/zagryaznenie-biosfery-oksidami-sery/>?

6. 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.

References

1. Sulfur program. URL: [https://www. nornick-el.ru/sustainability/environment/sulfur/](https://www.nornick-el.ru/sustainability/environment/sulfur/)

2. The Sulfur Project is named the largest environmental initiative in Russia. URL: <https://sgnorilsk.ru/nornickel/sernyj-proekt-nazvan-krupnejshej-ekologicheskoy-inicijativoj-v-rossii/>

3. On environmental protection: Federal Law of 01/10/2002 No. 7-FZ (last edition). URL: [http://www. consultant.ru/document/cons_doc_LAW_34823/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_34823/)

4. Pollution of the atmosphere with sulfur dioxide. URL: <https://laboratoria.by/stati/diox-sery/>

5. Pollution of the biosphere with sulfur oxides. URL: <https://www.activestudy.info/zagryaznenie-biosfery-oksidami-sery/>

6. Problems of ecology and rational use of resources in the harsh conditions of the Arctic: monograph / М.А. Yelesin, N.A. Gubina, O.P. Ryseva, N.V. Karmanovskaya, O.V. Nosova. Norilsk, 2019. 193 p.

Научный вестник Арктики. 2022. №13. С. 89–93.
Scientific Bulletin of the Arctic. 2022;(13):89–93.

Технические науки

Научная статья

УДК 622.673.6

doi: 10.52978/25421220_2022_13_89–93

**ЗАМЕНА СТАЛЬНОГО КАНАТА В СТВОЛЕ ВС-10 РУДНИКА
«СКАЛИСТЫЙ» НА КАНАТ ИЗ УГЛЕРОДНОГО ВОЛОКНА**

Егор Олегович Исаков¹, Андрей Аполлинарьевич Федоров²

^{1,2}Заполярный государственный университет им. Н.М. Федоровского.

Аннотация. В исследовании раскрывается актуальность замены стальных канатов. Представляются сведения о сравнении разной классификации углеродного волокна (низкомодульные, средней прочности, высокопрочные), физических и финансовых расчетах, которые доказывают их продуктивность.

Ключевые слова: рудник, ствол, канат, Bridon, KONE, сталь, углеродное волокно.

Для цитирования: Исаков Е.О., Федоров А.А. Замена стального каната в стволе ВС-10 рудника «Скалистый» на канат из углеродного волокна // Научный вестник Арктики. 2022. №13. С. 89–93. http://dx.doi.org/10.52978/25421220_2022_13_89–93.

Technical sciences

Original article

**REPLACEMENT OF A STEEL ROPE IN THE VS-10 SHAFT
OF THE SKALISTY MINE WITH A CARBON FIBER ROPE**

Egor O. Isakov¹, Andrey A. Fedorov²

^{1,2}Fedorovsky Polar State University.

Abstract. Brief information about the Rocky mine and the VS-10 trunk. Carbon fiber rope, its advantage over rope. Actual replacement of steel with carbon fiber. Physical and financial calculations leading to superior values.

Keywords: mine, trunk, rope, Bridon, KONE, steel, carbon fiber.

For citation: Isakov E.O., Fedorov A.A. Replacement of a steel rope in the VS-10 shaft of the Skalisty mine with a carbon fiber rope. *Scientific Bulletin of the Arctic*. 2022;(13):89–93. (In Russ.). http://dx.doi.org/10.52978/25421220_2022_13_89–93.

Рудник «Скалистый». Рудник «Скалистый» вышел на проектную отметку –2056 м. Это самый глубокий рудник Компании «Норникель», который также является самым глубоким в Евразии.

Стволы рудника вскрывают глубокие залежи Октябрьского месторождения. «Скалистый» укомплектован современными средствами автоматизации, необходимым количеством горной проходче-

ской техники (29 единиц) и по праву носит звание инновационного горного предприятия Компании. Поле рудника вскрыто тремя стволами глубиной от 1175 до 2051,5 м, ведётся строительство двух самых глубоких на континенте стволов. Протяжённость шахтного поля «Скалистого» более 3,5 км, максимальная ширина – 600 м. Общая протяжённость действующих выработок более 110 км, суммарная протяжённость подземного железнодорожного полотна около 14 км. За всю историю рудника было добыто 17 млн. т руды, заложено 4 млн. кубометров пустот, пройдено более 240 км горных выработок, выдано 7 млн. кубометров горной массы. Проектная мощность рудника на 1 января 2020 г. составляет 2500 тыс. т [1–3].

Вентиляционный ствол ВС–10. Вентиляционный ствол ВС–10 предназначен для обеспечения воздухом и проветривания подземных горных выработок, находящихся в районе рудных залежей северного участка Талнахского месторождения. Кроме того, по стволу доставляют породу на поверхность. Также он служит запасным выходом персонала в случае введения плана ликвидации аварии.

Шахтный подъем. Ствол ВС–10 оснащается одноклетевым подъемом с противовесом для спуска-подъема грузов и аварийного подъема людей, а также односиповым подъемом с противовесом для выдачи породы.

Клетевой подъем. Для клетевого подъема на стволе ВС-10 рудника «Скалистый» предусматривается использование двухконцевой двухканатной машины системы Блейера. Приемные площадки расположены на нулевой отметке копра и на 6 горизонтах, в одно- и двухсторонних сопряжениях. Перемещение клетки и противовеса в стволе производится по стальным направляющим коробчатого сечения [4].

Канаты из стали. Выбор подъемных канатов осуществляется по всем россий-

ским правилам и нормам для подъемных канатов, применяемым на горных предприятиях, с учетом обеспечения надежности работы и безопасности.

Используется тип каната Bridon Tiger FL 46, оцинкованный, полностью закрытый (табл. 1).

Таблица 1

Диаметр каната	46 мм
Масса одного метра	11,90 кг/м
Расчетное разрывное усилие	2,324 кН
Длина каната	Каждый по 2300 м
Скорость движения каната	8,0 м/с

Закрытые канаты широко используются на подъемных установках этого типа, особенно в Великобритании. Благодаря преимуществам конструкции, такие канаты хорошо подходят для данного типа подъемных установок, особенно там, где применяются канатные направляющие. Из-за большой площади гладкой поверхности закрытых канатов допустимо опорное давление до 28,0 кгс/см² (2,75 МПа). Ограничение используется для минимизации износа фрикционных футеровок, канат сам по себе может выдерживать намного большее давление [5].

Углеродное волокно. *Углеродное волокно* – материал, состоящий из тонких нитей диаметром от 5 до 10 мкм, образованных преимущественно атомами углерода. Атомы углерода объединены в микроскопические кристаллы, выровненные параллельно друг другу. Выравнивание кристаллов придает волокну большую прочность на растяжение. Углеродные волокна характеризуются высокой силой натяжения, низким удельным весом, низким коэффициентом температурного расширения и химической инертностью.

Важнейшей из характеристик угле-волокну остается его исключительная тепловая стойкость. Даже если угле-локно прогрето до 1600–2000°, оно не теряет своих физических свойств [6].

Углеродное волокно обладает свойствами высокой прочности, высокого модуля упругости, высокой термостойкости, коррозионной стойкости.

Оно в несколько раз прочнее стали и алюминия и намного легче, чем эти два материала: стали – в 5 раз, алюминия – в 1,5 раза.

Углеродные волокна имеют разную классификацию, основанную на физико-механических свойствах [6] (табл. 2).

Таблица 2

Классификация	Прочность на разрыв, МПа	Модуль Юнга, ГПа
Высокопрочные	3000–7000	200–300
Высокомодульные	2000–3000	350–700
Низкомодульные	500–1000	30–50
Средней прочности	1000–2000	50–150

Тросы из углеродного волокна UltraRope. Компания KONE утверждает, что создали новую инновацию – канаты, изготовленные по технологии UltraRope. Сверхлегкая технология KONE UltraRope обеспечивает непревзойденную экологическую эффективность, надежность и долговечность лифта, а также улучшает его производительность. Он устраняет недостатки существующих стальных канатов – высокое энергопотребление, растяжение каната, большие движущиеся массы и простои, вызванные качанием здания. Kone заявил, что они способны уменьшить этот вес на 90%, с заменой стали на углеродистое волокно.

Большой предел прочности позволяет такому материалу быть сильнее и легче. Впервые эту технологию компа-

ния Kone хочет реализовать в самом высоком здании Саудовской Аравии, его конечная высота превысит 1000 м [7].

Производство углеродного волокна. В первую очередь, полиакриловые жгуты подвергают окислению, проводя термическую обработку на воздухе при температуре около 200 °С. Окисленный ПАН представляет интерес в некоторых сферах производства как термостойкий и трудно горючий материал. После окисления полотно проходит через печи карбонизации (около 1500 °С) и графитизации (около 3000 °С). На этой стадии удаляются остатки водорода и гетероатомов, происходит образование двойных связей между атомами углерода. Процессы карбонизации и графитизации проводятся в инертной среде. В завершении процесса карбонизации жгут имеет готовый химический состав и структуру. Для массового производства весьма перспективными являются углеродные волокна на основе пеков, причем волокна на основе обычных пеков являются низкосортными и изотропными, а на основе жидкокристаллических пеков – высококачественными и анизотропными [8].

Сравнительный расчет каната из угле-волокну. Для сравнения берем углеродное волокно:

- низкомодульное (500 МПа);
- средней прочности (3000 МПа);
- высокопрочное (7000 МПа).

Определяем максимальную нагрузку на канат в условиях ствола ВС–10:

$$G_{\max} = (m_k + m_p) \cdot g;$$

$$G_{\max} = (20000 + 32500) \cdot 9,8 \approx 520 \text{ кН},$$

где m_k – масса клетки, кг; m_p – масса груза, кг.

Определяем площадь поперечного усилия исходя из обеспечения прочности каната:

$$A \geq \frac{G_{\max}}{[\sigma] - \rho \cdot g \cdot l},$$

где $G_{\max}$ – максимальное возможное усилие, кН; $[\sigma]$ – допустимый предел на разрыв для углеродного волокна, МПа; ρ – плотность углеродного волокна, кг/м³; $g = 9,8$ кг·с²/м; l – длина каната из углеродного волокна, мм.

Таким образом, диаметр каната из углеродного волокна составит:

$$d > \sqrt{\frac{4 \cdot A}{\pi}},$$

где d – диаметр каната из углеродного волокна, мм; A – площадь поперечного сечения каната из углеродного волокна, мм²; $\pi = 3,14$.

Расчетные данные для каната из углеволокна указаны в табл. 3.

По полученным данным видно, что наиболее сравним с канатом из стали канат из низкомодульного углеволокна диаметром 38 мм, что является одним из низких показателей углеволокна.

Вывод. Замена стальных канатов на канаты из углеволокна дает ряд значительных преимуществ:

- 1) уменьшение затрат электропотребления;
- 2) значительное уменьшение массы каната;

3) уменьшение диаметра барабана за счет уменьшения диаметра каната из углеволокна;

4) уменьшение диаметра каната;

5) увеличение термостойкости каната;

6) упрощение обслуживания каната;

7) возможность массового производства канатов из углеволокна.

Таблица 3

Наименование материала	Расчетная площадь, мм ²	Расчетный диаметр, мм	Масса 1 м, кг/м
Низкомодульное	1113,4	38	2,6
Средней прочности	169,5	15	0,39
Высокопрочные	71,9	10	0,18
Сталь (справочные данные)	1661,1	46	11,9

Стоимость 1 п.м. каната двойной свитки у компании Bridon составляет 2761,8 руб., а стоимость 1 п.м. углеродного волокна – в среднем 720 руб. Исходя из этих данных, можно сделать вывод, что реализация российского производства канатов из углеволокна выгоднее, чем покупка импортных.

Список источников

1. В Норильске вскроют самые глубокие залежи Октябрьского месторождения на глубине более 2 км. URL: <https://newslab.ru/> (дата обращения: 13.04.2022).
2. Самый глубокий в Евразии рудник «Скалистый» вышел на проектную отметку –2056 м. URL: <https://sdelanounas.ru/> (дата обращения: 13.04.2022).
3. Глубокие перспективы // Заполярная правда. URL: <https://gazetazp.ru/> (дата обращения: 13.04.2022).
4. «Норникель» построил самую глубокую вентиляцию в Европе // 1-Line. URL: <https://1line.info/> (дата обращения: 13.04.2022).

5. Техническая информация // Тип подъемной установки URL: <http://www.nataliya-tovmach.pro/> (дата обращения: 13.04.2022).
6. Углеродное волокно (20) // Атомная энергия. URL: <https://www.atomic-energy.ru/> (дата обращения: 13.04.2022).
7. Новая технология от Kone, Ultra Rope, изменит поездки в лифтах. // ООО «Авант Лифт Сервис». URL: <http://avantlift.ru/> (дата обращения: 13.04.2022).
8. Все об углеволокне // Строй подсказка. URL: <https://stroy-podskazka.ru/> (дата обращения: 13.04.2022).

References

1. In Norilsk, the deepest deposits of the Oktyabrskoye field will be discovered at a depth of more than 2 km. URL: <https://newslab.ru/> (date of access: 04/13/2022).
2. The deepest mine in Eurasia, Skalisty, reached the design level of -2056 m. URL: <https://sdelanounas.ru/> (date of access: 04/13/2022).
3. Deep perspectives // Zapolyarnaya Pravda. URL: <https://gazetazp.ru/> (date of access: 04/13/2022).
4. Norilsk Nickel built the deepest ventilation system in Europe // 1-Line. URL: <https://1line.info/> (date of access: 04/13/2022).
5. Technical information // Type of lifting unit URL: http://www.nataliya_tovmach.pro/ (date of access: 13.04.2022).
6. Carbon fiber (20) // Atomic energy. URL: <https://www.atomic-energy.ru/> (date of access: 04/13/2022).
7. New technology from Kone, Ultra Rope, will change elevator rides. // Avant Lift Service LLC. URL: <http://avantlift.ru/> (date of access: 04/13/2022).
8. All about carbon fiber // Build a hint. URL: <https://stroy-podskazka.ru/> (date of access: 04/13/2022).

Научный вестник Арктики. 2022. №13. С. 94–100.
Scientific Bulletin of the Arctic. 2022;(13):94–100.

Технические науки

Научная статья

УДК 622.235:622.343.48

doi: 10.52978/25421220_2022_13_94–100

**ИССЛЕДОВАНИЯ ВЗРЫВОСЕЛЕКЦИИ РУДО-ПОРОДНОГО
МАССИВА С ПОЗИЦИИ СТАБИЛИЗАЦИИ
КАЧЕСТВА РУД ПРИ ДОБЫЧЕ**

Наталья Александровна Туртыгина¹, Амалия Павловна Елизарьева²,
Сергей Александрович Шаров³

^{1,2,3}Заполярный государственный университет им. Н.М. Федоровского.

¹E-mail: natyrtigina@mail.ru.

²E-mail: amalbochar@icloud.com.

³E-mail: galaxy2953@gmail.com.

Аннотация. Одним из перспективных методов решения проблемы повышения стабильности вещественного состава добытых руд является совершенствование технологии взрывной отбойки, базирующейся на использовании положительного эффекта от разделительного действия взрыва. За счёт изменения параметров буровзрывных работ представляется возможным усилить смесительное или разделительное действие взрыва при отбойке рудо-породного массива за счет применения технологии взрывоселекции.

Ключевые слова: рудник, взрывная отбойка, перемешивание, крупность рудной массы, качество, стабильность вещественного состава, технология взрывоселекции.

Для цитирования: Туртыгина Н.А., Елизарьева А.П., Шаров С.А. Исследования взрывоселекции рудо-породного массива с позиции стабилизации качества руд при добыче // Научный вестник Арктики. 2022. №13. С. 94–100. http://dx.doi.org/10.52978/25421220_2022_13_94–100.

Technical sciences

Original article

**STUDIES OF EXPLOSIVE SELECTION OF ORE-ROCK
MASSIF FROM THE STANDPOINT OF ORE QUALITY
STABILIZATION DURING MINING**

Natalia A Turtygina¹, Amalia P. Elizarieva², Sergey A. Sharov³

^{1,2,3}Fedorovsky Polar State University.

¹E-mail: natyrtigina@mail.ru.

²E-mail: amalbochar@icloud.com.

³E-mail: galaxy2953@gmail.com.

Abstract. One of the promising methods for solving the problem of increasing the stability of the material composition of mined ores is to improve the technology of explosive breaking, based on the use of the positive effect of the separation effect of the explosion. By changing the parameters of drilling and blasting, it seems possible to enhance the mixing or separating effect of the explosion during the breaking of an ore-rock massif, through the use of explosion selection technology.

Keywords: mine, explosive breaking, mixing, ore mass size, quality, material composition stability, explosive selection technology.

For citation: Turtygina N.A., Elizarieva A.P., Sharov S.A. Studies of explosive selection of ore-rock massif from the standpoint of ore quality stabilization during mining. *Scientific Bulletin of the Arctic*. 2022;(13):94–100. (In Russ.). http://dx.doi.org/10.52978/25421220_2022_13_94-100.

Для минерально-сырьевой базы горнодобывающего производства ЗФ ПАО ГМК «Норильский никель» последний двадцатипятилетний период характеризуется постепенным снижением части запасов наиболее ценных богатых руд. С целью компенсации общего обеднения запасов полезных ископаемых возникает необходимость в наращивании объемов горного и обоганительного производств, что, безусловно, приводит к увеличению рабочих параметров технологического оборудования и систем разработки с применением технологии валовой отбойки руды и породы [10].

Обычно технология валовой отбойки приводит к возрастанию засорения руды боковыми породами и уменьшению содержания металлов в отбитых рудах. «При этом в процессе ведения горных работ формируется естественный процесс фракционного разделения отбитой рудопородной массы, когда руда, будучи более хрупкой, чем вмещающие породы, дробится на менее крупные куски, которые, частично превращаясь в мелочь, содержащую наиболее высокий процент металла, остаются в верхней зоне навала, а крупные, в основном породные куски, скатываются в периферийную часть насыпи (навала). В результате этого процесса увеличивается неоднородность отбитой массы по всему ее объему с ростом показателей изменчивости вещественного состава в отбитых рудах

и снижается качество добытого рудного сырья в целом» [5, с. 38].

В этой связи для горнодобывающих предприятий все более актуальной становится проблема стабилизации качества руд при подземной добыче на базе разделительных процессов [6]. Например, за счет разделительного действия взрыва при отбойке руды. Этот способ разделения еще называется взрывоселекцией. Так как взрывная отбойка находится в начале производственных процессов, непосредственно влияющих на качество добытой рудной массы, в работе взрывоселекция рассматривается как способ, формирующий стабильное качество добытых руд.

Исследования в области взрывного разделения руды и породы или руд разных сортов в большей мере изучались для условий разработки открытым способом. «На карьерах – это взрыв на рыхление и другие методы управления энергией взрыва; на подземных рудниках – это селективная выемка, включающая селективную отбойку» [1, с. 4]. Все эти схемы взрывного разделения руды и породы применяются при очистной выемке, хотя разделение бывает необходимо и при проходческих, нарезных и очистных работах, для отработки совместно залегающих разнокачественных руд, маломощных флангов рудных месторождений, а также при проходке выработки в присечку с бетоном. Таким об-

разом, представленная тема, направленная на решение проблемы стабилизации качества медно-никелевых руд при подземной добыче, представляется весьма актуальной как в научном, так и в практическом плане.

Идея работы заключается в том, что взрывоселекция рассматривается не только как способ отбойки полезного ископаемого, но и как технологический фактор, способный в определённой мере эффективно снижать уровень изменчивости содержания полезных компонентов в рудопотоке.

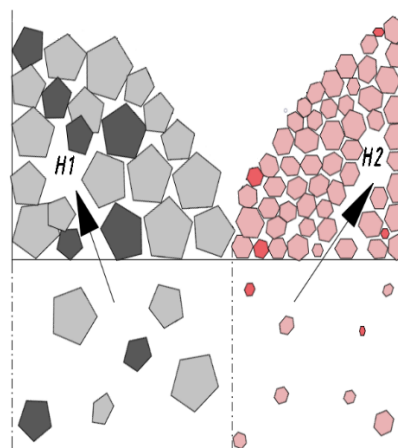
Цель работы – теоретическое и инженерное обоснование технологических условий для эффективного повышения стабилизации качества рудной массы, за счет разделительного действия взрыва при отбойке рудо-породного массива.

Эффект взрывоселекции обеспечивается за счет формирования двух (или более) разнонаправленных векторов действия взрывов зарядов взрывчатых веществ (ВВ) или векторов одного направления, но имеющих разные скалярные значения (рис. 1, а, б). Большие возможности в обеспечении отбойки со взрыворазделением руды и боковых пород заключены в схемах взрывания. Управление взрывом при этом осуществляется за счет изменения последовательности и интервалов инициирования зарядов ВВ (рис. 1, в). Необходимо учитывать, что для обеспечения эффективности взрывоселекции желательно наличие четкого, визуального различия контакта между рудой и боковыми горными породами [7]. Разделение отбитых руд от породы также можно добиться путем использования в рудо-породном забое разнотипных ВВ: в одном месте имеющих большую метательную способность, т.е. метательных, в другом же бризантных, которые работают на разрушение массива.

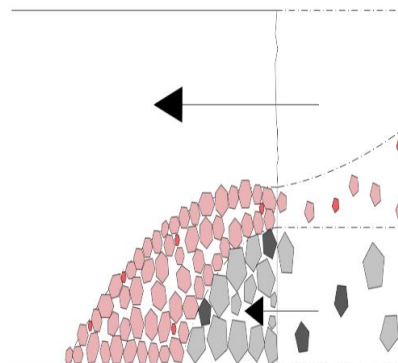
В качестве эффективного способа обеспечения эффекта взрывоселекции может быть конструкция зарядов ВВ. «Так, сплошные заряды обеспечивают

наибольшее энергетическое воздействие на массив, при рассредоточении частей заряда инертной забойкой оно смягчается, а применение воздушных промежутков между частями заряда (или кольцевых) способствует большему выбросу отбитой массы» [2, с. 128].

а)



б)



в)

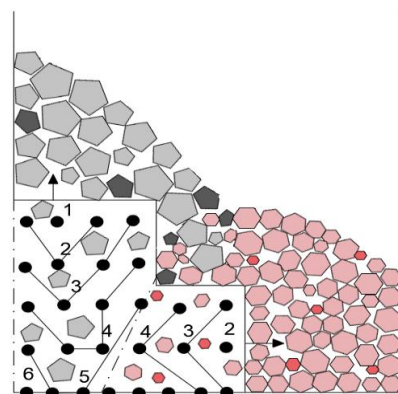


Рис. 1. Создание эффекта взрывоселекции при векторах отбойки:

а – при разнонаправленных;

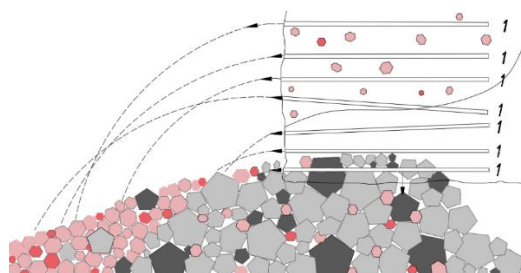
б – при параллельных, но разной величины;

в – за счет схемы инициирования

(1, 2... – последовательность инициирования зарядов взрывчатых веществ)

В значительной степени смешивание происходит в отбитых рудах и породах в навале при инициировании всех зарядов одновременно (рис. 2, а).

а)



б)

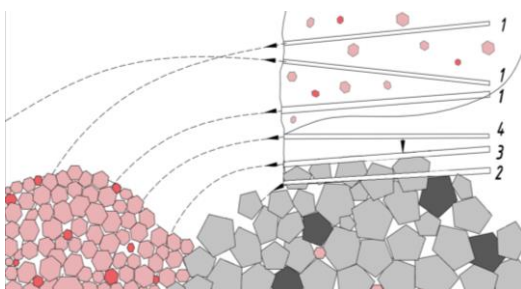


Рис. 2. Схемы образования навала отбитой рудо-породной массы: а – при одновременном инициировании зарядов ВВ (1 – порядок инициирования заряда); б – при разновременном инициировании зарядов взрывчатых веществ (1–4 – порядок инициирования зарядов)

Разделение при взрывоселекции можно обеспечить за счет разновременного взрывания зарядов ВВ, расположенных в рудо-породном массиве, в результате навал отбитой массы приобретает волнообразный вид, в котором четко выделяются контуры руды и породы. В этом случае изначально взрываются верхние (усиленные) заряды, размещенные в руде, а затем поочередно (в направлении снизу вверх) нижние (см. рис. 2, б).

На основании вышесказанного в работе установлены численные закономерности влияния разубоживания на содержание полезных компонентов в отбитой руде при применении технологии взрывоселекции по сравнению с основными способами отбойки руды (табл. 1), а также выполнена оценка ее эффективности. В её основе лежат работы, выполненные в МГГУ (Амирхановым И.З., Ломоносовым Г.Г., Каплуновым Р.П. и др.), а также собственные наблюдения и оценки авторов.

Таблица 1

Укрупненная шкала эффективности стабилизационной способности основных способов взрывной отбойки

Варианты технологии добычи	Варианты взрывной отбойки	Ожидаемое значение коэффициента смешивания K_c	Показатели эффективности		
			Разубоживание рудной массы, %	Содержание металла в рудной массе, у.е.	Оценка эффективности
Валовая отбойка руды и породы	в зажиме	1,0	50–100	3	1
	скважинная	1,1–1,2			
Селективная выемка руды и породы	шпуровая	1,2–1,3	10–18	4,52	3
Взрывоселекция руды и породы	по специальной технологии	1,3–1,4			
			20–25	4,07	2

Согласно шкале, способ взрывоселекции обеспечивает оптимальные показатели качества руды при относительно низком уровне разубоживания, т.е. при разубоживании рудной массы в 20% со-

держание металла в отбитом объеме составляет 3,1%, а при валовой и селективной отбойке разубоживание составляет 50% и 25% с содержанием металла в рудной массе соответственно 2% и 3,44%.

Средний размер кусков отбитых руд определяет кусковатость, а следовательно, фракционный состав рудной массы. В частности, размер кусков и их соотношение представляется определяющей причиной, которая влияет на степень взаимопроникновения сыпучих масс, т.е. чем фракция меньше и больше разница в размерах соседних рудных кусков, тем лучше происходит взаимное перемещение и, соответственно, перемешивание рудной массы [8].

С целью изучения фракционного состава руд после отбойки в забое и распределения содержания металлов по классам в условиях рудника были проведены специальные производственные наблюдения в горных выработках рудника (рис. 3).

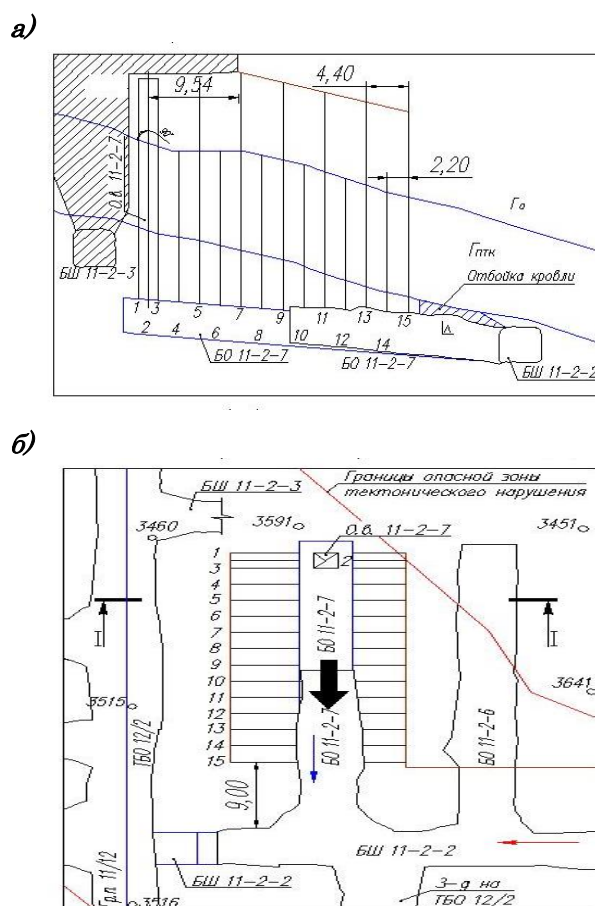


Рис. 3. Графическое изображение горных выработок исследуемого участка в технологической схеме рудника: а – разрез по оси горной буровой выработки; б – план горных выработок бурового горизонта

Согласно кривым (рис. 4), содержание никеля в кусках отбитой рудо-породной массы крупностью от 5 до 35 см изменяется в пределах от 0,34 до 0,2%, а меди, соответственно, от 1,3 до 0,22%. Такое фракционное разделение добытых руд способствует применению технологии для стабилизации качества руд, в основе которой лежит разделительно-сепарационный принцип управления качеством.

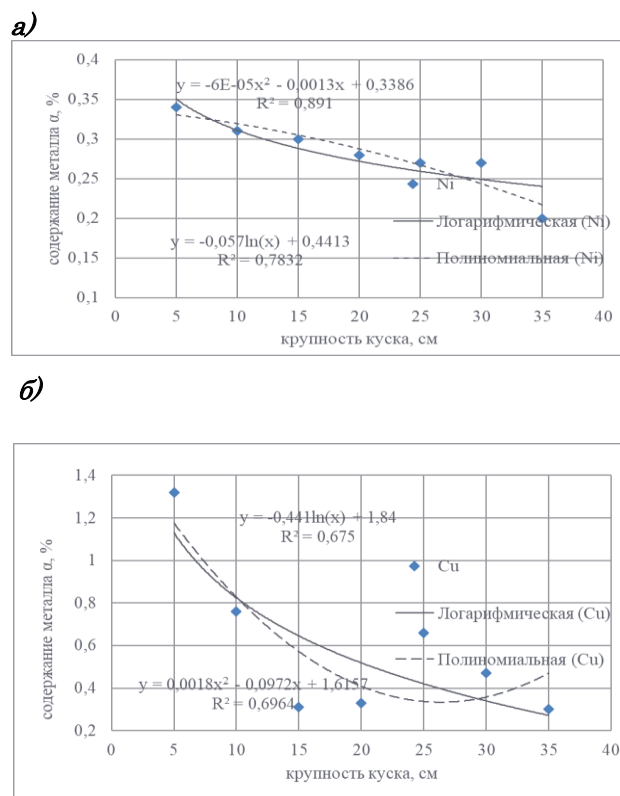
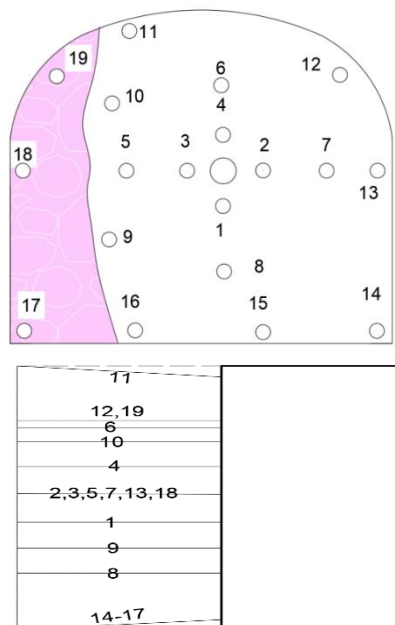


Рис. 4. Зависимость содержания металла от крупности куска руды в рудной массе: а – никеля; б – меди

В принципе перемешивание отбитых руд происходит в процессе взрывного разрушения горного массива и сопровождается движением в пространстве его образующихся объемов. Однако при отбойке в зажатой среде такое движение слабо выражено и в отбитых рудах практически не происходит перемешивание кусков. Максимально возможным взаимным смещением кусков с дальнейшим их перемешиванием в навале рудной массы вполне допустимо при взрывании на отрытую поверхность забоя [9]. К тому же смесительную способность

взрыва можно увеличить за счёт изменения схем инициирования зарядов ВВ, например, применив технологическую схему взрывания с использованием фугасных зарядов, представленную на рис. 5.

а)



б)

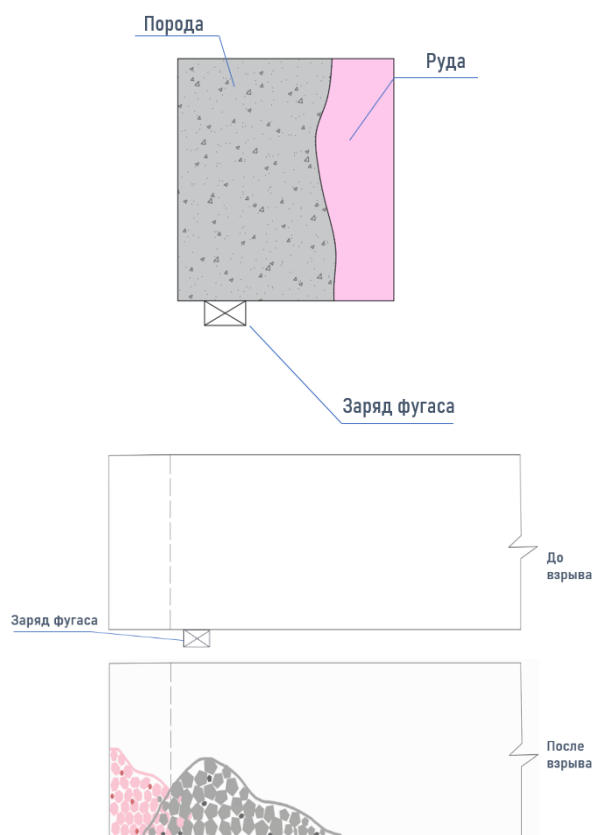


Рис. 5. Технологическая схема взрывоселекции:
а – схема расположения шпуров в забое;
б – схема с использованием фугаса

Сущность схемы взрывоселекции заключается в следующем: забой обуривается по схеме, приведенной на рис. 5, а. Врубовые и вспомогательные шпуров 1, 2, 8 должны быть сдвинуты в породный объем забоя на расстоянии 0,1 м от контакта руда–порода. Шпуров 9, 10, 11, 16 в породной части забоя являются оконтуривающими для породной части забоя. Шпуров с 17 по 19 должны забуриваться по рудному контуру сечения забоя. В качестве ВВ рекомендуется использовать патрон аммонита №6 ЖВ.

Фугасный заряд необходимо закладывать в специально подготовленную лунку на расстоянии в 20–30 см от забоя в почве и предохранять его от преждевременного взрыва. Заряды, расположенные в рудной части забоя и в породной, нужно взрывать с замедлением (не менее 100 мс). Сначала срабатывают заряды в породной части, затем фугасный заряд откидывает породную массу от забоя, а затем срабатывают заряды в рудном объеме (см. рис. 5, б). В результате взрыва будут сформированы рудный и породный навалы волнообразной формы, что впоследствии позволит выполнить обособленную их погрузку, обеспечив тем самым наименьшее разубоживание в рудной массе.

С позиции улучшения качества продукции горнодобывающего предприятия рекомендуется на основе установленных корреляционных зависимостей содержания металла от крупности куска руды в навале отбитого рудо-породного массива применение технологической схемы взрывоселекции, которая обеспечит снижение разубоживания на 10–12% относительно исходного, создав тем самым условия для повышения содержания никеля с 0,2 до 0,34% и снижения изменчивости качества рудной массы в 1,5 и 2 раза. Таким образом, взрывоселекция является одним из перспективных методов для формирования и стабилизации качества руд на стадии ведения добычных работ.

Список источников

1. Амирханов И.З. Разработка технологии и обоснование параметров взрывоселекции при очистной выемке заходками и проведении подготовительных выработок: автореферат дис. ... на соискание ученой степени кандидата технических наук. М., 1994. С. 24.
2. Кожиев Х.Х., Ломоносов Г.Г. Рудничные системы управления качеством минерального сырья. М.: МГТУ, 2005. С. 295.
3. Ломоносов Г. Г., Туртыгина Н. А. Явление сегрегации рудной массы и его влияние на формирование качества продукции горно-рудного производства // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2014. № 6. С. 37–40.
4. Павлишина Д.Н., Шумилов П.А., Терещенко С.В. Разработка программного модуля «Управление качеством руды»: сборник. Апатиты, 2015. С. 27–30.
5. Туртыгина Н.А. Обоснование системы стабилизации качества бедных медно-никелевых руд: монография. Норильск, 2012. 102 с.
6. Чурсин С.М. Установление усреднительного воздействия рудоспусков на рудопотоки подземных рудников: автореферат дис. ... на соискание ученой степени кандидата технических наук. М.: МГИ, 1992. 16 с.
7. Rayo J. D., Mercado J. M., Encina V. Simulation of block caving operation using a discrete element method (DEM) / Conference Paper of Minin 2016 – 6th International Conference on Innovation in Mine Operations. Santiago, Chile.
8. Distribution analysis of rock fragments size based on the digital image processing and the kuzram model cas of jebel medjounes quarry / F. Mohamed, B. Riadh, S. Abderazzak, N. Radouane, S. Mohamed, T. Ibsa // Aspects in Mining & Mineral Science. 2018. Vol. 2. №4. Pp. 325–329.
9. Горная промышленность. URL: <https://mining-media.ru/ru/> (дата обращения: 01.05.2022).
10. Горный журнал. URL: <http://www.rudmet.ru/catalog/journals/1/> (дата обращения: 24.04.2022).

References

1. Amirkhanov I.Z. Development of technology and substantiation of the parameters of the explosion selection during the stoping excavation with stopes and carrying out preparatory workings: Abstract of the thesis. ... for the degree of candidate of technical sciences. M., 1994. P. 24.
2. Kozhiev Kh.Kh., Lomonosov G.G. Mine quality control systems for mineral raw materials. M.: MGGU, 2005. P. 295.
3. Lomonosov G. G., Turtygina N. A. The phenomenon of ore mass segregation and its influence on the formation of the quality of mining products. *Mining Information and Analytical Bulletin*. 2014;(6):37–40.
4. Pavlishina D.N., Shumilov P.A., Tereshchenko S.V. Development of the software module «Ore quality management»: collection. Apatity, 2015. Pp. 27–30.
5. Turtygina N.A. Substantiation of the system for stabilizing the quality of poor copper-nickel ores: monograph. Norilsk, 2012. 102 p.
6. Chursin S.M. Establishment of the averaging effect of ore passes on the ore flows of underground mines: Abstract of the thesis. ... for the degree of candidate of technical sciences. M.: MGI, 1992. 16 p.
7. Rayo J. D., Mercado J. M., Encina V. Simulation of block caving operation using a discrete element method (DEM) / Conference Paper of Minin 2016 – 6th International Conference on Innovation in Mine Operations. Santiago, Chile.
8. Distribution analysis of rock fragments size based on the digital image processing and the kuzram model cas of jebel medjounes quarry / F. Mohamed, B. Riadh, S. Abderazzak, N. Radouane, S. Mohamed, T. Ibsa // *Aspects in Mining & Mineral Science*. 2018;2(4):325–329.
9. Mining. URL: <https://mining-media.ru/ru/> (accessed: 05/01/2022).
10. Mining magazine. URL: <http://www.rudmet.ru/catalog/journals/1/> (accessed: 24.04.2022).

Научный вестник Арктики. 2022. №13. С. 101–105.
Scientific Bulletin of the Arctic. 2022;(13):101–105.

Технические науки

Научная статья

УДК 62.519

doi: 10.52978/25421220_2022_13_101–105

**ИЗМЕРИТЕЛЬНО-ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС НОВОГО
ПОКОЛЕНИЯ ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ
ПРОЦЕССОВ МНОГОФАЗНЫХ ПОТОКОВ В ТРУБОПРОВОДАХ**

Владимир Алексеевич Громов¹, Тимофей Владимирович Семенов²,
Илья Леонидович Яшник³, Алексей Михайлович Петров⁴

^{1,2,3,4}Заполярный государственный университет им. Н.М. Федоровского.

Аннотация. В статье рассматриваются проблемы, связанные с диагностикой термодинамических процессов многофазных потоков внутри трубопроводов. При анализе литературы и современных исследований было выявлено, что прежде всего проблемы возникают ввиду сложности получения доступа к исследуемым процессам в условиях промышленной эксплуатации.

Статья написана с целью разработки теоретической и экспериментальной базы для измерительно-вычислительных комплексов нового поколения, которые потенциально не будут обладать обозначенными в статье недостатками.

Ключевые слова: теплоснабжение, измерительно-вычислительный комплекс, инженерная онтология, цифровая энергетика, многофазный поток, акустотермометрия.

Для цитирования: Измерительно-вычислительный комплекс нового поколения для диагностики термодинамических процессов многофазных потоков в трубопроводах / В.А. Громов, Т.В. Семенов, И.Л. Яшник, А.М. Петров // Научный вестник Арктики. 2022. №13. С. 101–105. http://dx.doi.org/10.52978/25421220_2022_13_101–105.

Technical sciences

Original article

**NEW GENERATION MEASURING AND COMPUTING COMPLEX
FOR DIAGNOSING THERMODYNAMIC PROCESSES
OF MULTIPHASE FLOWS IN PIPELINES**

Vladimir A. Gromov¹, Timofey V. Semenov², Ilya L. Yashnik³, Alexey M. Petrov⁴

^{1,2,3,4}Fedorovsky Polar State University.

Abstract. This article deals with the problems associated with the diagnostics of thermodynamic processes of multiphase flows inside pipelines. When analyzing the literature and modern research, it was revealed that, first of all, problems arise due to the difficulty of obtaining access to the processes under study in industrial operation.

The article was written with the aim of developing a theoretical and experimental base for measuring and computing systems of a new generation, which potentially will not have the disadvantages indicated in the article.

Keywords: heat supply, measuring and computing complex, engineering ontology, digital energy, multiphase flow, acoustic thermometry.

For citation: New generation measuring and computing complex for diagnosing thermodynamic processes of multiphase flows in pipelines / V.A. Gromov, T.V. Semenov, I.L. Yashnik, A.M. Petrov. *Scientific Bulletin of the Arctic*. 2022;(13):101–105. (In Russ.). http://dx.doi.org/10.52978/25421220_2022_13_101-105.

В настоящее время промышленность развивается с огромной скоростью, что приводит к необходимости оптимизации процессов, происходящих внутри сложных систем наподобие систем теплоснабжения. Теплоэнергетика, в связи со своей масштабностью, разнообразностью и распространённостью систем, нуждается в продвинутой диагностике. Для этого необходимо разработать современные методы диагностики потоков в сетях теплоснабжения. Однако стоит взять во внимание неоднородность внутри трубопровода системы теплоснабжения, поэтому допускается возможность возникновения потока, состоящего из разных по свойствам фаз, для этого вводится понятие «многофазный поток».

Многофазный поток – это одновременный поток материалов с двумя или более термодинамическими фазами. *Фазой* называют вещество, отличающееся от остальных рядом свойств, которые определяются, прежде всего, спецификой системы. Также многофазным потоком можно назвать любой поток, состоящий из одного вещества в разных агрегатных состояниях. В данном комплексе разделение будет происходить по агрегатному состоянию для своевременного выявления признаков засора и опасной концентрации веществ в сети.

Диагностика многофазных потоков усложнена:

- спецификой требований к оборудованию;
- нестабильностью состава рабочего тела многофазного потока;
- общей гетерофазностью потока.

Однако данную задачу упрощает факт того, что теплоэнергетику можно рассматривать как обобщенную систему, с общими шаблонами для вычислений и общими архитектурными принципами [1, с. 62], в дальнейшем будем называть это универсалиями.

Ближе всего к проектированию и описанию подобных систем подошла концепция «цифровой энергетики», но в научной сфере ещё нет точного определения этому явлению. «Цифровая энергетика» – это абсолютно новая сфера, которая еще находится в процессе формирования, но уже на основе мнений научного сообщества можно сделать вывод, что она представляет собой прежде всего идею о цифровизации энергетики в целом, как тепло-, так и электроэнергетики, на основе их универсалий.

Сама идея подразумевает то, что цифровизация данных систем повысит её эффективность и понизит порог входа в сферу энергетики для специалистов. Внедрение цифровых технологий в уже автоматизированную систему – важный этап в развитии энергетики.

В рамках данной статьи, используя наработки концепции «цифровой энергетики», должна получиться цифровая математическая модель/симуляция, которая в точности повторяет все существенные свойства многофазных потоков. Также эта модель будет способна наглядно отображать процессы линий теплоснабжения. Именно такой результат вкладывается в определение «цифровая энергетика».

В настоящий момент без цифровых технологий специалистам приходится сталкиваться с проблемами в анализе большого массива данных. Внедрение новых технологий позволит представлять информацию о теплосети в виде графика, диаграмм и наглядной цифровой модели. В дальнейшем можно будет обучить программы правильно интерпретировать данные о системе и принимать непосредственное участие в автоматизации процессов без участия специалистов.

Если рассмотреть оборудование, которое применяют сейчас в существующих измерительно-вычислительных комплексах (далее ИВК), можно прийти к выводу, что большая часть комплексов морально устарела в связи с отсутствием полноценной цифровизации. ИВК предназначены для выполнения конкретной измерительной задачи, необходимой в любой системе энергетики, внедрение цифровых технологий, очевидно, повысит эффективность. Кроме того, на данный момент ИВК могут использовать только специально обученные люди в связи со сложностью «интерфейса» и необходимостью обладания специальными знаниями для оперирования системой. Из-за этого более широкопрофильный специалист не сможет использовать эту систему.

Если обобщить все вышеперечисленное, то сейчас ключевой проблемой в цифровой энергетике, в области диагностики многофазных потоков, является отсутствие полноценного автоматизированного способа работы с информацией, получаемой с измерительно-вычислительных комплексов.

Вследствие этого главной целью работы является цифровизация ИВК теплоэнергетики по средствам визуализация процессов. Всё это – часть области диагностики, большое количество систем нуждаются в ней и энергетика не исключение.

Диагностику теплосетей проводят для обнаружения перебоев, дефектов и фиксирования отклонений в системе, для выявления их причин. Таким образом предупреждаются аварийные ситуации в теплоснабжении. В других отраслях диагностика многофазных потоков нужна для точного измерения содержания системы, например, в нефтедобыче эти данные нужны для регулирования выработки месторождений. В сфере систем теплоснабжения измерение объёмов потоков – тоже важный элемент диагностики, он позволяет фиксировать расходы.

Множественные практики показали, что налаживание качественной диагностики теплосетей повышает эффективность всей системы теплоснабжения. В современной России это больше всего актуально по причине многочисленных сбоев на магистралях [2, с. 34]. Диагностика тепловых сетей позволяет быстро реагировать на сбои и предотвращать аварии, что повышает надёжность системы, сокращает затраты на обслуживание и минимизирует издержки.

При реализации измерительно-вычислительного комплекса для диагностики процессов многофазных потоков линий теплоснабжения необходимо разработать акустотермометрическое устройство для бесконтактной диагностики термодинамических процессов потока в трубопроводе. Поскольку именно такое устройство поможет сформировать базу данных, которая основана на получении сигналов потока рабочего тела трубопровода, даже в сложных для диагностики местах.

Данный прибор крепится поверх трубы, что позволяет проводить диагностику в любом доступном участке линии теплоснабжения. Он состоит из трех комплектов датчиков (датчики ультразвука, датчики температуры, пьезоэлектрический микрофон), равноудаленных друг от друга (рис. 1).

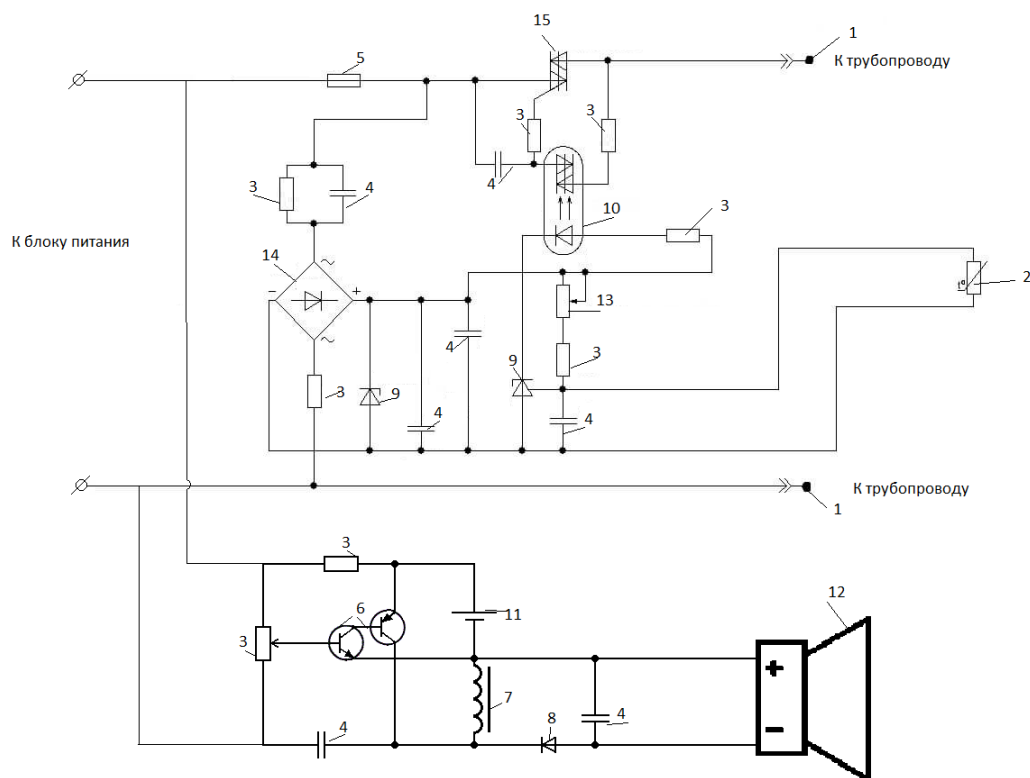


Рис. 1. Электронная схема одного блока с датчиками акустотермометрического устройства для бесконтактной диагностики термодинамических процессов потока: 1 – термофильные элементы; 2 – терморезистор; 3 – резистор; 4 – конденсатор; 5 – предохранитель; 6 – транзистор; 7 – регулируемая катушка индуктивности; 8 – полупроводниковый диод; 9 – стабилитрон; 10 – переход диода к оптопаре; 11 – источник питания; 12 – ультразвуковая колонка с пьезодатчиком чувствительностью до 50 кГц; 13 – регулируемый резистор; 14 – диодный мост/выпрямитель; 15 – оптопара

Корпус представлен в форме кольца. Устройство передачи данных, измеренных датчиками, источник питания и генератор тактовой частоты находятся снаружи корпуса. При этом датчики акустических волн выполнены с возможностью приема сигнала звуковых и ультразвуковых частот за счет микрофона, работающего на пьезоэлектрическом эффекте. В качестве датчиков температуры используются инфракрасные бесконтактные датчики температуры, которые расположены по внутренней поверхности корпуса.

Принцип действия прибора заключается в том, что датчики посылают ультразвуковую волну через трубу пьезоэлектрическому микрофону. В процессе сигнала отражается, на основании чего можно определить температуру и фазы потока. Для наиболее точного сбора дан-

ных сигнал будет распространяться в соответствии с методом триангуляции, что повысит общую селективность (рис. 2).

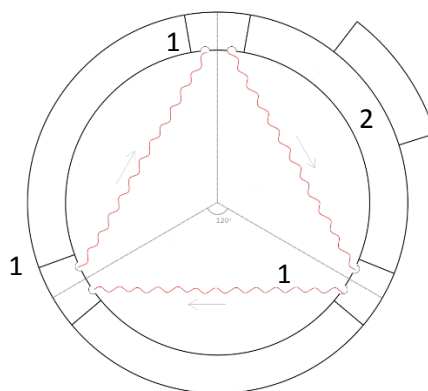


Рис. 2. Внешний вид акустотермометрического устройства для бесконтактной диагностики термодинамических процессов потока, установленного поверх трубопровода: 1 – блок с датчиками; 2 – блок питания

Снимаемые прибором данные с помощью устройства передачи данных

направляются на специально написанную компьютерную программу, где происходит их визуализация. Таким образом, специалист может видеть визуализированные данные о термодинамических процессах потока в трубопроводе. Для реализации данной программы необходимо провести ряд экспериментов. К прозрачной трубе присоединяется прибор, а рядом располагается камера. После этого эмитируются различные изменения в многофазном потоке и фиксируются через приборы. Таким образом, получаем изображения различных ситуаций, на основе которого создаем цифровую модель многофазного потока, и соответствующие данные с датчиков.

Проведя анализ предметной области, стало очевидно, что теплоэнергетика нуждается в цифровизации. Теплоснабжение – это сложно анализируемая комплексная система, являющаяся неотъемлемой частью жизни людей. Масштабы и развитие данной отрасли требуют новых подходов к диагностике трубопровода.

Из-за повышения требований к точности и подробности диагностики теплоснабжения пришли к выводу о необходимости исследования многофазных потоков.

Список источников

1. Свердлова А., Запорожец А., Редько А. Разработка многоуровневой системы диагностики теплотехнического оборудования // Архивариус. 2016. №9 (13). С. 63–67.

2. Шершенков Р., Ефимов А., Шмаков В. Повышение надежности систем теплоснабжения // Вестник ДГТУ. Технические науки. 2019. №4. С.32–36.

References

1. Sverdlova A., Zaporozhets A., Redko A. Development of a multi-level system for diagnosing heat engineering equipment. *Archivist*. 2016;(9 (13)):63–67.

2. Shershenov R., Efimov A., Shmakov V. Improving the reliability of heat supply systems. *Bulletin of the DSTU. Technical science*. 2019;(4):32–36.

Научный вестник Арктики. 2022. №13. С. 106–112.
Scientific Bulletin of the Arctic. 2022;(13):106–112.

Технические науки

Научная статья

УДК 004.42:69.003.12

doi: 10.52978/25421220_2022_13_106–112

**СОЗДАНИЕ ПЛАТФОРМЫ ДЛЯ РАСЧЕТА СТОИМОСТИ
ПРОЕКТНО-СМЕТНОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ
В УСЛОВИЯХ АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЫ РФ**

Игорь Сергеевич Беляев¹, Алексей Иванович Паргачев²

^{1,2}Заполярный государственный университет им. Н.М. Федоровского.

^{1,2}E-mail: ist@norvuz.ru.

Аннотация. Развитие строительной сферы и ее цифровизация в Арктической зоне РФ (АЗРФ) является самым актуальным направлением в рамках проекта развития Арктики. В данной статье описана разработка веб-приложения (далее Платформа) для автоматизированного расчета стоимости проектно-сметной документации в рамках формирования и разработки цифровой штаб-квартиры акселератора по развитию ГЧП в АЗРФ. Вопросы, обсуждаемые в статье, актуальны для государственных проектов по преобразованию приоритетных отраслей строительной сферы посредством внедрения цифровых технологий.

Ключевые слова: смета, автоматизация, затраты, отчеты, платформа.

Для цитирования: Беляев И.С., Паргачев А.И. Создание платформы для расчета стоимости проектно-сметной документации в условиях Арктической зоны РФ // Научный вестник Арктики. 2022. №13. С. 106–112. http://dx.doi.org/10.52978/25421220_2022_13_106–112.

Technical sciences

Original article

**CREATION OF A PLATFORM FOR CALCULATING THE COST
OF DESIGN AND ESTIMATE DOCUMENTATION IN THE CONDITIONS
OF THE ARCTIC ZONE OF THE RUSSIAN FEDERATION**

Igor S. Belyaev¹, Alexey I. Pargachev²

^{1,2}Fedorovsky Polar State University.

^{1,2}E-mail: ist@norvuz.ru.

Abstract. The development of the construction sector and its digitalization in the Arctic zone of the Russian Federation (hereinafter referred to as the Russian Arctic) is the most relevant direction within the framework of the Arctic development project. This article describes the development of a web application (hereinafter referred to as the Platform) for automated calculation of the cost of design estimates as part of the

formation and development of the digital headquarters of the accelerator for the development in the Russian Arctic. The issues discussed in the article are relevant for state projects on the transformation of priority sectors of the construction sector through the introduction of digital technologies.

Keywords: estimates, automation, costs, reports, platform.

For citation: Belyaev I.S., Pargachev A.I. Creation of a platform for calculating the cost of design and estimate documentation in the conditions of the Arctic zone of the Russian Federation. *Scientific Bulletin of the Arctic*. 2022;(13):106–112. (In Russ.). http://dx.doi.org/10.52978/2542_1220_2022_13_106–112.

Введение. Реализация любого строительного проекта начинается с расчетов необходимых затрат, особенно если проект направлен на строительство в Арктике. В настоящее время составление проектно-сметной документации не обходится без большого количества документов и иных трудностей. Сложность составления документации также напрямую зависит от сложности строительного объекта, для которого и производятся расчеты. В таком большом объеме данных высока вероятность появления ошибок в итоговой проектно-сметной документации. Сметчику необходимо использовать всю необходимую информацию и данные для успешного составления сметы, но, учитывая человеческий фактор, могут возникнуть проблемы в процессе расчетов, что приведет к проблемам на следующих этапах строительного производства.

Для решения всех возникших проблем необходима срочная автоматизация процесса расчета проектно-сметной

документации. Использование цифровых решений позволит избежать ошибок при расчетах, а также предостеречь бюджет от лишних затрат и сократить сроки проектирования строительных работ.

1. Программные решения в проектно-сметной деятельности. Ручной расчет затрат – тяжелый и трудоемкий процесс с возможными неточностями. Поэтому процесс расчета зачастую полностью автоматизирован. Использование компьютерных технологий позволяет рассчитать затраты на строительство, создавать сметные документы и отчеты.

На сегодняшний день существует большое количество программного обеспечения с необходимым функционалом. Но все имеют ряд недостатков, которые усложняют работу. Широкую известность получили такие программы, как «ГрандСмета», «WinАверс», «WinСмета», «АО», «Smeta.ru» и «ТурбоСметчик» (таблица).

Сравнение доступных решений на рынке в области сметного расчета

Гранд-Смета	Smeta.ru	Турбо-сметчик
Наличие дистрибутива в открытом доступе		
Да (На официальном сайте выложен дистрибутив базы)	Да (На официальном сайте выложен дистрибутив и базы)	Да (Доступен по индивидуальной ссылке на FTP)
Простота и время установки		
Не требует установки баз и лицензий, устанавливается автоматически	При первой установке программы устанавливается Firebird, драйверы ключа, также при первом запуске необходимо дополнительно подключать лицензий. Для первичной установки желательна квалификация продвинутого пользователя/консультация специалиста	Быстро, не требует установки баз и лицензий, устанавливается автоматически

Сервер баз данных		
Delphi	Delphi, FireBird	Используется собственная разработка
Разграничение прав		
Да (Средствами ОС)	Да (Широкие возможности администрирования прав пользователей)	Да (Средствами ОС либо опционально полное администрирование прав дополнительным модулем)
Контроль над ошибками пользователя		
Высокий	Средний	Высокий
Распространенность программы (согласно опросу на сайте сметчиков)		
55.30%	12.90%	31,8%

2. Необходимость создания собственной платформы. Для оптимизации усилий (улучшения деятельности) по развитию и цифровизации проектов по строительству была предложена модель создания и функционирования цифровой штаб-квартиры – акселератора (digitalheadquarters) по развитию ГЧП в строительной сфере в АЗРФ [1].

Основой цифровой штаб-квартиры является цифровая платформа и информационные сервисы – важнейшие составляющие цифровой штаб-квартиры, которые позволяют сократить транспортные расходы, повысить скорость работы и передачи данных, защитить информацию, способствовать вовлечению новых участников, предлагать гибкие, доступные и экономичные инструменты работы (рис. 1).

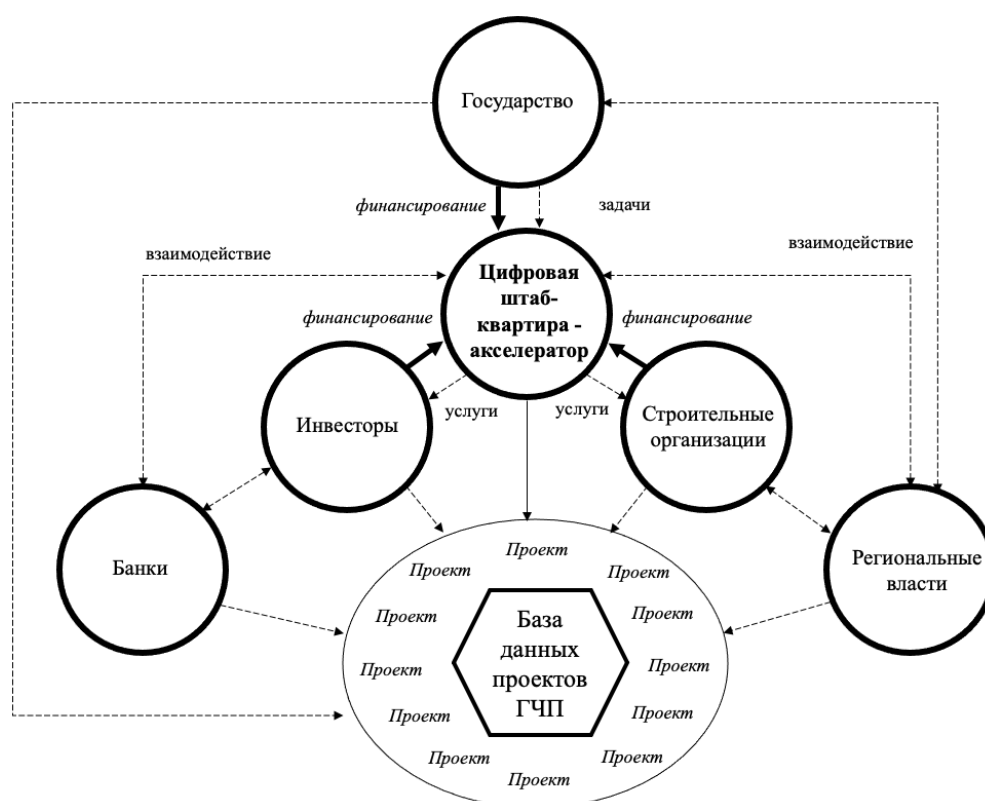


Рис. 1. Модель создания и функционирования цифровой штаб-квартиры – акселератора по развитию ГЧП в строительной сфере в АЗРФ

Несмотря на широкий функционал программ, рассмотренных в п. 1, они обладают критическими минусами при

интеграции с цифровой штаб-квартирой:

- требуется скачивать дистрибутив и производить установку;

- устаревшие сервера баз данных;
- работа только на ОС Windows;
- сложный процесс установки.

Принимая во внимание эти и многие другие недостатки, возникла необходимость разработки собственного решения. Прямым заказчиком выступила компания ООО «Globecost», которая специализируется на составлении сметных расчетов исходя из разных параметров: начиная от региона объекта и заканчивая курсом доллара. Данное решение чем-то похоже на программы, упомянутые ранее, однако было принято решение разрабатывать платформу, используя современные технологии и отойти от устаревшего подхода предоставления продуктов в виде дистрибутива, позволив работать прямо в браузере. Отталкиваясь от требований компании, были выделены некоторые основные функции:

1. Возможность создания справочников с коэффициентами для каждого годового квартала.
2. Добавление и редактирование значений для каждого параметра.
3. Расчет стоимости проектно-сметной документации выполняется исходя из выбранных пользователем параметров.
4. Предпросмотр и скачивание готового отчета в разных форматах.

3. Процесс разработки. На данный момент есть много фреймворков, с помощью которых можно реализовать веб-приложение. У каждого есть свои плюсы и недостатки. При разработке приложения применялись все необходимые технологии и языки программирования, идеально подходящие для решения все поставленных задач. Рассмотрим отдельные стороны приложения.

Бэкенд основан на веб-фреймворке FastAPI, позволяющий описывать программный интерфейс приложения на языке Python и генерировать спецификацию OpenAPI, которую в дальнейшем

можно сгенерировать для выполнения запросов. FastAPI – это фреймворк для создания лаконичных и довольно быстрых HTTP API-серверов со встроенными валидацией, сериализацией и асинхронностью. Фронтенд описан на языке TypeScript и основан на фреймворке Next.js. TypeScript – язык программирования, представленный компанией Microsoft в 2012 году и позиционируемый как средство разработки веб-приложений, расширяющее возможности JavaScript. Фактически, после компиляции, программу на TypeScript можно выполнять в любом современном браузере или использовать совместно с серверной платформой Node.js. Next.js – это фреймворк, основанный на библиотеке React, который позволяет создавать веб-приложения с повышенной производительностью и улучшенным UX с помощью дополнительных функций пре-рендеринга, таких как полноценный рендеринг на стороне сервера (SSR) и статическая генерация страниц (SSG). Для авторизации используется технология Keycloak. Keycloak – решение с открытым кодом для реализации single sign-on с возможностью управления доступом, нацелен на современные приложения и сервисы. Целью этого инструмента является создание безопасных приложений и сервисов с минимальным написанием кода для аутентификации и авторизации.

Определившись с используемыми технологиями, начался процесс разработки приложения, которое должно соответствовать всем требованиям и выполнять все основные задачи.

На рис. 2 представлен бизнес-процесс работы платформы расчета стоимости проектно-сметной документации, на котором видно, что существуют внешние сущности, выполняющие основные роли всего процесса.

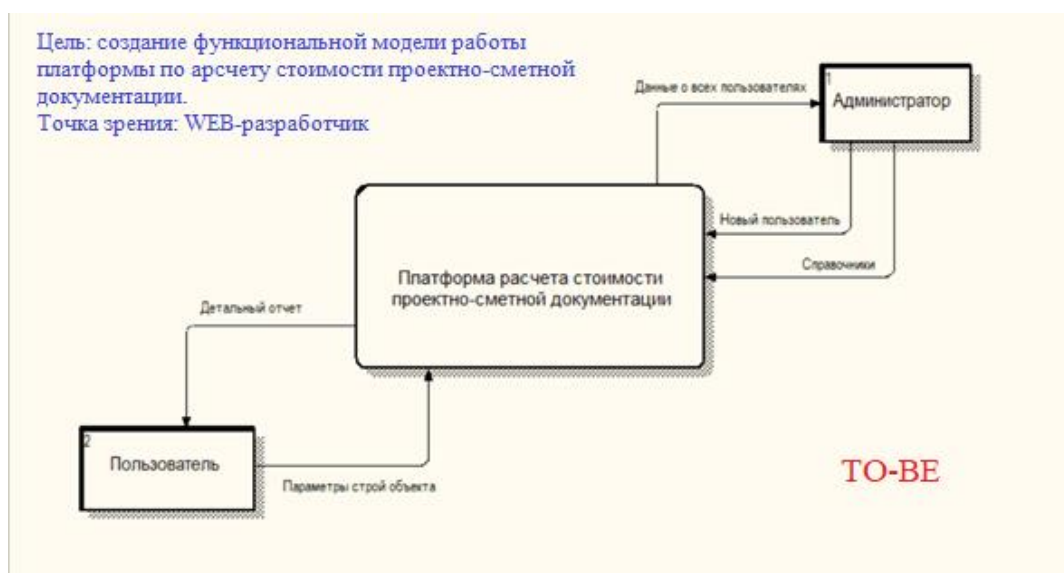


Рис. 2. Системный анализ TO-BE платформы в нотации DFD

4. Результаты работы. В ходе проделанной работы получилось добиться работоспособности требуемого функционала и формирования отчета. Выбранные технологии позволили достичь высокой скорости работы приложения и обеспечить его обширными возможностями. В процессе разработки активно вносились правки и исправлялись недочеты, замеченные специалистами строительной отрасли.

Процесс заполнения справочника (рис. 3) является ключевой задачей администратора, так как калькулятор составляет отчет исходя именно из них.

Во вкладке редактирования справочника администратору предоставляется гибкий набор категорий для каждого параметра строительного объекта (рис. 4).

Площадь м²	5000	7000	10000	15000	20000	25000
Мин. стоимость за м²	222.232	1359.65	1320.05	1281.6	1262.66	1244
Макс. стоимость за м²	1675.12	1626.33	1578.96	1532.97	1510.32	1488
Средняя стоимость	948.68	1492.99	1449.51	1407.28	1386.49	1366.00

Рис. 3. Заполнение квартала коэффициентами и необходимыми параметрами

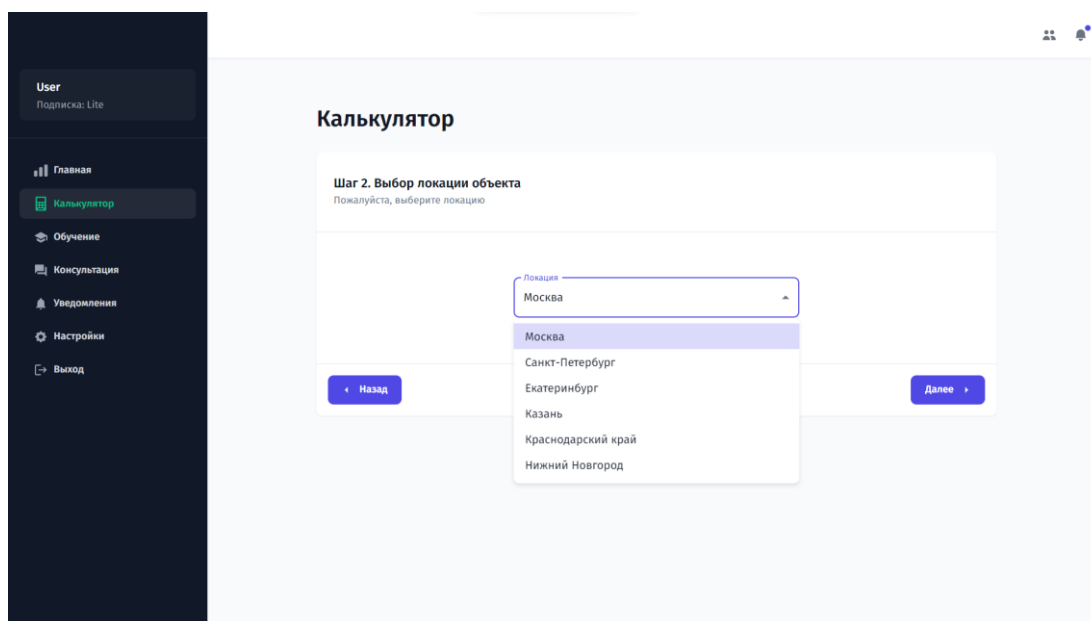


Рис. 4. Выбор наилучших параметров для расчета

Основой платформы является сам калькулятор, в ходе заполнения которого пользователю предоставляется возможность выбора разных типов и классов объекта, заполнение геометрических

параметров и настройка отдельных элементов, в итоге пользователь получает отчет в двух форматах (excel и pdf) и возможность предпросмотра (рис. 5).

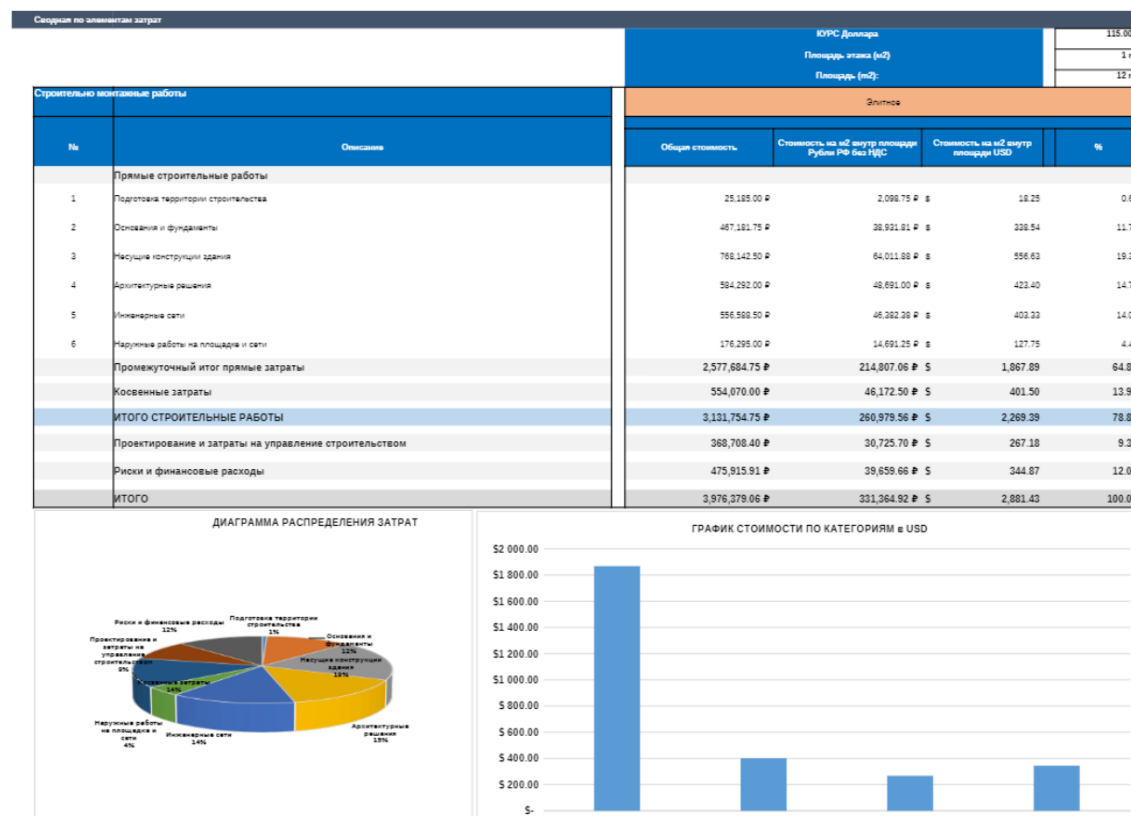


Рис. 5. Детальный отчет из платформы

В результате пользователь получает детальный отчет со всеми выбранными параметрами и уже готовыми под них затратами, которые рассчитала система.

Закключение. Строительная отрасль уже давно стала объектом цифровизации. Всё больше организаций в России и

в мире стараются автоматизировать рабочие процессы, используя разные способы.

Решения, предлагаемые рынком по отдельности, обладают разным функционалом, но не выполняют требуемые задачи, вследствие чего было предложено возможное решение – разработка собственной платформы расчета проектно-

сметной документации, состоящей из модулей, каждый из которых автоматизирует свои задачи. В результате автоматизации процессов повысилась скорость обработки отчета, упростилась работа со справочниками и добавилась возможность гибкой настройки платформы.

Список источников

1. Беляев И.С. Развитие государственного регулирования и поддержки предпринимательства в строительстве в Арктической зоне Российской Федерации: автореферат дис. кандидата экономических наук: 08.00.05 / Санкт-Петербургский государственный строительный университет. Санкт-Петербург, 2021. 15 с.

2. Моисеева О.А. Конвергенция как новый тренд в подходах к образованию современной молодежи // Массовые коммуникации на современном этапе развития мировой цивилизации: Материалы Всероссийской научной конференции с международным участием / Гуманитарно-социальный институт. 2015. С. 9–13.

3. Гарнаев А.В. Использование MS Excel и VBA в экономике и финансах. СПб., 1999. 336 с.

4. Костюченко В.В., Крючков К.М., Кожухар В.М. Организация оплаты труда и сметное дело в строительстве. 2016. Т. 5. №2. С. 11–16.

5. Методика определения стоимости строительной продукции на территории Российской Федерации МДС 81-35.2004.

6. Государственный сметный норматив «Справочник базовых цен на проектные работы для строительства «Объекты жилищно-гражданского строительства» (СБЦП 81-2001-03).

References

1. Belyaev I.S. Development of state regulation and support of entrepreneurship in construction in the Arctic zone of the Russian Federation: abstract of the dissertation of the Candidate of Economic Sciences: 08.00.05 / St. Petersburg State University of Civil Engineering. St. Petersburg, 2021. 15 p.

2. Moiseeva O.A. Convergence as a new trend in approaches to the education of modern youth // Mass communications at the present stage of the development of world civilization: Materials of the All-Russian scientific Conference with international participation / Humanities and Social Institute. 2015. Pp. 9–13.

3. Garnaev A.V. The use of MS Excel and VBA in economics and finance. St. Petersburg, 1999. 336 p.

4. Kostyuchenko V.V., Kryuchkov K.M., Kozhukhar V.M. Organization of labor remuneration and cost estimation in construction. 2016. Vol. 5. №2. Pp. 11–16.

5. Methodology for determining the cost of construction products in the territory of the Russian Federation MDS 81-35.2004.

6. State estimated standard "Reference book of basic prices for design work for construction «Housing and civil construction objects» (SBTSP 81-2001-03).

Научный вестник Арктики. 2022. №13. С. 113–118.
Scientific Bulletin of the Arctic. 2022;(13):113–118.

Технические науки

Научная статья
УДК 658.567.1: 537.86
doi: 10.52978/25421220_2022_13_113–118

**ИЗВЛЕЧЕНИЕ БЛАГОРОДНЫХ И ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ
ИЗ ТЕХНОГЕННОГО СЫРЬЯ НОРИЛЬСКОГО
ПРОМЫШЛЕННОГО РАЙОНА**

Наталья Загитовна Туктарова¹, Олег Сергеевич Данилов²

^{1,2}Заполярный государственный университет им. Н.М. Федоровского.

Аннотация. В настоящей научной работе проанализирована проблема переработки техногенных отходов Компании «Норильский никель» с точки зрения эффективности применяемых на предприятии схем технологического передела медно-никелевого сырья. Показано, что существующие технологические решения являются многостадийными, энергозатратными и недостаточно эффективно раскрывают минеральные зерна ценных металлов в процессах обогащения. Авторами статьи предложен новый метод для переработки техногенных отходов с получением благородных и цветных металлов на основе применения электромагнитного микроволнового излучения. Представленное решение способно интенсифицировать процессы переработки, уменьшить количество технологических операций, уменьшить время общего технологического цикла получения целевых продуктов и снизить энергетические затраты.

Ключевые слова: Норильский промышленный район, Норильский никель, техногенные отходы, благородные и цветные металлы, электромагнитное микроволновое излучение, переработка.

Для цитирования: Туктарова Н.З., Данилов О.С. Извлечение благородных и цветных металлов из техногенного сырья Норильского промышленного района // Научный вестник Арктики. 2022. №13. С. 113–118. http://dx.doi.org/10.52978/25421220_2022_13_113–118.

Technical sciences

Original article

**EXTRACTION OF PRECIOUS AND NON-FERROUS METALS FROM
TECHNOGENIC RAW MATERIALS OF NORILSK INDUSTRIAL AREA**

Natalia Z. Tuktarova¹, Oleg S. Danilov²

^{1,2}Fedorovsky Polar State University.

Abstract. In this scientific work, the problem of processing technogenic waste of the company «Norilsk Nickel» is analyzed from the point of view of the effectiveness of the

schemes of technological conversion of copper-nickel raw materials used at the enterprise. It is shown that the existing technological solutions are multi-stage, energy-consuming and insufficiently effectively reveal mineral grains of valuable metals in the enrichment processes. The authors of the article proposed a new method for processing man-made waste to produce precious and non-ferrous metals based on the use of electromagnetic microwave radiation. The presented solution is able to intensify the processing processes, reduce the number of technological operations, reduce the time of the overall technological cycle of obtaining target products and reduce energy costs.

Keywords: Norilsk industrial district, Norilsk Nickel, technogenic waste, precious and non-ferrous metals, electromagnetic microwave radiation, recycling.

For citation: Tuktarova N.Z., Danilov O.S. Extraction of precious and non-ferrous metals from technogenic raw materials of Norilsk industrial area. *Scientific Bulletin of the Arctic*. 2022;(13):113–118. (In Russ.). http://dx.doi.org/10.52978/25421220_2022_13_113-118.

Современный тренд развития горно-металлургической отрасли как в мировых масштабах, так и в Российской Федерации складывается под влиянием следующих ключевых обстоятельств:

- стремительным сокращением богатых рудных месторождений и значительным снижением процентного содержания целевых компонентов в обрабатываемой рудной массе, что порождает необходимость трансформации схем технологических переделов на предприятиях и переходу к переработке месторождений техногенного характера, а также обедненных руд сложного строения, которые обогащать достаточно сложно;

- минералы, слагающие руды, характеризуются в своем большинстве низкой контрастностью свойств, что крайне затрудняет их эффективное раскрытие и последующее разделение в процессах сепарации, увеличивает многостадийность и время технологического цикла получения металлов, снижает выход целевых продуктов.

В связи с этим востребованность изучения вопроса и проведения экспериментальных разработок в области рециклинга техногенных отходов с извлечением, в частности, благородных и цветных металлов обусловлена:

- 1) необходимостью устранения негативного влияния отходов на экологию региона и здоровье населения;

- 2) необходимостью повышения показателей глубины обогащения рудного сырья и разработки новых технологических решений, обеспечивающих минимальные отходы производства;

- 3) необходимостью повышения доходности горно-металлургической отрасли [1].

В Норильском промышленном районе основным горно-металлургическим предприятием является ПАО «ГМК «Норильский никель», ведущий разработку и добычу медно-никелевых руд с извлечением таких металлов, как никель, медь, группа платиноидов и т.д. Применяемые в Компании технологии переработки руд с помощью, например, метода флотации характеризуются значимыми потерями благородных и цветных металлов с отвальным сырьем, что кардинально сокращает эффективность производства и приводит к загрязнению окружающей среды.

Основные стандартные технологические операции и их последовательность приведены на рис. 1. Отличительной особенностью технологического цикла переработки и обогащения медно-никелевых руд на ПАО «ГМК «Норильский никель» является их многостадийность,

т.е. многие процессы повторяются неоднократно, что можно увидеть на примере технологической цепочки Талнахской обогатительной фабрики [2; 3].

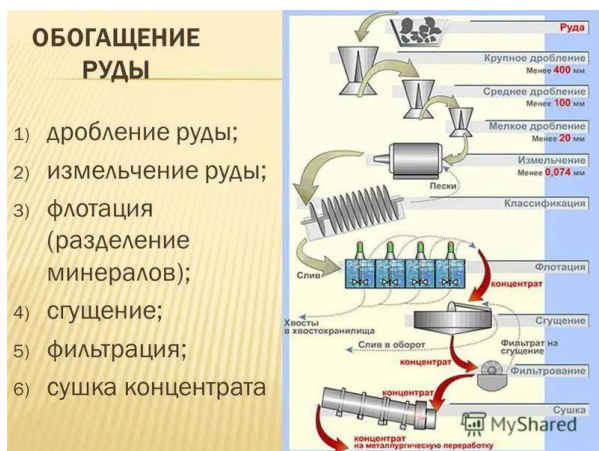


Рис. 1. Технологический цикл переработки и обогащения руды

Процессы технологического передела, как показывает опыт, требуют повышения эффективности обогащения, так как в процессе переработки руд с различным содержанием ценных компонентов (металлов) образуется значительный объем необогащенной массы («хвостов», пылей, шлаков). Согласно данным [4], на специальных полигонах Компании на настоящий момент сосредоточено около 300000000 т отходов в безводном состоянии, содержащих в своем составе тысячи кг благородных и цветных металлов.

Наглядным примером, характеризующим количество накопленных Компанией отходов, может послужить хвостохранилище «Лебяжье» (рис. 2), основными характеристиками которого являются:

- 1) количество аккумулированных отходов – 95 млн. м³;
- 2) площадь накопителя – 4 км²;
- 3) емкость накопителя – более 160 млн. м³ [5].

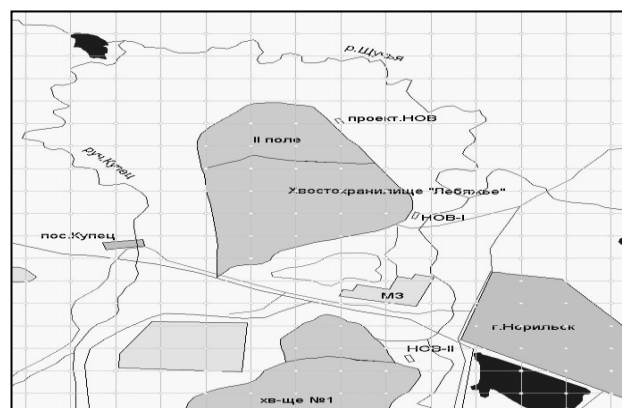


Рис. 2. Местоположение хвостохранилища «Лебяжье»

В ГМК «Норильский никель» руды перерабатываются посредством процесса флотации, которая подразумевает классификацию и измельчение сырья в шаровых мельницах для раскрытия слежавшихся зерен. Недостатком этого технологического процесса является то, что происходит обеднение общего никелевого концентрата и увеличение затрат энергии при дальнейшей металлургической переработке материала, так как в концентрате содержится большое количество примесей.

На основе критического анализа релевантной информации [6–10] установлено, что для улучшения процессов обогащения рудной массы различных полезных ископаемых в настоящее время большие перспективы имеет применение электромагнитного микроволнового излучения (СВЧ-излучения).

Основа механизма разрушения горной породы под действием СВЧ-излучения базируется на использовании ее электрических свойств, а именно показателя диэлектрической проницаемости. Он является индикатором того, во сколько раз уменьшается напряженность электрического поля в объекте, на которое оно действует, по сравнению с его напряженностью в вакууме. То есть эта безразмерная величина показывает, как эффективно минералы горной породы поглощают излучение.

Разные минералы имеют разный показатель диэлектрической проницаемости и, соответственно, поглощают энергию СВЧ-излучения с разной интенсивностью. Далее в процессе поглощения минералы стремительно разогреваются (изменение температуры происходит скачкообразно до сотен градусов по Цельсию – термоудар) и происходит их тепловое расширение. Уже было сказано, что нагрев из-за разницы диэлектрических свойств минералов в породе происходит неравномерно, на границах раздела фаз минералов возникают значительные термомеханические напряжения, растягивающие минеральный скелет до достижения предела его прочности, после чего горная порода разрушается.

Основное отличие и выгода дезинтеграции породы СВЧ-излучением от использования стандартных методов, например, механического дробления состоит в том, что при действии энергии излучения порода разрушается за счет растягивающих сил, а при дроблении наблюдаются процессы сжатия. Как известно, величина предела прочности на сжатие кратно превосходит величину предела прочности породы на растяжение. Отсюда следует, что применение СВЧ-излучения выгодно с энергетической точки зрения при дроблении и измельчении полезных ископаемых до нужного в дальнейших технологических переделах классов крупности материала [10].

Кроме того, согласно [11], СВЧ-излучение в силу своих уникальных свойств позволяет:

1) получать очень высокие скорости нагрева обрабатываемого материала (10^6 – 10^8 К/с) при значительных мощностях (50–100 кВт) и рационально подобранной частоте излучения;

2) энергия излучения трансформируется в механическую энергию в горной породе в объеме;

3) значительный КПД процесса (75–85%).

В совокупности механизм и особенно-сти воздействия СВЧ-излучения на полезные ископаемые позволяют более эффективно и глубоко обогащать рудную массу и техногенные отходы посредством улучшения процессов раскрытия минеральных зерен в породе и отделения целевых компонентов (металлов) от пустой породы. Это, в свою очередь, позволяет повысить показатели выхода целевых продуктов, уменьшить потери в отходах обогащения и количество операций в технологических переделах (не требуется дополнительного измельчения, для сепарации минералов достаточно одной технологической операции в общем цикле).

В следующих научных работах будут представлены расчеты энергоемкости по обогащению техногенных отходов Норильского промышленного района с извлечением благородных и цветных металлов. Также будут представлены результаты серии экспериментальных исследований.

В итоге рассмотрения вопроса, поставленного в теме статьи, можно сделать следующие выводы:

- на территории Норильского промышленного района аккумулированы огромные запасы техногенных отходов, которые по объемам можно приравнять к техногенному месторождению, которое наносит значительный урон экологии и здоровью населения г. Норильска и прилегающих территорий;

- значительное количество «хвостов» и отходов горно-металлургического производства в других видах обусловлено существующими недостатками в процессах технологического передела по переработке руды и ее обогащению на ЗФ ПАО ГМК «Норильский никель»;

- предложенный на основе критического анализа научных исследований сторонних авторов метод воздействия на горные породы СВЧ-излучением для их разрушения и обогащения перспективен и имеет большой потенциал использования в горной промышленности;

• для техногенных отходов Норильского промышленного района требуется проведение дополнительных исследова-

ний по оценке возможности их эффективной переработки и показателей энергоемкости их обогащения с извлечением благородных и цветных металлов при использовании энергии СВЧ-излучения.

Список источников

1. Чантурия В.А., Козлов А.П. Современные проблемы комплексной переработки труднообогатимых руд и техногенного сырья // Современные проблемы комплексной переработки труднообогатимых руд и техногенного сырья (Пласкинские чтения-2017). 2017. С. 3–6.
2. URL: <https://present5.com/metallurgicheskie-texnologii-proizvodstvo-cvetnyx-metallov-lekciya-2-svoystva> (дата обращения 18.04.2022).
3. Атлас минерального сырья, технологических промышленных продуктов и товарной продукции ЗФ ПАО ГМК «Норильский Никель» / А.И. Девочкин [и др.]. СПб.: ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2021. 398 с.
4. Извлечение благородных и цветных металлов из техногенного сырья Норильского промышленного региона: практика и исследования / А.Я. Бодуэн, Г.В. Петров, И.И. Мардарь, Б.С. Иванов // Успехи современного естествознания. 2013. №3. С. 143–145.
5. Гулан Е.А. Принципы обеспечения промышленной и экологической безопасности гидротехнических сооружений в криолитозоне (на примере хвостохранилища «Лебяжье») // Вестник РУДН. Инженерные исследования. 2007. №2. С. 118–123.

6. Кадырбай А.К. Обоснование предварительного СВЧ-воздействия для дезинтеграции тонковкрапленных золотосодержащих руд // ГИАБ. 2021. №4. С. 118–128.
7. Юрьев Б.П., Дудко В.А. Разработка экологически чистой технологии обогащения железных // Черная металлургия. 2018. №10. С. 35–44.
8. Султаналиева, М.Р., Конушбаева А.Т., Турдубаева Ч.Б. Исследование энергоемкости разрушения горной породы от воздействия температурно-временного режима СВЧ-полей // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2019. №12. С. 187–191.
9. Ратникова, Н.С., Панкратьев П.В. Повышение эффективности извлечения золота и серебра из пиритовых концентратов методом СВЧ-технологий // Вестник МГТУ им. Г.И. Носова. 2019. Т. 17. №4. С. 4–9.
10. Султаналиева Р.М. Целенаправленное изменение механических свойств руд и минералов под воздействием физических полей: дис. ... на соиск. степ. докт. техн. наук. Бишкек, 2016. 193 с.
11. Петров В.М. Новые применения радиоэлектроники: разупрочнение горных пород мощным электромагнитным полем СВЧ // ИНФОРМОСТ «Радиоэлектроника и Телекоммуникации». 2002. № 2. С. 35–41.

References

1. Chanturia V.A., Kozlov A.P. Modern problems of complex processing of refractory ores and technogenic raw materials // Modern problems of complex processing of refractory ores and technogenic raw materials (Plaskin Readings-2017). 2017. P. 3–6.
2. URL: <https://present5.com/metallurgicheskie-texnologii-proizvodstvo-cvetnyx-metallov-lekciya-2-svoystva> (accessed 04/18/2022).
3. Atlas of mineral raw materials, technological industrial products and commercial products of the Polar Branch of PJSC MMC Norilsk Nickel / A.I. Devochkin [i dr.]. St. Petersburg: POLYTECH-PRESS, 2021. 398 p.

4. Extraction of noble and non-ferrous metals from technogenic raw materials of the Norilsk industrial region: practice and research / A.Ya. Baudouin, G.V. Petrov, I.I. Mar-dar, B.S. Ivanov *Successes of modern natural science*. 2013;(3):143–145.
5. Gulan E.A. Principles of ensuring industrial and environmental safety of hydraulic structures in the permafrost zone (on the example of the Lebyazhye tailing dump) // *Bulletin of the Peoples' Friendship University of Russia. Engineering research*. 2007;(2):118–123.
6. Kadyrbay A.K. Substantiation of preliminary microwave exposure for disintegration of

finely disseminated gold-bearing ores // GIAB. 2021. №4. pp. 118–128.

7. Yuriev B.P., Dudko V.A. Development of an environmentally friendly technology for the enrichment of iron. *Ferrous metallurgy*. 2018;(10):35–44.

8. Sultanalieva M.R., Konushbaeva A.T., Turdubaeva Ch.B. Investigation of the energy intensity of rock destruction from the impact of the temperature-time regime of microwave fields. *International Journal of Applied and Fundamental Research*. 2019;(12):187–191.

9. Ratnikova, N.S., Pankratiev P.V. Improving the efficiency of extracting gold and

silver from pyrite concentrates using microwave technology. *Bulletin of the Moscow State Technical University. G.I. Nosov*. 2019;17(4):pp. 4–9.

10. Sultanalieva R.M. Purposeful change in the mechanical properties of ores and minerals under the influence of physical fields: dis. ... for the competition. step. doc. tech. Sciences. Bishkek, 2016. 193 p.

11. Petrov V.M. New applications of radio electronics: softening of rocks by a powerful microwave electromagnetic field. *INFORMOST «Radioelectronics and Telecommunications»*. 2002;(2):35–41.

Научный вестник Арктики. 2022. №13. С. 119–122.
Scientific Bulletin of the Arctic. 2022;(13):119–122.

Технические науки

Научная статья
УДК 622.2:622.822(571.51)
doi: 10.52978/25421220_2022_13_119–122

**САМОВОЗГОРАНИЕ СУЛЬФИДНЫХ РУД ПРИ РАЗРАБОТКЕ
ГЛУБОКИХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ТАЛНАХСКОГО РУДНОГО УЗЛА**

Зинаида Георгиевна Уфатова¹, Павел Романович Шевченко²,
Иван Викторович Самосенко³, Сергей Сергеевич Ефименко⁴

^{1,2,3,4}Заполярный государственный университет им. Н. М. Федоровского.

Аннотация. В статье анализируется проблема самовозгорания сульфидных руд на глубине более 1000 м, прямая зависимость связи возгорания и методов устранения пожаров.

Ключевые слова: сера, сульфидные руды, окисление, активность минералов.

Для цитирования: Самовозгорание сульфидных руд при разработке глубоких месторождений Талнахского рудного узла / З.Г. Уфатова, П.Р. Шевченко, И.В. Самосенко, С.С. Ефименко // Научный вестник Арктики. 2022. №13. С. 119–122. http://dx.doi.org/10.52978/25421220_2022_13_119–122.

Technical sciences

Original article

**SPONTANEOUS IGNITION OF SULFIDE ORES DURING MINING
DEEP DEPOSITS OF THE TALNAKH ORE CENTER**

Zinaida G. Ufatova¹, Pavel R. Shevchenko²,
Ivan V. Samosenko³, Sergei S. Efimenko⁴

^{1,2,3,4}Fedorovsky Polar State University.

Abstract. The article analyzes the problem of spontaneous combustion of sulfide ores at a depth of more than 1000 meters, the direct dependence of the ignition connection and methods for eliminating fires.

Keywords: sulfur, sulfide ores, oxidation, activity of minerals.

For citation: Spontaneous ignition of sulfide ores during mining deep deposits of the Talnakh ore center / Z.G. Ufatova, P.R. Shevchenko, I.V. Samosenko, S.S. Efimenko. *Scientific Bulletin of the Arctic*. 2022;(13):119–122. (In Russ.). http://dx.doi.org/10.52978/25421220_2022_13_119–122.

Каждое месторождение полезных ископаемых уникально и имеет свои особенности. Так, говоря о Талнахском месторождении, выделяют его необычайно

большое количество минеральных видов (около 425), преобладающими из которых являются пирит, пирротин и халькопирит, а также имеющиеся в большом

количестве магнетит, кубанит, моухукит и названный в честь города талнахит (рис. 1).



Рис. 1. Пирротин

Руды являются сульфидными, т.е. с высоким содержанием серы, вплоть до 20%. При разработке месторождения абсолютно любым способом эта особенность способна вызвать самовозгорание руды, что приводит к экзогенному пожару и может повлечь за собой колоссальный экономический и экологический ущерб.

Рассмотрим на примере пирротина причины возникновения самовозгорания. Задатки скрываются в его составе Fe_n-1Sn , где $n \geq 8(Fe_7S_8-Fe_{11}S_{12})$. На этом примере видно, что имеется избыток серы над железом, что приводит к реакции с кислородом и способствует самонагреву. Так, предполагаем, что когда пирротин находится в окислительной среде, железо проникает наружу, образуя железо-оксигидроксидный слой на границе раздела воздух/твердое вещество. Потеря железа образует богатый серой слой, который способствует самонагреву.

Как бы парадоксально это не звучало, но для более быстрого самонагрева руде требуется влага. При этом важное условие – температура должна быть $<100^\circ\text{C}$, а влажность воздуха – от 3 до 8%. Вода здесь играет роль растворителя, она удаляет продукты реакции и позволяет сульфиду вновь нагреваться,

тем самым создавая циклический процесс окисления.

Теперь стоит сказать пару слов о самом процессе горения и окисления. Развитие сульфидных руд протекает на поверхности или неглубоко от неё, плотные руды не самовозгораются до их отбойки и разрыхления (рис. 2).



Рис. 2. Разрыхленная порода на открытом месторождении

Опасности возгорания подвергаются также и целики с трещиноватостью, так как туда проникают воздух и влага, способствующие окислению. Здесь немалое влияние оказывает увеличенная площадь соприкосновения потрескавшегося целика с рудничной атмосферой, поскольку снижение температуры воспламенения вызывается уменьшением размера частиц целика. Вследствие взрывных работ происходит повышенное пылеобразование, сопровождающееся выделением мелких частиц, несущих в себе большое количество элементарной серы, подверженной воздействию воздуха и влаги, что влечет ускорение процесса самонагрева.

Также считаются опасными участки, где имеются скопления древесины или угольной пыли.

Гальваническое взаимодействие минералов нельзя не учесть из-за наличия разницы между потенциальными значениями покоя сосуществующих минералов в пределах Талнахского месторождения. При разнице потенциала покоя бо-

лее чем в 0,2 самонагревание увеличивается. Для пирротина с низким потенциалом покоя очень просто найти пару с учетом необходимой разницы, что повышает шансы воспламенения.

Пожары можно распознать по внешним признакам. При увеличении температуры в выработках образуются туманы, появляется кисловато-битуминозный запах. Выделяется сернистый газ, который разъедает слизистую оболочку глаза. Начинается резкое уменьшение содержания кислорода в воздухе и увеличение количества окиси углерода.

Для контроля процесса самовозгорания были созданы химические подавители, представляющие из себя гели, наносимые на поверхность массива горных пород, в том числе и целиков. Данные гели имеют несколько полезных функций: они представляют из себя химическое покрытие, способное изолиро-

вать твердое вещество от рудничной атмосферы, они также противодействуют протеканию окислительных реакций и эффективно поглощают тепло в случае наличия свободных от геля участков массива или повышенной температуры воздуха. Можно использовать заиливание массива. Полезным в контроле температуры является улучшение вентиляции.

Самым действенным подавителем является соединение оксида магния и хлорида магния, имеющее следующий вид:



Он же Сорельский цемент. Его можно распылять на массив и впоследствии обновлять слой спустя минимум 60 дней, чтобы поддерживать эффективность.

Список источников

1. Inhibition of spontaneous combustion of sulfide ores by thermopile sulfide oxidation / Hongjiang Wang, Chaoshui Xu, Aixiang Wu, Chuiming Ai. *Minerals Engineering*. 2013;(49):61–67.
2. Ксенофонтова А.И., Бурчаков А.С. Теория и практика борьбы с пылью в шахтах. М.: Недра, 1965. 231 с.
3. Тетерев Н.А. Определение минимальной температуры воспламенения аэрозолей сульфидов // Уральская горная школа регионам: сб. трудов междунар. науч.-практ. конф. Екатеринбург: УГГУ, 2015. С. 423.
4. Трубецкой К.Н., Захаров В.Н., Панфилов Е.И. Актуальные проблемы состояния и перспективы развития минерально-промышленного комплекса России // Маркшейдерия и недропользование. 2017. №1 (87). С. 17–19.
5. Взрывы сульфидной пыли и способы их предупреждения / Э.И. Чернявский, А.С. Алешин, В.Н. Бекчиу, В.Я. Манаков // Труды ин-та Унипромедь. Вып. X. 1967. С. 89–96.
6. Эмануэль Н.М. Цепные реакции. М.: Наука, 1989. 335 с.
7. Kalkert N., Schecker H. Einfluss der konverteilung auf die Mindestzündenergie von explosiblen Stauben. *Chem.-Ing.-Tech.*, 1980. Bd. 52. №6. p. 515–517.
8. Prodan M., Lupu L-A., Ghicioi E., Nalboc I., Szollosi-Mota A. Pyrophoric sulfides influence over the minimum ignition temperature of dust cloud // Citation: AIP Conference Proceedings 1918, №020001 – 201.

References

1. Inhibition of spontaneous combustion of sulfide ores by thermopile sulfide oxidation / Hongjiang Wang, Chaoshui Xu, Aixiang Wu, Chuiming Ai. *Minerals Engineering*. 2013;(49):61–67.
2. Ksenofontova A.I., Burchakov A.S. Theory and practice of dust control in mines. M.: Nedra, 1965. 231 p.
3. Teterev N.A. Determination of the minimum ignition temperature of sulfide aerosols

// Ural Mining School for Regions: Sat. Proceedings of the International scientific-practical. conf. Yekaterinburg: USGU, 2015. P. 423.

4. Trubetskoy K.N., Zakharov V.N., Panfilov E.I. Actual problems of the state and prospects for the development of the mineral-industrial complex of Russia // Mine surveying and subsoil use. 2017. No. 1 (87). pp. 17–19.

5. Explosions of sulfide dust and ways to prevent them / E.I. Chernyavsky, A.S. Aleshin, V.N. Becciu, V.Ya. Manakov // Proceedings of the Institute of Unipromed. Issue. H. 1967. P. 89–96.

6. Emanuel N.M. Chain reactions. M.: Nauka, 1989. 335 p.

7. Kalkert N., Schecker H. Einfluss der konverteilung auf die Mindestzundenergie von explosiblen Stauben. Chem-Ing.-Tecn., 1980. Bd. 52. № 6. R. 515–517.

8. Prodan M., Lupu L-A., Ghicioi E., Nalboc I., Szollosi-Mota A. Pyrophoric sulfides influence over the minimum ignition temperature of dust cloud // Citation: AIP Conference Proceedings 1918, no. 020001 – 201.

Научный вестник Арктики. 2022. №13. С. 123–130.
Scientific Bulletin of the Arctic. 2022;(13):123–130.

Естественнонаучные дисциплины

Научная статья

УДК 531.7

doi: 10.52978/25421220_2022_13_123–130

**УГЛОВОЕ УСКОРЕНИЕ В СЛОЖНОМ
ВРАЩАТЕЛЬНОМ ДВИЖЕНИИ**

Александр Леонидович Брусков

Заполярный государственный университет им. Н.М. Федоровского.

E-mail: wessenwelt@mail.ru.

Аннотация. В статье затрагивается вопрос об угловом ускорении в сложном вращательном движении. Как известно, линейное ускорение в сложном движении в некоторых случаях ведёт себя так же, как и линейная скорость. То есть подчиняется правилу простого геометрического сложения. Но в других случаях имеет особенности. В частности, при определённых условиях возникает Кориолисово ускорение. Поведение углового ускорения аналогично линейному. В статье рассматриваются случаи, когда правила углового ускорения совпадают с правилами угловой скорости, и когда эти правила расходятся.

Ключевые слова: абсолютное движение, относительное движение, переносное движение, угловая скорость, угловое ускорение, вектор, ось вращения.

Для цитирования: Брусков А.Л. Угловое ускорение в сложном вращательном движении // Научный вестник Арктики. 2022. №13. С. 123–130. http://dx.doi.org/10.52978/25421220_2022_13_123–130.

Natural sciences

Original article

ANGULAR ACCELERATION IN COMPLEX ROTATIONAL MOTION

Alexander L. Bruskov

Fedorovsky Polar State University.

E-mail: wessenwelt@mail.ru.

Abstract. The proposed article touches upon the question of angular acceleration in complex rotational motion. As you know, linear acceleration in complex motion in some cases behaves the same as linear velocity. That is, it obeys the rule of simple geometric addition. But in other cases it has features. In particular, under certain conditions, Coriolis acceleration occurs. The behavior of angular acceleration is similar to linear acceleration. The article considers cases when the rules of angular acceleration coincide with the rules of angular velocity, and when these rules diverge.

Keywords: absolute movement, relative motion, portable movement, angular velocity, angular acceleration, vector, the axis of rotation.

For citation: Bruskov A.L. Angular acceleration in complex rotational motion. *Scientific Bulletin of the Arctic*. 2022;(13):123–130. (In/ Russ.). http://dx.doi.org/10.52978/25421220_2022_13_123-130.

1. Об относительном и переносном вращении. Пусть подвижная система координат $OXYZ$ совершает движение относительно неподвижной системы $O_1X_1Y_1Z_1$, а именно двигаясь поступательно вместе с полюсом O и одновременно вращаясь вокруг этого полюса с угловой скоростью $\vec{\omega}$ (рис. 1).

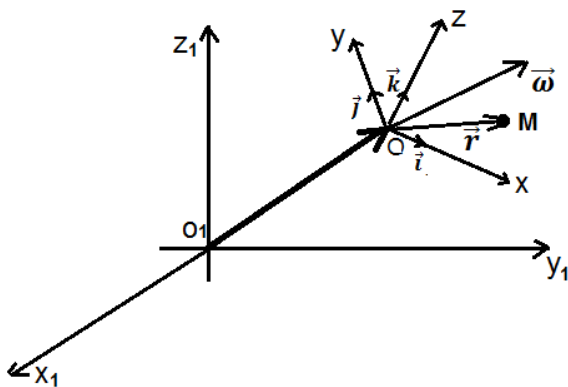


Рис. 1

Положение точки M в подвижной системе координат определяется радиус-вектором $\vec{r} = x\vec{i} + y\vec{j} + z\vec{k}$, её относительная скорость $\vec{v}_{отн} = \dot{x}\vec{i} + \dot{y}\vec{j} + \dot{z}\vec{k}$, относительное ускорение $\vec{a}_{отн} = \ddot{x}\vec{i} + \ddot{y}\vec{j} + \ddot{z}\vec{k}$. Что касается переносной скорости точки M , то она состоит из скорости полюса $\vec{O_1\dot{O}}$ и вращательного движения вокруг полюса с линейной скоростью, определяемой как $\vec{\omega} \times \vec{r}$. Таким образом, абсолютная скорость точки M выражается как $\vec{O_1\dot{O}} + \vec{\omega} \times \vec{r} + \dot{x}\vec{i} + \dot{y}\vec{j} + \dot{z}\vec{k}$. Следует заметить, что поступательное движение системы $OXYZ$ никак не отражается на постоянных векторах, например, $\vec{i}, \vec{j}, \vec{k}$. Они остаются себе равными, следовательно, производные этих векторов в этом случае равны нулю. Другое дело вращение системы. Здесь постоянными остаются лишь модули векторов, направление же меняется. Поэтому их производные будут отличными от нуля. Если рассматривать $\vec{i}$ как единичный

радиус-вектор, то при вращении его конец движется с линейной скоростью, равной $\vec{\omega} \times \vec{i}$. С другой стороны, линейная скорость конца радиус-вектора есть его производная. Значит, $\dot{\vec{i}} = \vec{\omega} \times \vec{i}$. Аналогично $\dot{\vec{j}} = \vec{\omega} \times \vec{j}$, $\dot{\vec{k}} = \vec{\omega} \times \vec{k}$. Стало быть, производная радиус-вектора

$$\dot{\vec{r}} = \dot{x}\vec{i} + \dot{y}\vec{j} + \dot{z}\vec{k} + x\vec{\omega} \times \vec{i} + y\vec{\omega} \times \vec{j} + z\vec{\omega} \times \vec{k}.$$

В качестве отступления продолжим дифференцирование до второго порядка:

$$\ddot{\vec{i}} = \dot{\vec{\omega}} \times \vec{i} + \vec{\omega} \times \dot{\vec{i}} = \vec{\varepsilon} \times \vec{i} + \vec{\omega} \times \vec{\omega} \times \vec{i}.$$

Аналогично

$$\ddot{\vec{j}} = \dot{\vec{\omega}} \times \vec{j} + \vec{\omega} \times \dot{\vec{j}} = \vec{\varepsilon} \times \vec{j} + \vec{\omega} \times \vec{\omega} \times \vec{j},$$

$$\ddot{\vec{k}} = \dot{\vec{\omega}} \times \vec{k} + \vec{\omega} \times \dot{\vec{k}} = \vec{\varepsilon} \times \vec{k} + \vec{\omega} \times \vec{\omega} \times \vec{k},$$

здесь и далее $\vec{\varepsilon}$ – вектор углового ускорения.

Найдём абсолютное ускорение точки M . Согласно определению $\vec{a}_{abc} = \dot{\vec{v}}_{abc}$ имеем:

$$\begin{aligned} \vec{a}_{abc} &= (\vec{O_1\dot{O}} + \vec{\omega} \times \vec{r} + \dot{x}\vec{i} + \dot{y}\vec{j} + \dot{z}\vec{k} + \dot{x}\vec{i} + \\ &+ \dot{y}\vec{j} + \dot{z}\vec{k})' = \vec{O_1\ddot{O}} + \dot{\vec{\omega}} \times \vec{r} + \vec{\omega} \times \dot{\vec{r}} + \ddot{x}\vec{i} + \\ &+ \ddot{y}\vec{j} + \ddot{z}\vec{k} + \dot{x}\vec{\omega} \times \vec{i} + \dot{y}\vec{\omega} \times \vec{j} + \dot{z}\vec{\omega} \times \vec{k} = \\ &= \vec{O_1\ddot{O}} + \vec{\varepsilon} \times \vec{r} + \vec{\omega} \times (\dot{x}\vec{i} + \dot{y}\vec{j} + \dot{z}\vec{k} + x\vec{\omega} \times \vec{i} + \\ &+ y\vec{\omega} \times \vec{j} + z\vec{\omega} \times \vec{k}) + \dot{x}\vec{i} + \dot{y}\vec{j} + \dot{z}\vec{k} + \dot{x}\vec{\omega} \times \vec{i} + \\ &+ \dot{y}\vec{\omega} \times \vec{j} + \dot{z}\vec{\omega} \times \vec{k}. \end{aligned}$$

Учтём следующее:

$$\vec{\omega} \times (\dot{x}\vec{i} + \dot{y}\vec{j} + \dot{z}\vec{k}) = \dot{x}\vec{\omega} \times \vec{i} + \dot{y}\vec{\omega} \times \vec{j} + \dot{z}\vec{\omega} \times \vec{k} =$$

$$\vec{\omega} \times \vec{v}_{отн}, \quad \ddot{x}\vec{i} + \ddot{y}\vec{j} + \ddot{z}\vec{k} = \vec{a}_{отн},$$

$\vec{\omega} \times (\dot{x}\vec{\omega} \times \vec{i} + \dot{y}\vec{\omega} \times \vec{j} + \dot{z}\vec{\omega} \times \vec{k}) = \vec{\omega} \times \vec{\omega} \times \vec{r}$ – осеостремительное ускорение точки, которое вместе с вращательным $\vec{\varepsilon} \times \vec{r}$ и поступательным ускорением полюса $\vec{O_1\ddot{O}}$ составляет переносное ускорение точки $\vec{a}_{пер}$.

В итоге получаем:

$$\vec{a}_{abc} = \vec{a}_{пер} + \vec{a}_{отн} + 2\vec{\omega} \times \vec{v}_{отн},$$

где величина $2\vec{\omega} \times \vec{v}_{отн}$ – Кориолисово ускорение точки M .

Можно заметить, что $\vec{\omega}$ – угловая скорость вращения подвижной системы относительно неподвижной, то есть величина переносная.

2. Случай параллельных осей. Рассмотрим случай, когда параметром относительного движения является угловая скорость $\vec{\omega}_1$, а переносного – угловая скорость $\vec{\omega}_2$, причём $\vec{\omega}_1 \uparrow \vec{\omega}_2$ (рис. 2).

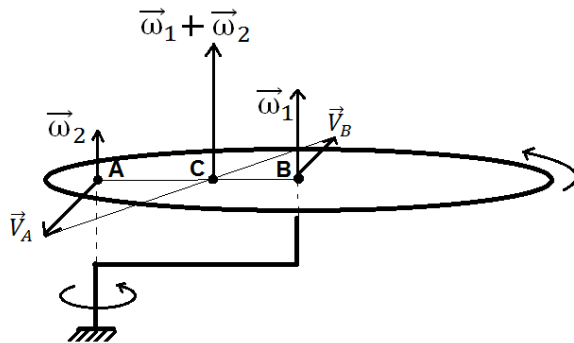


Рис. 2

Линейная скорость:

- точки B

$$V_B = \omega_2 \cdot AB;$$

- точки A

$$V_A = \omega_1 \cdot AB.$$

Эти скорости перпендикулярны AB и противоположно друг другу направлены. Поэтому мгновенный центр скоростей тела (круглого диска) находится на отрезке AB в точке C , делящей отрезок AB в отношении $\frac{AC}{CB} = \frac{V_A}{V_B} = \frac{\omega_1}{\omega_2}$. Поскольку точка C одновременно является центром вращения тела, то его абсолютная угловая скорость равна:

$$\begin{aligned} \frac{V_A}{AC} &= \frac{\omega_1 \cdot AB}{AC} = \frac{\omega_1 \cdot (AC + CB)}{AC} = \\ &= \omega_1 + \frac{\omega_1 \cdot CB}{AC} = \omega_1 + \frac{\omega_1 \cdot \omega_2}{\omega_1} = \omega_1 + \omega_2. \end{aligned}$$

С учётом направлений получаем векторную форму абсолютной угловой скорости тела: $\vec{\omega} = \vec{\omega}_1 + \vec{\omega}_2$.

В данном случае, когда $\vec{\omega}_1$ и $\vec{\omega}_2$ являются переменными величинами, но ме-

няются лишь по модулю, они, естественно, имеют мгновенный характер. Тогда, согласно определению, для абсолютного углового ускорения получаем:

$$\vec{\varepsilon} = \frac{d\vec{\omega}}{dt} = \vec{\varepsilon}_1 + \vec{\varepsilon}_2,$$

где $\vec{\varepsilon}_1$ и $\vec{\varepsilon}_2$ – соответственно относительное и переносное угловые ускорения.

Естественно, что вектор $\vec{\varepsilon}$ расположен на той же мгновенной оси, что и вектор $\vec{\omega}$. Когда $\vec{\omega}_1$ и $\vec{\omega}_2$ – противоположно направленные векторы, то в скалярной форме абсолютная угловая скорость будет представлять собой не сумму, а разность. Векторная же форма останется прежней: $\vec{\omega} = \vec{\omega}_1 + \vec{\omega}_2$, а значит, и абсолютное угловое ускорение будет выражено как и в первом случае:

$$\vec{\varepsilon} = \vec{\varepsilon}_1 + \vec{\varepsilon}_2.$$

Особый интерес представляет так называемая пара угловых скоростей, когда $\vec{\omega}_1 = -\vec{\omega}_2$. В этом случае сумма $\vec{\omega}_1 + \vec{\omega}_2 = 0$, и движение тела будет поступательным с линейной скоростью (рис. 3):

$$\vec{V} = \vec{V}_A = \vec{V}_B = \vec{\omega}_1 \times \vec{BA} = \vec{\omega}_2 \times \vec{AB}.$$

Если все величины переменные (ось угловой скорости $\vec{\omega}_2$, закреплённая заделкой в основании, неподвижна), то, продифференцировав, получим:

$$\vec{a} = \frac{d(\vec{\omega}_2 \times \vec{AB})}{dt} = \frac{d\vec{\omega}_2}{dt} \times \vec{AB} + \vec{\omega}_2 \times \frac{d\vec{AB}}{dt}.$$

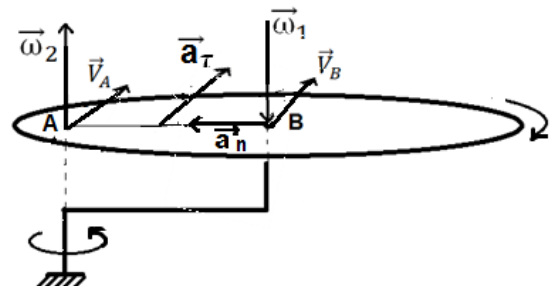


Рис. 3

Здесь $\frac{d\vec{\omega}_2}{dt} = \vec{\varepsilon}_2$. Что касается $\frac{d\vec{AB}}{dt}$, то очевидно, что это элементарное приращение состоит из двух взаимно перпендикулярных приращений: радиального вдоль AB $d(\vec{AB}_r)$ и, скажем так, поворотного $d(\vec{AB}_\varphi)$.

Значит,

$$\vec{a} = \vec{\varepsilon}_2 \times \vec{AB} + \vec{\omega}_2 \times \frac{d(\vec{AB}_r)}{dt} + \vec{\omega}_2 \times \frac{d(\vec{AB}_\varphi)}{dt}.$$

Поскольку при поступательном движении все точки описывают одинаковые траектории, а именно концентрические окружности с центром на неподвижной оси, то они в случае переменных параметров имеют касательное и нормальное ускорение. Выражение $\vec{\varepsilon}_2 \times \vec{AB}$ как раз и означает касательное ускорение точки B , а также и всех других точек. Как векторное произведение оно коллинеарно линейной скорости (заметим, что вектор $\vec{\varepsilon}_2$ коллинеарен вектору $\vec{\omega}_2$). Так как вектор $d(\vec{AB}_r)$ коллинеарен самому вектору $\vec{AB}$, то векторное произведение $\vec{\omega}_2 \times \frac{d(\vec{AB}_r)}{dt}$ также коллинеарно линейной скорости. Сумму обоих ускорений, коллинеарных линейной скорости, обозначим как $\vec{a}_\tau$ (см. рис. 3). Аналогично заключаем, что векторное произведение $\vec{\omega}_2 \times \frac{d(\vec{AB}_\varphi)}{dt}$ является нормальным ускорением $\vec{a}_n$ как точки B , так и всех других точек, оно направлено к центру вращения – к неподвижной оси.

3. Случай пересекающихся осей. Пусть тело вращается с угловой скоростью $\vec{\omega}_1$ вокруг оси OB , которая, в свою очередь, вращается с угловой скоростью $\vec{\omega}_2$ вокруг неподвижной оси OA (рис. 4).

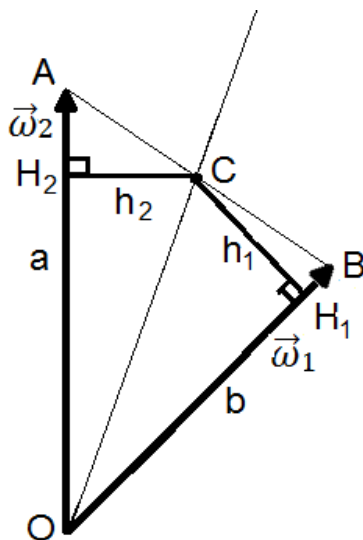


Рис. 4

Таким образом, угловая скорость $\vec{\omega}_1$ является относительной, а $\vec{\omega}_2$ – переменной. Найдём сначала абсолютную угловую скорость тела. Для этого обозначим концы векторов $\vec{\omega}_2$ и $\vec{\omega}_1$ соответственно A и B , длины отрезков $OA = a$, $OB = b$. По сути « a » и « b » – это длины, численно равные модулям векторов $\vec{\omega}_2$ и $\vec{\omega}_1$.

Очевидно, что O – неподвижная точка тела. Если бы была ещё одна неподвижная точка, то была бы и неподвижная ось, проходящая через эти точки, и все точки этой оси имели бы в данный момент нулевую скорость, то есть эта ось носила бы мгновенный характер. Пусть расстояние от какой-нибудь точки мгновенной оси до OB равно h_1 , а до OA – h_2 . Поскольку движение вокруг OB «уничтожается» движением вокруг OA , то $h_1\omega_1 = h_2\omega_2$ или $h_1b = h_2a$. Нетрудно показать, что таким свойством обладает точка C – середина отрезка, соединяющего точки A и B . Действительно, медиана, как известно, делит площадь треугольника пополам, значит, из равенства площадей треугольников OAC и OBC следует последнее равенство. Медиана OC является половиной диагонали параллелограмма, построенного на сторонах « a » и « b », то есть на векторах $\vec{\omega}_2$ и $\vec{\omega}_1$. Значит, результирующим будет вращение вокруг диагонали того самого параллелограмма. А так как длины сторон параллелограмма численно равны модулям угловых скоростей, то длина диагонали численно равна модулю результирующей угловой скорости. Получается известное равенство: $\vec{\omega} = \vec{\omega}_1 + \vec{\omega}_2$.

Как обычно, по определению результирующее (абсолютное) угловое ускорение $\vec{\varepsilon} = \frac{d\vec{\omega}}{dt} = \frac{d\vec{\omega}_1}{dt} + \frac{d\vec{\omega}_2}{dt}$. Напомним, что $\vec{\omega}_1$ – вектор относительной угловой скорости. В относительной системе координат

$$\vec{\omega}_1 = \omega_{1x}\vec{i} + \omega_{1y}\vec{j} + \omega_{1z}\vec{k},$$

где $\vec{i}, \vec{j}, \vec{k}$ – единичные векторы координатных осей, вращающихся вокруг неподвижной оси с угловой скоростью $\vec{\omega}_2$.

Поэтому

$$\begin{aligned} \frac{d\vec{\omega}_1}{dt} &= \omega_{1x}\vec{i} + \omega_{1y}\vec{j} + \omega_{1z}\vec{k} + \\ &+ \omega_{1x}\dot{\vec{i}} + \omega_{1y}\dot{\vec{j}} + \omega_{1z}\dot{\vec{k}} = \vec{\varepsilon}_1 + \omega_{1x}\vec{\omega}_2 \times \vec{i} + \\ &+ \omega_{1y}\vec{\omega}_2 \times \vec{j} + \omega_{1z}\vec{\omega}_2 \times \vec{k} = \vec{\varepsilon}_1 + \vec{\omega}_2 \times \vec{\omega}_1. \end{aligned}$$

Так как у расположенного на неподвижной оси вектора $\vec{\omega}_2$ изменяется только модуль, то переносное угловое ускорение $\vec{\varepsilon}_2 = \frac{d\vec{\omega}_2}{dt}$. В итоге для результирующего (абсолютного) углового ускорения получаем: $\vec{\varepsilon} = \vec{\varepsilon}_1 + \vec{\varepsilon}_2 + \vec{\omega}_2 \times \vec{\omega}_1$.

Заметим, что если поменять ролями оси OA и OB , то есть представить, что тело вращается вокруг оси OA с угловой скоростью $\vec{\omega}_2$, которая, в свою очередь, вращается вокруг неподвижной оси OB с угловой скоростью $\vec{\omega}_1$, то при определении абсолютной угловой скорости ничего не изменится. По-прежнему абсолютная угловая скорость будет равна векторной сумме $\vec{\omega}_1 + \vec{\omega}_2$. То есть сложение угловых скоростей коммутативно, чего нельзя сказать об угловых ускорениях. Это видно хотя бы из последней формулы $\vec{\varepsilon} = \vec{\varepsilon}_1 + \vec{\varepsilon}_2 + \vec{\omega}_2 \times \vec{\omega}_1$. Меняя роли осей, вынуждены поменять местами не только $\vec{\varepsilon}_1$ и $\vec{\varepsilon}_2$, но и $\vec{\omega}_1$ и $\vec{\omega}_2$, а это изменит знак в векторном произведении $\vec{\omega}_2 \times \vec{\omega}_1$ и приведёт к иному результату.

В случае пересекающихся осей вектор абсолютного ускорения $\vec{\varepsilon}$ не коллинеарен вектору абсолютной скорости $\vec{\omega}$. Во-первых, в общем случае векторы $\vec{\varepsilon}_1$ и $\vec{\varepsilon}_2$ не пропорциональны векторам $\vec{\omega}_1$ и $\vec{\omega}_2$, поэтому соответственные параллелограммы, построенные на этих векторах, не будут налагаться друг на друга, их диагонали будут лежать на разных лучах. Кроме того, вектор $\vec{\varepsilon}$ состоит не только из $\vec{\varepsilon}_1 + \vec{\varepsilon}_2$, но и плюс ещё одно слагаемое $\vec{\omega}_2 \times \vec{\omega}_1$, которое создаёт дополнительное отклонение вектора $\vec{\varepsilon}$ от диагонали параллелограмма угловых скоростей (рис. 5).

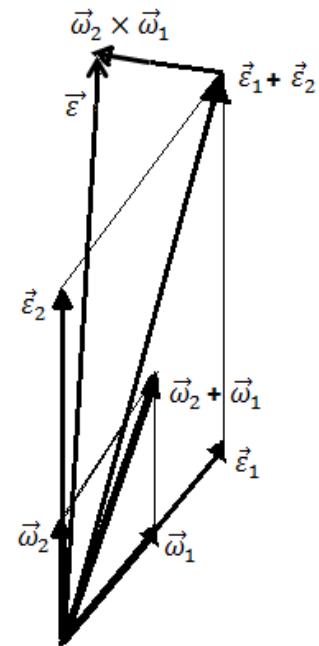


Рис. 5

В частном случае, когда тело вращается с постоянной относительной угловой скоростью $\omega_1 = \dot{\varphi}$, а ось этого вращения, в свою очередь, вращается с постоянной угловой скоростью $\omega_2 = \dot{\psi}$ вокруг оси z , оставляя постоянным угол θ (рис. 6), вектор углового ускорения $\vec{\varepsilon}$, равный векторному произведению $\vec{\omega}_2 \times \vec{\omega}_1$, будет направлен перпендикулярно плоскости $Oz\omega_1$ в сторону поворота угла φ . Модуль же вектора $\vec{\varepsilon}$ равен $\dot{\varphi}\dot{\psi}\sin\theta$.

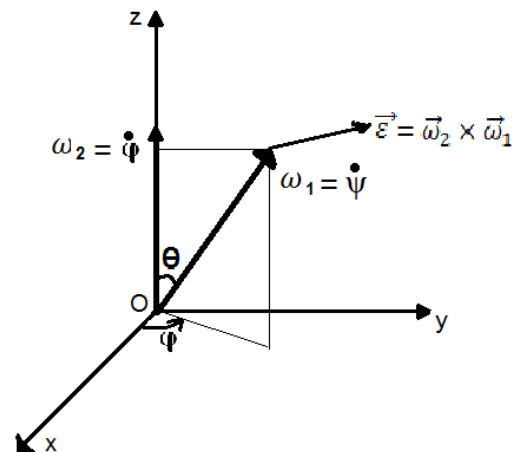


Рис. 6.

Если учесть координаты векторов $\vec{\omega}_1$ и $\vec{\omega}_2$, то получим: $\dot{\psi}\sin\theta\cos\dot{\varphi}t$

$$\vec{\varepsilon} = \vec{\omega}_2 \times \vec{\omega}_1 = \begin{vmatrix} \vec{i} & \vec{j} & \vec{k} \\ 0 & 0 & \dot{\varphi} \\ \dot{\psi} \sin \theta \cos \varphi t & \dot{\psi} \sin \theta \sin \varphi t & \dot{\psi} \cos \theta \end{vmatrix} = \dot{\varphi} \dot{\psi} \sin \theta \sin \varphi t \vec{i} + \dot{\varphi} \dot{\psi} \sin \theta \cos \varphi t \vec{j}.$$

Из полученного можно ещё раз убедиться, что модуль углового ускорения равен $\dot{\varphi} \dot{\psi} \sin \theta$.

4. Случай скрепляющихся осей. Пусть вращательные движения совершаются вокруг скрепляющихся осей с угловыми скоростями $\vec{\omega}_1$ и $\vec{\omega}_2$ (рис. 7).

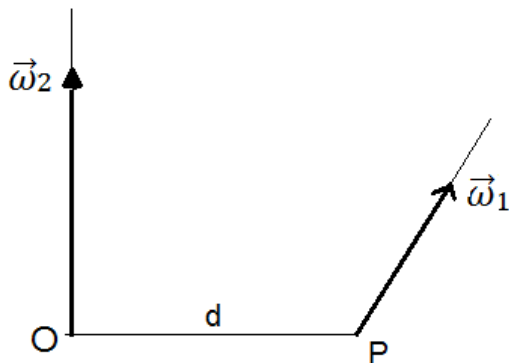


Рис. 7

Так как $\vec{\omega}_1$ и $\vec{\omega}_2$ – скользящие векторы, то можно их «сдвинуть» к концам OP общего перпендикуляра к линиям действия этих векторов. Далее перенесём вектор $\vec{\omega}_2$ в точку P , добавив вектор поступательного движения $\vec{V}$, перпендикулярный плоскости векторов $\vec{\omega}_1$ и $\vec{\omega}_2$ (рис. 8). При этом $V = \omega_2 d$, где $d = OP$.

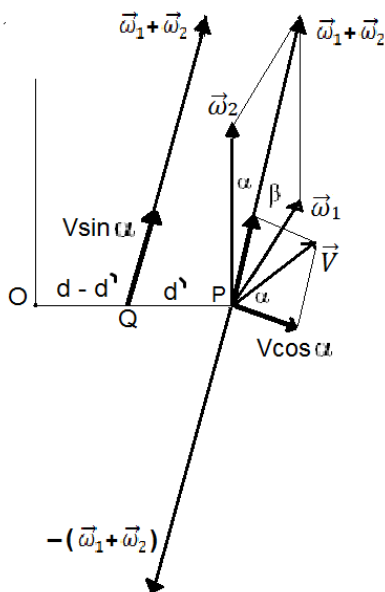


Рис. 8

Перенесённый вектор $\vec{\omega}_2$ сложим с вектором $\vec{\omega}_1$. Полученный при этом вектор $\vec{\omega}_1 + \vec{\omega}_2$ будет диагональю параллелограмма, построенного на векторах $\vec{\omega}_1$ и $\vec{\omega}_2$ как на сторонах. Рассматривая треугольники, на которые параллелограмм разбивается диагональю, получим: $\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{\omega_1}{\omega_2}$, где α и β – углы, на которые разбивается угол параллелограмма диагональю. Вектор $\vec{V}$ разложим на две составляющие, одна из которых, равная по модулю $V \sin \alpha$, направлена по диагонали $\vec{\omega}_1 + \vec{\omega}_2$, другая, с модулем $V \cos \alpha$, перпендикулярна первой. Все векторы находятся в плоскости параллелограмма с диагональю $\vec{\omega}_1 + \vec{\omega}_2$. Заменим вектор линейной скорости с модулем $V \cos \alpha$ парой угловых скоростей – $(\vec{\omega}_1 + \vec{\omega}_2)$ и $\vec{\omega}_1 + \vec{\omega}_2$. Первый вектор приложим к точке P с тем, чтобы он компенсировал вектор $\vec{\omega}_1 + \vec{\omega}_2$, являющийся диагональю параллелограмма. Второй – к точке Q на отрезке OP . Если обозначить $QP = d'$, то $d' = \frac{V \cos \alpha}{|\vec{\omega}_1 + \vec{\omega}_2|}$. Заметим, что $|\vec{\omega}_1 + \vec{\omega}_2| = \omega_2 \cos \alpha + \omega_1 \cos \beta$. И поскольку $V \cos \alpha = \omega_2 d \cos \alpha$, то $d' = \frac{\omega_2 d \cos \alpha}{\omega_2 \cos \alpha + \omega_1 \cos \beta}$, что после несложных преобразований обращается в $\frac{d \cos \alpha \sin \beta}{\cos \alpha \sin \beta + \sin \alpha \cos \beta} = \frac{d \cos \alpha \sin \beta}{\sin(\alpha + \beta)}$.

Выразим разность:

$$d - d' = d \left(1 - \frac{\cos \alpha \sin \beta}{\sin(\alpha + \beta)} \right) = \frac{d \sin \alpha \cos \beta}{\sin(\alpha + \beta)}.$$

Отсюда

$$\frac{d'}{d - d'} = \frac{d \cos \alpha \sin \beta}{d \sin \alpha \cos \beta} = \frac{\tan \beta}{\tan \alpha}.$$

Теперь, если перенести вектор линейной скорости с модулем $V \sin \alpha$ из точки P в точку Q , то получим винтовое движение с осью винта, проходящей через точку Q , делящей общий перпендикуляр OP к линиям угловых скоростей в отношении $\frac{\tan \beta}{\tan \alpha}$, считая от точки P , где β и α – углы, образуемые векторами $\vec{\omega}_1$ и $\vec{\omega}_2$ с этой осью соответственно. Так как параллельные переносы векторов $\vec{\omega}_2$ в начале и вектора линейной скорости с модулем $V \sin \alpha$ в конце не влияют на угловое (и линейное) ускорение, то оно

останется таким же, как в предыдущем пункте: $\vec{\varepsilon} = \vec{\varepsilon}_1 + \vec{\varepsilon}_2 + \vec{\omega}_2 \times \vec{\omega}_1$ (см. рис. 5).

Заключение. Если в сложном движении угловая скорость (впрочем, как и линейная) подчиняется простым правилам геометрического сложения, то угловое ускорение обладает некоторыми особенностями. Следует заметить, что и линей-

ное ускорение не всегда желает выполнять эти простые правила: вспомним Кориолисово ускорение. При сложном вращательном движении вокруг пересекающихся и скрепляющихся осей абсолютное угловое ускорение равно $\vec{\varepsilon} = \vec{\varepsilon}_1 + \vec{\varepsilon}_2 + \vec{\omega}_2 \times \vec{\omega}_1$. Последнее слагаемое напоминает аналог Кориолисова ускорения.

Список источников

1. Тарг С.М. Краткий курс теоретической механики. М.: Высшая школа, 1986.
2. Яблонский А.А., Никифорова В.М. Курс теоретической механики. М.: Высшая школа, 1986.

3. Жуковский Н.Е. Теоретическая механика. М.: Л., 1952.

References

1. Targ S.M. A short course in theoretical mechanics. Moscow: Higher school, 1986.
2. Yablonsky A.A., Nikiforova V.M. Course of theoretical mechanics. Moscow: Higher school, 1986.

3. Zhukovsky N.E. Theoretical mechanics. M.; L., 1952.

УВАЖАЕМЫЕ КОЛЛЕГИ!

ФГБОУВО «Заполяный 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;
- естественнонаучные 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, не соответствующие требованиям к оформлению материалов публикаций, рассматриваться редакцией не будут. Материалы не возвращаются.

Статьи, полученные редакцией позже указанного срока, будут рассматриваться для публикации в следующем номере журнала.

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 Microsoft Equation (Word 2003). 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,

ФГБОУВО «Заполяный государственный университет им. Н.М. Федоровского».

Редакция журнала. Тел. (3919) 47-39-44.

Факс (3919) 42-17-41. E-mail: rio_ngii@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. Its purpose is a wide interpretation of positive experience in education and future specialists' training issues and practices; assisting in the dissemination of information on research and practice.

SCIENTIFIC BULLETIN publishes papers concerning the following aspects:

- TECHNICAL SCIENCES
- NATURAL SCIENCES
- HUMANITIES SCIENCE

You are invited to submit scientific contributions for the SCIENTIFIC BULLETIN OF NORILSK INDUSTRIAL INSTITUTE.

All correspondence concerning manuscripts should reach the Editorial Board 15.02 and 15.10 current year at the latest. The manuscripts received later will be considered for publication in the next issue. The submitted papers are not sent back.

The journal will only respond to and publish articles corresponding to the following requirements.

STYLE AND SUBMISSION REQUIREMENTS

1. Submit one hard copy of the manuscript on bond paper. Also submit an appropriate CD-ROM. It should be labelled with: Author's name, title of manuscript.

2. The size of articles should not exceed 16 pages of manuscript, including references (not more than 10–15 sources), tables (not more than 3), figures (not more than 5).

3. The manuscripts should be printed on A4 format pages (standard page – 1800 characters), sesquialteral space, size 14 font (Times New Roman), 2 cm left margins and 3 cm right margins, 2,5 cm top and bottom margins.

4. The title page should carry the following information:

- the title of the article in English;
- full name of Author (Authors) and, in case of multicentre studies, institutional affiliations,
- annotation, key words (in Russian and English);
- the list of bibliography enclosed to the article in order of reference. The article should contain references in square brackets of the literature used. Bibliography should be formatted according to State Educational Standard P7.05–2008;

- full name of the institution/ institutions from which the paper originates (in official version).

Author's address for correspondence, including the name of Author, scientific title, address, telephone and fax numbers, e-mail address.

The article should contain the most necessary formulas (Microsoft Equation, Word 2003). Formulas with references are numbered only.

Illustrative material should be convenient, all the details are clearly seen. Charts go with the titles. Only generally accepted abbreviations are allowed.

Every author enters into a license contract for the right of the use of his intellectual activity.

All submitted manuscripts are subjected to editorial review and subsequently peer review.

The Editor will observe the content of the manuscript, however full responsibility for the content of the article lies with the Author. The Editorial Board does not take responsibility for the results of possible unreliability.

Mailing Instructions. Please include your e-mail address if you have one. Manuscripts with requisite hard copies and CD-ROMs should be forwarded to.

Editorial Board,
Fedorovsky Polar State University.
50 Let Oktyabrya, 7
Norilsk, 663310
Krasnoyarsky Region, Russia
(3919) 47-39-44.
FAX: (3919)42-17-41.
E-mail: rio_ngii@norvuz.ru

Научное издание

НАУЧНЫЙ ВЕСТНИК АРКТИКИ

Подписано в печать 06.06.2022.
Бум. для копир.-мн.ап.
Гарнитура *Century*. Печать плоская.
Тираж 100 экз. Зак. 14.

663310, Норильск, ул. 50 лет Октября, 7.
E-mail: rio_ngii@norvuz.ru

Отпечатано с готового оригинал-макета
в отделе ЦИТ ФГБОУВО «ЗГУ»