

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ  
ЖУРНАЛ

# МАРКШЕЙДЕРИЯ И НЕДРОПОЛЬЗОВАНИЕ

№ 1, январь-февраль 2024 г.

[www.n-gn.ru](http://www.n-gn.ru)

«Mine Surveying and Subsurface Use»  
«Mine Surveying and Subsurface Use»  
«Mine Surveying and Subsurface Use»  
«Mine Surveying and Subsurface Use»  
«Mine Surveying and Subsurface Use»  
«Mine Surveying and Subsurface Use»



*Российская Академия Наук*



28 января (8 февраля) 1724 года Сенатом Российской империи был издан указ о создании Академии наук — государственного учреждения, предназначенного для развития наук и распространения знаний. Разработанный Петром I «Проект об учреждении Академии наук» определял её задачи. Эти документы положили начало современной Российской академии наук. Деятельность академии с самого начала позволила ей занять почетное место среди крупнейших научных учреждений Европы.

Целую эпоху в истории академии и российской науки составила научная, просветительская и организаторская деятельность великого ученого-энциклопедиста Михаила Васильевича Ломоносова. Он обогатил ее фундаментальными открытиями в химии, физике, астрономии, геологии, географии; внес большой вклад в разработку истории, языкознания и поэтики; организовал в 1748 году первую химическую лабораторию; активно участвовал в 1755 году в основании Московского университета, ныне по праву носящего его имя.

В разные годы президентами Российской академии наук становились выдающиеся деятели своей эпохи. Так, первым президентом академии был назначен медик Лаврентий Блюментрост, а в 1746 году состоялось назначение первого русского президента академии, им стал граф К.Г. Разумовский. Президентами академии были писатели, государственные деятели, литераторы, географы, геологи, физики, химики, математики.

Историю РАН невозможно отделить от истории мировой научной мысли, развития науки как особой сферы человеческой деятельности. Задачи академии менялись в различные эпохи. XVII век — время привлечения в Россию всемирно известных учёных-универсалов, подготовки национальных научных кадров, обследования и научного описания территории Российской империи. Результатом академических экспедиций XVII века стало выявление природных богатств Сибири и Севера, изучение народов и составление полных карт России. В XIX веке академия сформировала базу для дифференциации научных дисциплин, продвижения их в университеты, создания собственных научных школ, выхода учёных страны на передовые рубежи мировой науки.

Академия наук СССР стала корпорацией, сочетающей функции выполнения исследований, государственного управления наукой и интеллектуального центра страны. Эта модель организации науки соединила традиционные принципы избрания в академию наук выдающихся учёных, новые масштабы исследований и опору на научные институты. Академическая наука имела ключевое значение для технологических преобразований в СССР, укрепления обороноспособности, создания ракетно-ядерного щита, развития атомной энергетики. Её триумфальный успех — советская космическая программа.

Сегодня Российская академия наук встречает 300-летие как сплоченная научная корпорация, интеллектуальный центр страны. Ее научный потенциал и экспертный опыт востребованы обществом и государством. В этом состоит преемственность ее трехвековой истории.

Три века тому назад был заложен фундамент, на который и сегодня опираются исследователи и вся страна. Как в годы покоя, так и в дни испытаний традиции, мудрость и интеллект академии поддерживали Россию. Именно академия внесла огромный вклад в развитие государства и общества, укрепление международного авторитета страны, подарила миру выдающиеся имена и великие открытия, передовые идеи и признанные научные школы.

Отрадно, что сегодня Российская академия наук во главе с академиком Геннадием Яковлевичем Красниковым достойно продолжает славные традиции предшественников созидательным трудом, содействуя укреплению колоссального потенциала российской науки в целом.

*Коллектив журнала «Маркшейдерия и недропользование» поздравляет всех членов научного сообщества со знаменательной датой, желает успехов и всего самого доброго!*

Источники:

Осипов Ю. С. Академия наук в истории Российского государства. М.: Наука, 1999.

URL: <https://new.ras.ru/academy/ob-akademii/300-let-istorii/zarozhdenie-traditsiy/> (дата обращения: 21.01.2024)



# №1(129)

январь-февраль 2024 г.



Учредитель журнала  
Общество с ограниченной  
ответственностью  
«Издательский дом  
«Недропользование и горные науки»

## Редакционный совет

Г.И. Айнбиндер – ООО «АГЭЦ», Москва  
И.И. Айнбиндер – ИПКОН РАН, Москва  
А.А. Барях – ПФИЦ УрО РАН, Пермь  
В.М. Вернигор – АО «Технологии контроля безопасности», Москва  
В.И. Голик – ФГБОУ ВО «СКГМИ (ГТУ)», Владикавказ  
В.А. Гордеев – ООО «Союз маркшейдеров России», Москва  
В.В. Грицков – ООО «Союз маркшейдеров России», Москва  
В.А. Дрибан – РАНИМИ, Донецк  
А.А. Добрынин – ИПКОН РАН, Москва  
В.Н. Захаров – ИПКОН РАН, Москва  
В.А. Игнаткина – НИТУ «МИСиС», Москва  
Г.В. Калабин – ИПКОН РАН, Москва  
Д.Р. Каплунов – ИПКОН РАН, Москва  
Н.М. Качурин – ТулГУ, Тула  
Р.В. Ключев – СКГМИ (ГТУ), Владикавказ  
С.Б. Кулибаба – ИПКОН РАН, Москва  
В.В. Куликов – МГРИ, Москва  
Л.Ш. Махмудова – ФГБОУ ВО «ГГНТУ им. акад. М.Д. Миллион-шикова», Грозный  
Н.В. Милетенко – Минприроды РФ, Москва  
М.Б. Носырев – Екатеринбург  
В.Н. Одинцев – ИПКОН РАН, Москва  
В.Д. Пропп – ФГБОУ ВО «УГГУ», Екатеринбург  
И.А. Пыталев – МГТУ им. Г.И. Носова, Магнитогорск  
Х.Э. Таймасханов – ФГБОУ ВО «ГГНТУ им. акад. М.Д. Миллион-шикова», Грозный  
К.Н. Трубецкой – ИПКОН РАН, Москва  
М.А. Тюленев – КузГТУ, Кемерово  
А.А. Хорешок – КузГТУ, Кемерово  
В.А. Чантурия – ИПКОН РАН, Москва

## Издатель:

ООО «Издательский дом «Недропользование и горные науки»  
Адрес редакции и издателя:  
117647, ул. Академика Капицы, д. 26, 1.  
Тел.: +7(915) 111 0386  
E-mail: office@n-gn.ru, articles@n-gn.ru  
http://www.n-gn.ru

Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере массовых коммуникаций, связи и охраны культурного наследия. Свидетельство о регистрации ПИ № ФС 77-83630 от 26.07.2022 г.

По решению ВАК журнал включен в Перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, в которых могут быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата и доктора наук по разработке месторождений полезных ископаемых и по наукам о Земле

Журнал включен в Реферативный журнал и Базы данных ВИНТИ и в Российский индекс научного цитирования.

Сведения о журнале ежегодно публикуются в международной справочной системе по периодическим и продолжающимся изданиям «Ulrich's Periodicals Directory»

© Маркшейдерия и недропользование



## В ЭТОМ НОМЕРЕ:

ПРАВОВЫЕ ВОПРОСЫ НЕДРОПОЛЬЗОВАНИЯ  
ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИЯ НЕДРОПОЛЬЗОВАНИЯ  
ГЕОЛОГИЯ, РАЗВЕДКА, ЭКСПЛУАТАЦИЯ НЕФТЯНЫХ  
И ГАЗОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ  
ГОРНОТЕХНИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ  
ГЕОМЕХАНИКА  
МАРКШЕЙДЕРСКОЕ И ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ  
ОБЕСПЕЧЕНИЕ ГОРНЫХ РАБОТ  
ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ  
НАШИ ЮБИЛЯРЫ  
ИТОГИ НАУЧНЫХ КОНФЕРЕНЦИЙ

Журнал издается с 2001 года

## Редакция:

Главный редактор  
**Ю.В. Дмитрак**  
Заместитель главного редактора  
**В.Н. Хетагуров**  
Ведущий редактор  
**Н.А. Федотенко**  
Ученый секретарь  
**Н.А. Милетенко**  
Верстка и дизайн  
**Н.Р. Алкснитис**  
Помощник главного редактора  
**Б.Н. Пашичев**

Подписной индекс издания  
в каталоге «Урал-Пресс»,  
в объединенном каталоге АРЗИ  
«Пресса России» – 88016

В течение года можно произвести  
подписку на журнал непосредственно в редакции

За точность приведенных сведений  
и содержание данных, не подлежащих открытой публикации,  
несут ответственность авторы

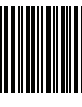
При перепечатке ссылка на журнал  
«Маркшейдерия и недропользование» обязательна

Журнал отпечатан в типографии  
«CLUB PRINT»  
тел.: +7(495) 669 5009

ISSN 2079-3332



24 00 1





**№1(129)**

**january-february 2024**



Founder of the magazine  
**Publishing House**  
**Minerals Management**  
**and Mining Sciences,**  
Limited liability company

**Editorial Council**

G.I. Ainbinder – LLC «AGETS», Moscow  
I.I. Ainbinder – ICEMR RAS, Moscow  
A.A. Baryakh – PFRC UB RAS, Perm  
V.M. Vernigor – JSC «Security Control Technologies», Moscow  
V.I. Golik – NCIMM (STU), Vladikavkaz  
V.A. Gordeev – LLC «Union of Surveyors of Russia», Moscow  
V.V. Gritskov – LLC «Union of Surveyors of Russia», Moscow  
V.A. Driban – RANIMI, Donetsk  
A.A. Dobrynin – ICEMR RAS, Moscow  
V.N. Zakharov – ICEMR RAS, Moscow  
V.A. Ignatkina – NUST MISIS, Moscow  
G.V. Kalabin – ICEMR RAS, Moscow  
D.R. Kaplunov – ICEMR RAS, Moscow  
N.M. Kachurin – TulSU, Tula  
R.V. Klyuev – SKGMI (GTU), Vladikavkaz  
S.B. Kulibaba – IPKON RAN, Moskva  
V.V. Kulikov – MGRI, Moscow  
L.Sh. Makhmudova – FGBOU VO «GGNTU named after M.D. Milionshchikov», Grozny  
N.V. Miletenko – Ministry of Natural Resources RF, Moscow  
M.B. Nosyrev – Ekaterinburg  
V.N. Odintsev – IPKON RAS, Moscow  
V.D. Propp – URSMU, Ekaterinburg  
I.A. Pytalev – FSBEIHE NMST, Magnitogorsk  
Kh. E. Taymaskhanov – FGBOU VO «GGNTU named after M.D. Milionshchikov», Grozny  
K.N. Trubetskoy – ICEMR RAS, Moscow  
M.A. Tyulenev – KuzSTU, Kemerovo  
A.A. Horeshok – KuzSTU, Kemerovo  
V.A. Chanturia – ICEMR RAS, Moscow

**Publisher:**

Publishing House Minerals Management and Mining Sciences, LLC  
Address of the editorial office and publisher:  
117647, Akademika Kapitsa st., 26, 1.  
Phone: +7(915) 111 0386  
E-mail: office@n-gn.ru, articles@n-gn.ru  
http://www.n-gn.ru

The journal is registered by the Federal Service for Supervision of Mass communications, communication and protection of cultural heritage  
Registration certificate PI No. FS 77-83630 dated July 26, 2022

*By decision of the Higher Attestation Commission, the journal is included in the List of leading peer-reviewed scientific journals and publications in which the main scientific results can be published dissertations for the degree of candidate and doctor of science in the development mineral deposits and geosciences*

*The journal is included in the Abstract Journal and Databases of VINITI and in the Russian science citation index  
Information about the journal is published annually in the international reference system in the periodicals and continuing editions of Ulrich's Periodicals Directory*

© Mine Surveying and Subsoil Use



**IN THIS ISSUE:**

LEGAL ISSUES OF MINERAL RESOURCES  
MANAGEMENT

METHODS AND TECHNOLOGY OF MINERAL  
RESOURCES EXPLORATION

GEOLOGY, EXPLORATION, EXPLOITATION  
OF OIL AND GAS FIELDS

MOUNTAIN-TECHNICAL SAFETY

GEOMECHANICS

SURVEYING AND GEOLOGICAL SUPPORT OF MINING  
OPERATIONS

INFORMATION TECHNOLOGY

OUR ANNIVERSARIES

RESULTS OF SCIENTIFIC CONFERENCES

The journal has been published since 2001

**Edition:**

Chief editor  
**Y.V. Dmitrak**  
Deputy Editor-in-Chief  
**V.N. Khetagurov**  
Lead Editor  
**N.A. Fedotenko**  
Scientific secretary  
**N.A. Miletenko**  
Layout and design by  
**N.R. Alksnitits**  
Assistant Editor-in-Chief  
**B.N. Pashichev**

*Subscription index of the publication  
in the Ural-Press catalog, in the unified catalog ARZI  
«Press of Russia» – 88016*

During the year, you can subscribe to the journal directly  
in the editorial office

For the accuracy of the information provided and the content  
of data not subject to open publications are the responsibility  
of the authors

When reprinting a link to the journal  
«Mine Surveying and Subsoil Use» required

The magazine was printed in the printing house  
«CLUB PRINT»  
phone: +7(495) 669 5009

ISSN 2079-3332



24 00 1



# СОДЕРЖАНИЕ

# CONTENTS

## Правовые вопросы недропользования Legal issues of mineral resources management

Л.Н. Липина

Правовые аспекты предоставления лесных участков в пределах лесного фонда в аренду в Хабаровском крае для целей недропользования  
L.N. Lipina  
Legal aspects of provision of forest plots within the forest fund for lease in Khabarovsk krai for purposes subsoil use .....4

## Техника и технология недропользования Methods and technology of mineral resources exploration

Я.Е. Линьков, В.Е. Кисляков, А.К. Кирсанов, П.В. Катусhev  
Раскрытие взаимосвязи между свойствами морской воды и добычей полезных ископаемых со дна арктического шельфа  
Ya.E. Linkov, V.E. Kislyakov, A.K. Kirsanov, P.V. Katyshev  
Uncovering the relationship between seawater properties and mineral extraction from the arctic shelf floor .....10

В.С. Федотенко, В.В. Чаплыгин, А.В. Матвеев  
Оптимизация параметров технологии разработки полускальных вскрышных пород экскаваторно-автомобильными комплексами с применением мехлопат  
V.S. Fedotenko, V.V. Chaplygin, A.V. Matveev  
Optimization of the parameters of the technology for the development of semi-horizontal overburden by excavator-automotive complexes using mechanical shovels .....17

## Геология, разведка, эксплуатация нефтяных и газовых месторождений Geology, exploration, exploitation of oil and gas fields

В.В. Четверикова, Н.Е. Механиков  
Повышение эффективности эксплуатации Ярактинского месторождения с применением выравнивания профиля приемистости на основе биополимеров  
V.V. Chetverikova, N.E. Mehanikov  
Improving the efficiency of the Yarakinskoye field operation using the alignment of the pickup profile based on biopolymers .....32

## Горнотехническая безопасность Mountain-technical safety

Б.Б. Луганцев, А.И. Чавкин, Ю.В. Турук, А.А. Белодедов, С.О. Версильов  
Оценка эффективности применения охранных конструкций из облегченных деревянно-бетонных блоков  
B.B. Lugancev, A.I. Chavkin, J.V. Turuk, A.A. Belodedov, S.O. Versilov  
Evaluation of effectiveness of the use of security structures made of lightweight wooden-concrete blocks .....39

В.М. Кузнецов, В.П. Спиридонов, В.В. Спиридонова  
Устойчивость зданий и сооружений Запорожской атомной электростанции при использовании артезианской воды для технологического процесса станции

V.M. Kuznetsov, V.P. Spiridonov, V.V. Spiridonova  
Sustainability of buildings and structures Zaporizhzhia nuclear power plant when using artesian water for the technological process of the station .....50

## Геомеханика Geomechanics

С.Е. Чирков, А.В. Гришин, К.М. Мулин, П.В. Чирков  
К вопросу определения значений сцепления и угла внутреннего трения горных пород  
S.E. Chirkov, A.V. Grishin, K.M. Murin, P.V. Chirkov  
To the question of determining the values of adhesion and angle of internal friction of rock formations .....68

В.Л. Трушко, Е.К. Баева  
Обоснование модели напряженно-деформированного состояния массива мерзлых горных пород  
V.L. Trushko, E.K. Baeva  
Substantiation of the constitutive model of frozen ground . . . 73

## Маркшейдерское и геологическое обеспечение горных работ Surveying and geological support of mining operations

В.Н. Гусев, А.А. Филиппов  
Оптимизация процесса классификации данных лазерного сканирования для преодоления избыточности  
V.N. Gusev, A.A. Filippov  
Optimizing the data classification process in laser scanning to overcome redundancy .....80

## Информационные технологии Information technology

И.В. Артемов, М.Б. Носырев  
Анализ современных способов прикладного использования сверточных нейронных сетей в горной промышленности  
I.V. Artemov, M.B. Nosyrev  
Analysis of modern engineering applications of convolutional neural networks in mining industry .....90

## Наши юбилеи Our anniversaries

К 90-летию со Дня рождения Ракишева Б.Р.  
90 years of Rakishev Bayan Rakishevich .....95

## Итоги научных конференций Results of scientific conferences

Итоги 16 Международной научной школы молодых ученых и специалистов «Проблемы освоения недр в XXI веке глазами молодых»  
Results of the 16th International Scientific School of Young Scientist and Specialists «Problems of subsoil development in the XXI century through the eyes young» .....96

### Редакция журнала вносит уточнения в ранее опубликованные статьи:

Залевская, К.Н. Оценка качества породного массива на угольных разрезах Кузбасса по данным телеметрии буровзрывных скважин / К.Н. Залевская, А.Е. Кирков // Маркшейдерия и недропользование. - 2023. - № 6(128). - С. 13-17. - DOI 10.56195/20793332\_2023\_6\_13\_17.

Федотенко, В.С. Использование дистанционных методов для изучения структурной нарушенности массива по данным исследования стенок буровзрывных скважин / В.С. Федотенко, А.П. Аверин, А.Е. Кирков // Маркшейдерия и недропользование. - 2023. - № 6(128). - С. 54-59. - DOI 10.56195/20793332\_2023\_6\_54\_59.

Галченко, Ю.П. Экологические аспекты депонирования минеральной пыли добывающих предприятий в поверхностных водотоках природных экосистем / Ю.П. Галченко // Маркшейдерия и недропользование. - 2023. - № 6(128). - С. 82-86. - DOI 10.56195/20793332\_2023\_6\_82\_86.

Кубрин, С.С. Априорная и апостериорная оценки запыленности приземного слоя атмосферы в населенных пунктах Кемеровской области / С.С. Кубрин, А.А. Стрелецкий // Маркшейдерия и недропользование. - 2023. - № 6(128). - С. 101-105. - DOI 10.56195/20793332\_2023\_6\_101\_105.

Кубрин, С.С. Комплексная оценка запыленности приземного слоя атмосферы в границах горного отвода угольного разреза / С.С. Кубрин, А.А. Стрелецкий // Маркшейдерия и недропользование. - 2023. - № 6(128). - С. 106-110. - DOI 10.56195/20793332\_2023\_6\_106\_110.

Кубрин, С.С. Влияние технологических параметров угольного разреза и метеорологических условий на скорость конвективных потоков воздуха, траекторию и дальность распространения пылегазового облака в атмосфере / С.С. Кубрин, А.А. Стрелецкий // Маркшейдерия и недропользование. - 2023. - № 6(128). - С. 111-115. - DOI 10.56195/20793332\_2023\_6\_111\_115.

Считать верным раздел **Благодарность, финансирование:** Исследования проведены при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках мероприятия №1 комплексной научно-технической программы полного инновационного цикла, утвержденной распоряжением Правительства Российской Федерации от 11 мая 2022 года №1144-р и соглашения о предоставлении из федерального бюджета грантов в форме субсидии в соответствии с пунктом 4 статьи 78.1 Бюджетного кодекса Российской Федерации №075-15-2022-1185 от 28 сентября 2022 года.

**Acknowledgment:** The research was carried out with the financial support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the framework of event No. 1 of the comprehensive scientific and technical program of the full innovation cycle, approved by order of the Government of the Russian Federation dated May 11, 2022 No. 1144-r and an agreement on the provision from the federal budget grants in the form of subsidies in accordance with paragraph 4 of the article 78.1 of the RF Budget Code, Agreement No. 075-15-2022-1185 dated 28 September 2022.

## ПРАВОВЫЕ АСПЕКТЫ ПРЕДОСТАВЛЕНИЯ ЛЕСНЫХ УЧАСТКОВ В ПРЕДЕЛАХ ЛЕСНОГО ФОНДА В АРЕНДУ В ХАБАРОВСКОМ КРАЕ ДЛЯ ЦЕЛЕЙ НЕДРОПОЛЬЗОВАНИЯ

Л.Н. Липина,

Тихоокеанский государственный университет, г. Хабаровск, Россия

**Аннотация:** Рассмотрены вопросы предоставления лесных участков в пределах лесного фонда в аренду для недропользования. Приобретение прав на земельный участок – неотъемлемая часть деятельности по разведке и добыче полезных ископаемых. Отношения в области недропользования, связанные с земельными участками, достаточно урегулированы природоресурсным законодательством, однако требуют детального рассмотрения в отношении оформления прав на лесные участки из земель лесного фонда. Выявлены основные проблемы, которые возникают при использовании земель лесного фонда для целей геологического изучения, разведки и добычи полезных ископаемых. Проанализировано действующее законодательство для целей недропользования на территории Хабаровского края. С учетом проведенного анализа предоставления лесных участков в пределах лесного фонда в аренду в Хабаровском крае для целей недропользования предложены возможные пути решения выявленных проблем путем интеграции данных из Государственного лесного реестра в Единый государственный реестр недвижимости.

**Ключевые слова:** : Хабаровский край, недропользование, лесной фонд, лесной участок, аренда лесного участка.

**Для цитирования:** Липина Л. Н. Правовые аспекты предоставления лесных участков в пределах лесного фонда в аренду в Хабаровском крае для целей недропользования // Маркшейдерия и недропользование. 2024. №1. С. 4-9. DOI: 10.56195/20793332\_2024\_1\_4\_9.

## LEGAL ASPECTS OF PROVISION OF FOREST PLOTS WITHIN THE FOREST FUND FOR LEASE IN Khabarovsk Krai for purposes subsoil use

L.N. Lipina,

Pacific State University, Khabarovsk, Russia

**Abstract:** The article deals with the issues of granting forest plots within the forest fund for rent for subsoil use. The acquisition of rights to a land plot is an integral part of the exploration and production of minerals. Relations in the field of subsoil use related to land plots are sufficiently regulated by natural resource legislation, however, they require detailed consideration in relation to registration of rights to forest plots from forest fund lands. The main problems that arise when using forest fund lands for the purposes of geological study, exploration and mining are identified. The current legislation for the purposes of subsoil use on the territory of the Khabarovsk Territory is analyzed. Taking into account the analysis of the provision of forest plots within the forest fund for rent in the Khabarovsk Territory for the purposes of subsoil use, possible ways to solve the identified problems are proposed by integrating data from the state forest registry into the unified state register of real estate (EGRN).

**Keywords:** Khabarovsk Territory, subsoil use, forest fund, forest area, lease of a forest area.

**For citation:** Lipina L.N. Legal aspects of provision of forest plots within the forest fund for lease in Khabarovsk krai for purposes subsoil use. Surveying and subsoil use. 2024;(1):4-9.(In Russ.). DOI: 10.56195/20793332\_2024\_1\_4\_9.

Повышение эффективности управления земельными ресурсами имеет важное значение для регионов, где особую значимость представляют земли лесного фонда. Лесной фонд занимает большую часть территории нашей страны, планирование и учет лесных земель обусловлен эффективным управлением этими землями и рациональным использованием природных ресурсов. На территории Хабаровского края земли лесного фонда составляют 93,6 % от всех земель края, или 73 706,5 тыс. га (по состоянию

на 1 января 2021 г.). Из них 34 672,4 тыс. га – эксплуатационные леса, 29 722,4 тыс. га – резервные, остальные – относятся к защитным лесам. Совершенствование правового регулирования при недропользовании в наше время имеет важное значение. Приобретение прав на земельный участок – неотъемлемая часть деятельности по разведке и добыче полезных ископаемых. Отношения в области недропользования, связанные с земельными участками, достаточно урегулированы природоресурсным законодательством [1-4],

однако требуют детального рассмотрения в отношении оформления прав на лесные участки из земель лесного фонда.

#### Методология и методы исследования

Теоретической и методологической основой исследования являются законы РФ, указы президента РФ и постановления Правительства России, нормативные документы Хабаровского края, труды зарубежных и отечественных ученых в области правового и экономического регулирования земельных отношений, управления земельными ресурсами и объектами недвижимости. В работе использованы общенаучные методы исследования.

В настоящее время одним из основных факторов, сдерживающих геологическое изучение недр, разработку месторождений полезных ископаемых, строительство подземных сооружений и иное пользование недрами, является длительное оформление необходимых земельных участков, занимающее, как правило, до двух лет. В некоторых случаях получение необходимых земельных участков для целей недропользования практически невозможно, в то же время геологическое изучение недр по определению является государственным и имеет общегосударственное значение.

Результаты исследований и их обсуждение. Земельный участок, находящийся в государственной или муниципальной собственности и необходимый для ведения работ, связанных с использованием недрами, предоставляется пользователю недр после получения специального государственного разрешения в виде лицензии, которая является документом, удостоверяющим право ее владельца на пользование участком недр в определенных границах. Форма и порядок оформления лицензии утверждены Приказом Минприроды РФ № 782, Приказом Федерального агентства по недропользованию № 13 от 25 октября 2021 г. «Об установлении формы лицензии на пользование недрами и порядка оформления, государственной регистрации и выдачи лицензий на пользование недрами» [5] в течение установленного срока и при соблюдении владельцем заранее оговоренных условий.

Законом РФ «О недрах» допускается предоставление лицензий на несколько видов пользования недрами (одновременно для проведения работ по геологическому изучению, разведке и добыче полезных ископаемых). Участок недр предоставляется в пользование на определенный срок. Для геологического изучения недр — до 5 лет, или на срок до 7 лет при осуществлении геологического изучения участка недр, расположенного полностью или частично в границах Хабаровского края, или на срок до 10 лет при осуществлении геологического изучения участка недр внутренних морских вод, территориального моря или континентального шельфа Российской Федерации. Горнодобывающие предприятия пользуются своим правом на проведение геологического изучения на участке недр для дальнейшей разведки [6]. Согласно статистике, количество выданных разрешений на осуществление геологического изучения недр с каждым годом увеличивается. По сравнению с показателями 2019 года количество выдачи разрешений увеличилось в два раза.

После проведения геологического изучения на участке недр принимается решение о дальнейшем освоении месторождения и подготовке материалов для разведки и (или) добыче полезных ископаемых, в том числе об оформлении пра-

ва аренды лесного участка в соответствии с Административным регламентом, утвержденным постановлением губернатора Хабаровского края от 30 августа 2016 г. № 94 [7, 8].

Получить участок в аренду можно двумя способами: либо через участие в аукционе (наиболее распространенный); либо без участия в аукционе (регламентируется ч. 3 ст. 73.1 и ч. 1 ст. 74 ЛК).

В аренду участок леса физическому или юридическому лицу можно получить после выигрыша аукциона [9]. Условия, прописанные в правилах аукциона, должны оставаться неизменными в договоре, и никаких требований заинтересованных сторон по их корректировке законодательство не признает. Не обязательна организация аукциона в тех случаях, когда лесной участок будет использоваться для проведения геологических и геодезических изысканий. Согласно статье 72 Лесного кодекса, предоставляться в аренду могут только лесные участки, находящиеся в государственной или муниципальной собственности и прошедшие кадастровый учет. Государственный кадастровый учет — это внесение сведений в Единый государственный реестр недвижимости (ЕГРН) о земельных участках, зданиях, сооружениях, помещениях, об объектах незавершенного строительства, о единых недвижимых комплексах и об иных объектах, которые прочно связаны с землей.

В соответствии со статьей 4.2 Федерального закона от 4 декабря 2006 г. № 201-ФЗ «О введении в действие Лесного кодекса Российской Федерации», в целях использования лесов для выполнения работ по геологическому изучению недр, разработки месторождений полезных ископаемых, размещения линейных объектов и сооружений, являющихся их неотъемлемой частью, разрешается предоставление юридическим лицам частей лесных участков в составе земель лесного фонда в порядке, установленном для предоставления лесных участков. Не требуется осуществлять государственный кадастровый учет частей лесных участков, арендуемых для указанных целей на срок до одного года [10, 11].

Аренда лесного участка без аукциона для целей недропользования возможна в случае, если лесной участок сформирован, ограничивается подачей заявления в орган власти о том, что вы планируете заключить договор аренды без проведения аукциона. Если же участок не сформирован, необходимо подать заявление о предварительном согласовании предоставления лесного участка в аренду без проведения аукциона.

Вместе с заявлением нужно подать проект документации лесного участка или проект межевания (если интересуют участки для размещения линейных объектов) и акты натурно-технического осмотра лесных участков в соответствии с Приказом МПР РФ от 24 ноября 2004 г. № 701 «Об утверждении Порядка подготовки и утверждения акта натурного технического обследования участка лесного фонда». Основываясь на предварительном согласовании, необходимо провести межевание и внести сведения в ЕГРН, а затем подать в компетентный орган заявление о предоставлении участка в аренду без проведения аукциона [12].

Таким образом, если лесной участок не сформирован, оформление такого участка потребует от потенциального арендодателя временных и финансовых затрат. По своей сути лесной участок прежде всего представляет собой участок

земли (земельный участок), имеющий важную особенность – расположение на этом участке леса как особого и ценного природного ресурса [13, 14]. В ряде случаев лесной участок может представлять из себя лесной массив, в состав которого входят эксплуатационные леса. Данная категория лесов предполагает ведение определенной хозяйственной деятельности при согласовании с представителями местного отделения Гослесфонда.

К отношениям по использованию, охране, защите и воспроизводству лесов в случаях, предусмотренных лесным законодательством, применяются нормы гражданского, земельного, экологического права. В ходе лесопользования зачастую возникают различные управленческие отношения, связанные с планированием, осуществлением государственного лесного контроля и надзора, а также финансовые отношения, обусловленные платностью лесопользования. Лесничество и лесопарки являются основными территориальными единицами управления в области использования, охраны, защиты и воспроизводства лесов и располагаются на землях лесного фонда, обороны и безопасности, населенных пунктов и землях особо охраняемых природных территорий. Территории лесничеств и лесопарков разделяются на участковые лесничества и лесные кварталы с закреплением на местности их границ.

Органам государственной власти субъектов Российской Федерации передано право на разработку и утверждение лесных планов субъектов Российской Федерации, лесохозяйственных регламентов. Перечень лесничеств, входящих в их состав участковых лесничеств, устанавливается приказом Рослесхоза и учитывается при написании лесохозяйственных регламентов и лесных планов субъектов РФ. Например, территория Оборского лесничества района им. Лазо Хабаровского края расположена в южной части Хабаровского края и составляет 326 721 га. В состав Оборского лесничества района входят участковые лесничества: Ситинское, Оборское, Дурминское, Сидиминское, Верхне-Немтинское. Распределение лесов лесничества по лесорастительным зонам и лесным районам приведено в *таблице 1*.

Разделение лесов по целевому назначению на защитные и эксплуатационные леса и категориям защитных лесов произведено в соответствии с Лесным кодексом Российской Федерации и приказом Рослесхоза от 18 декабря 2009 г. № 517 «Об отнесении лесов на территории Хабаровского края к ценным лесам, эксплуатационным лесам, резервным лесам

и установлении их границ», в редакции приказа управления лесами правительства Хабаровского края от 28 февраля 2020 г. № 371П и показаны на примере Оборского лесничества в *таблице 2*.

Таблица 2 / Table 2

**Распределение лесов по целевому назначению и категориям защитных лесов по Оборскому лесничеству /  
Distribution of forests by purpose and categories of protective forests growth zones and forest areas**

| Целевое назначение лесов                                                                                                                                                                                    | Площадь, га |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|
| Защитные леса, всего                                                                                                                                                                                        | 17 087      |
| Леса, выполняющие функции защиты природных и иных объектов, всего                                                                                                                                           | 4 291       |
| В том числе защитные полосы лесов, расположенные вдоль ж/д путей общего пользования, федеральных дорог общего пользования, автомобильных дорог общего пользования, находящихся в собственности субъектов РФ | 4 291       |
| В том числе ценные леса, всего                                                                                                                                                                              | 12 796      |
| В том числе орехово-промысловые зоны                                                                                                                                                                        | 5 281       |
| Нерестовоохранные полосы лесов                                                                                                                                                                              | 5 715       |
| Эксплуатационные леса                                                                                                                                                                                       | 309 634     |
| Итого по Оборскому лесничеству                                                                                                                                                                              | 326 721     |

В лесничестве преобладают эксплуатационные леса, в которых, согласно законодательству, разрешается рубка леса в производственных целях. Однако не все проводимые работы по геологическому изучению недр и разработке месторождений полезных ископаемых располагаются на землях, где целевое назначение лесов соответствует законодательству, при котором разрешается рубка леса в производственных целях.

На лесных участках, предоставленных в аренду для выполнения работ по геологическому изучению недр, для разработки месторождений полезных ископаемых, рубка лесных насаждений осуществляется в соответствии с проектом освоения лесов. Целевое назначение лесов определяется в соответствии с правовым режимом, действующим согласно лесохозяйственному регламенту на территории лесничества на момент проектирования лесного участка [15]. Количественные и качественные характеристики на проектируемый

Таблица 1 / Table 1

**Распределение лесов лесничества по лесорастительным зонам и лесным районам Оборского лесничества  
Distribution of forest district forests by forest growth zones and forest areas**

| Участковое лесничество                                       | Лесорастительная зона              | Лесной район                                  | Зона лесозащитного районирования                                | Зона лесосеменного районирования                      | Площадь, га |
|--------------------------------------------------------------|------------------------------------|-----------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|-------------|
| Ситинское                                                    | Зона хвойно-широколиственных лесов | Приамурско-Приморский хвойно-широколиственный | Нижнеамурский район, средней степени лесопато-логической угрозы | 20 - по сосне;<br>13 - по ели,<br>15 - по лиственнице | 50 771      |
| Оборское                                                     |                                    |                                               |                                                                 |                                                       | 80 653      |
| Дурминское                                                   |                                    |                                               |                                                                 |                                                       | 70 061      |
| Сидиминское                                                  |                                    |                                               |                                                                 |                                                       | 63 043      |
| Верхне-Немтинское                                            |                                    |                                               |                                                                 |                                                       | 62 193      |
| Итого по лесорастительной зоне, лесному району и лесничеству |                                    |                                               |                                                                 |                                                       | 326 721     |

участок основываются на данных из Государственного лесного реестра.

Государственная регистрация договора аренды может быть осуществлена только после присвоения кадастрового номера сформированному для предоставления в аренду лесному участку и государственной регистрации права собственности РФ на вновь образованные земельные участки, а срок договора аренды земельного участка зависит от срока действия лицензии и никак не может быть меньше него. Государственный кадастровый учет (ГКУ) следует отличать от государственной регистрации прав. В первом случае регистрируется объект, а во втором — право собственности или владения им конкретными лицами.

Практика формирования и постановки на ГКУ лесных участков показывает, что в настоящее время назрела необходимость проработки вопроса создания механизма эффективного управления земельными ресурсами в целях устранения противоречий между государственными информационными ресурсами, содержащими сведения о земле и земельных участках, — ЕГРН (ответственным федеральным органом исполнительной власти которого является Росреестр) и Государственным лесным реестром (ответственным федеральным органом исполнительной власти которого является Рослесхоз).

Для регистрации договора аренды необходимы план участка, учетная запись в Государственном лесном реестре, представленный на государственную регистрацию договор аренды, который содержит необходимые данные:

- 1) подробные сведения о лесном участке;
- 2) срок договора;
- 3) виды использования лесов, расположенных на лесном участке, предоставляемом в аренду;
- 4) размер арендной платы, условия и сроки ее внесения;
- 5) объемы рубок лесных насаждений и изъятия других лесных ресурсов, позволяющие определенно установить лесной участок, подлежащий передаче в аренду, но не допускается требовать от заявителя согласования проектной документации лесного участка, не предусмотренного Лесным кодексом. Согласно ч. 7 ст. 73.1 Лесного кодекса типовые договоры аренды лесных участков, в том числе предусматрива-

ющие осуществление мероприятий по охране, защите и воспроизводству лесов, утверждаются уполномоченным федеральным органом исполнительной власти для каждого вида использования лесов, предусмотренного ч. 1 ст. 25 Лесного кодекса. Типовой договор аренды лесного участка (лесных участков) для осуществления геологического изучения недр, разведки и добычи полезных ископаемых утвержден в соответствии с Приказом Министерства природных ресурсов и экологии РФ от 30 июля 2020 г. № 542 «Об утверждении типовых договоров аренды лесных участков» [16] (с изменениями и дополнениями от 9 августа 2021 г.). Для эффективного управления земельными ресурсами необходимо обеспечивать тесное взаимодействие между уполномоченными органами государственной власти и организациями, занятыми наблюдением за лесными насаждениями. Основная цель взаимодействия — обмен информацией о состоянии лесов, мероприятиях по их охране и восстановлению при формировании земельного участка.

### Заключение

Для дальнейшего решения вопроса формирования лесных участков на праве аренды этап государственного кадастрового учета лесного участка предлагается проводить путем интеграции данных ГЛР в ЕГРН, что позволит беспрепятственно осуществлять государственный кадастровый учет лесных участков. Интеграция данных из Государственного лесного реестра в ЕГРН позволит эффективнее планировать развитие территорий с учетом местоположения границ земель лесного фонда, что не только юридически защищает границы лесничеств и отделяет земли лесного фонда от земель иных категорий, но и выявляет нарушения имущественных прав в области лесных отношений.

Улучшение межведомственного взаимодействия между Рослесхозом (территориальными органами Рослесхоза) и лесоуправлением возможно через создание более прозрачной системы управления лесами, установление единых стандартов и методов работы, обмен информацией о состоянии лесов, мероприятиях по их охране и восстановлению при формировании земельного участка. Перечисленные мероприятия, несомненно, положительно отразятся при предоставлении лесных участков для целей недропользования. ■

### ЛИТЕРАТУРА

1. Конституция Российской Федерации: принята 12 декабря 1993 года в соответствии с Указом Президента Российской Федерации от 15 октября 1993 года № 1633 «О проведении всенародного голосования по проекту Конституции Российской Федерации» (с изменениями, одобренными в ходе общероссийского голосования 1 июля 2020 года) [Электронный ресурс] // КонсультантПлюс. - URL: <http://www.constitution.ru/> (дата обращения: 30.04.2023).
2. Лесной кодекс Российской Федерации от 04.12.2006 № 200-ФЗ (с изменениями на 29 декабря 2022 года) [Электронный ресурс] // КонсультантПлюс. - URL: <http://www.consultant.ru/document> (дата обращения: 30.04.2023).
3. Земельный кодекс Российской Федерации от 25.10.2001 № 136-ФЗ (с изменениями на 28 апреля 2023 года) [Электронный ресурс] // КонсультантПлюс. - URL: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_33773/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_33773/) (дата обращения: 30.04.2023).
4. О недрах: Федеральный закон от 21.02.1992 № 2395-1 (в редакции Федерального закона от 3 марта 1995 года № 27-ФЗ) (с изменениями на 29 декабря 2022 года) [Электронный ресурс] // КонсультантПлюс. - URL: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_343/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_343/) (дата обращения: 30.04.2023).
5. Об установлении формы лицензии на пользование недрами и порядка оформления, государственной регистрации и выдачи лицензий на пользование недрами: Приказ Минприроды РФ от 25.10.2021 № 782, Роснедр № 13 (ред. от 11.04.2023) [Электронный ресурс] // КонсультантПлюс. - URL: [https://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_403324/](https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_403324/) (дата обращения: 09.01.2024).
6. Mirzekhanov, G. From placer deposits to technogenic mineral formations: resource and historical perspective (a study of Amur region) / G. Mirzekhanov, Z. Mirzekhanova // E3S Web of Conferences: 8, Khabarovsk, 08-10 September 2020. - Khabarovsk, 2020. - P. 01032.

7. Об утверждении Административного регламента предоставления Правительством Хабаровского края государственной услуги по предоставлению образованных лесных участков из состава земель лесного фонда в аренду без проведения торгов: Постановление Губернатора Хабаровского края от 30.08.2016 № 94 [Электронный ресурс] // Официальное опубликование правовых актов. - URL: <http://publication.pravo.gov.ru/document/2700201608310003> (дата обращения: 09.01.2024).
8. Липина, Л.Н. Некоторые проблемы земельного надзора в горнопромышленных районах Хабаровского края / Л.Н. Липина // Проблемы недропользования. - 2019. - Т. 2, № 21. - С. 151-155. - doi: 10.25635/2313-1586.2019.02.151.
9. Землякова, Г.Л. Оптимизация системы государственных услуг в сфере земельных отношений / Г.Л. Землякова // Имущественные отношения в Российской Федерации. - 2022. - Т. 3, № 246. - С. 16-28. - doi: 10.24412/2072-4098-2022-3246-16-28.
10. О введении в действие Лесного кодекса Российской Федерации: Федеральный закон от 04.12.2006 № 201-ФЗ [Электронный ресурс] // КонсультантПлюс. - URL: [https://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_64300/](https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_64300/) (дата обращения: 09.01.2024).
11. О государственной регистрации недвижимости: Федеральный закон от 13.07.2015 № 218-ФЗ (ред. от 14.04.2023) (с изм. и доп., вступившим в силу от 28.04.2023) [Электронный ресурс] // КонсультантПлюс. - URL: [https://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_182661/](https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_182661/) (дата обращения: 09.01.2024).
12. О Федеральной службе государственной регистрации, кадастра и картографии: Постановление Правительства РФ от 01.06.2009 № 457 (с изменениями на 01.01.2023) [Электронный ресурс] // КонсультантПлюс. - URL: [https://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_88583/](https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_88583/) (дата обращения: 09.01.2024).
13. Марков, В.А. Особенности предоставления лесных участков в аренду без проведения торгов в аренду для целей недропользования в Хабаровском крае / В.А. Марков, А.В. Вдовенко // Вестник Приамурского государственного университета им. Шолом-Алейхема. - 2019. - № 4 (37). - С. 77-84.
14. Управление земельными ресурсами: учебное пособие / П. В. Кухтин, А. А. Левов, В. Ю. Морозов, Н. В. Хованова. - СПб.: Питер, 2006. - 448 с.
15. Кольцова, А.А. Тенденции формирования территорий опережающего развития в рамках концепции зеленой экономики (на примере Хабаровского края) / А.А. Кольцова, З.Г. Мирзеханова // Национальные интересы: приоритеты и безопасность. - 2022. - Т. 18, № 9 (414). - С. 1778-1803.
16. Об утверждении типовых договоров аренды лесных участков (с изменениями на 23 марта 2023 года) [Электронный ресурс]. - URL: <http://docs.cntd.ru/document/565780461/> (дата обращения: 30.09.2023).

## REFERENCES

1. The Constitution of the Russian Federation: adopted on December 12, 1993 in accordance with the Decree of the President of the Russian Federation of October 15, 1993 № 1633 «On holding a nationwide vote on the draft Constitution of the Russian Federation» (with amendments approved during the all-Russian vote July 1, 2020). *ConsultantPlus*. Available from <http://www.constitution.ru/>. (In Russ).
2. Forest Code of the Russian Federation dated December 4, 2006 № 200-FZ (as amended on December 29, 2022). *ConsultantPlus*. Available from: <http://www.consultant.ru/document>. (In Russ).
3. Land Code of the Russian Federation dated October 25, 2001 № 136-FZ (as amended on April 28, 2023). *ConsultantPlus*. Available from: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_33773/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_33773/). (In Russ).
4. Federal Law «On Subsoil» № 2395-1 of February 21, 1992 (as amended by Federal Law No. 27-FZ of March 3, 1995) (as amended as of December 29, 2022). *ConsultantPlus*. Available from: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_343/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_343/). (In Russ).
5. Order of the Ministry of Natural Resources of the Russian Federation of October 25, 2021 № 782 № 13 «On establishing the form of a license for the use of subsoil and the procedure for issuing, state registration and issuance of licenses for the use of subsoil». *ConsultantPlus*. Available from: [https://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_403324/](https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_403324/) (In Russ).
6. Mirzekhanov G, Mirzekhanova Z. From placer deposits to technogenic mineral formations: resource and historical perspective (a study of Amur region). E3S Web of Conferences: 8, Khabarovsk, 08-10 September 2020. Khabarovsk, 2020.
7. Decree of the Governor of the Khabarovsk Territory dated August 30, 2016 № 94 «On approval of the Administrative Regulations for the provision by the Government of the Khabarovsk Territory of a state service for the provision of formed forest plots from the composition of the forest fund lands for rent without bidding». Available from: <http://publication.pravo.gov.ru/document/2700201608310003> (In Russ).
8. Lipina LN. Some problems of land supervision in the mining areas of the Khabarovsk Territory. Problems of subsoil use. 2019;2(21):151-155. doi: 10.25635/2313-1586.2019.02.151. (In Russ).
9. Zemlyakov G.L. Optimization of the system of public services in the sphere of land relations. *Property relations in the Russian Federation*. 2022;3(246):16-28. - doi: 10.24412/2072-4098-2022-3246-16-28. (In Russ).
10. Federal Law «On the Enactment of the Forest Code of the Russian Federation» dated 04.12.2006 № 201-FZ. *ConsultantPlus*. Available from: [https://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_64300/](https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_64300/) (In Russ).
11. Federal Law № 218-FZ of July 13, 2015 (as amended on April 14, 2023) «On State Registration of Real Estate» (as amended and supplemented, which entered into force on April 28, 2023). *ConsultantPlus*. Available from: [https://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_182661/](https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_182661/) (In Russ).
12. Decree of the Government of the Russian Federation № 457 of June 1, 2009 «On the Federal Service for State Registration, Cadastre and Cartography» (as amended on January 1, 2023). *ConsultantPlus*. Available from: [https://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_88583/](https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_88583/) (In Russ).
13. Markov V.A, Vdovenko A.V. Peculiarities of granting forest plots for lease without tendering for lease for the purposes of subsoil use in the Khabarovsk Territory. *Bulletin of the Amur State University Sholom Aleichem*. 2019;4(37):77-84 (In Russ).
14. Kukhtin P.V, Levov A.A, Morozov V.Yu. et al. Land management: textbook. St. Petersburg: Peter, 2006. (In Russ).

15. Koltsova A.A., Mirzekhanova Z.G. Trends in the formation of priority development territories within the framework of the concept of green economy (on the example of the Khabarovsk Territory). *National interests: priorities and security*. 2022;18(9):1778-1803. (In Russ).
16. On approval of standard lease agreements for forest plots (as amended as of March 23, 2023). - Available from: <http://docs.cntd.ru/document/565780461/> (In Russ).

## ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

**Липина Любовь Николаевна:**

кандидат технических наук,

доцент,

Тихоокеанский государственный университет,

г. Хабаровск, Хабаровский край, Россия,

e-mail: [geo-lipina@rambler.ru](mailto:geo-lipina@rambler.ru)

## INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

**Lipina Lyubov Nikolaevna:**

candidate of technical sciences,

associate professor,

Pacific State University,

Khabarovsk, Khabarovsk Territory, Russia,

e-mail: [geo-lipina@rambler.ru](mailto:geo-lipina@rambler.ru)



# САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ



## Информируем Вас

Санкт-Петербургский горный университет. Основан в 1773 году. Первое высшее техническое учебное заведение в России.

Факультеты:

- ◆ Геологоразведочный факультет,
- ◆ Горный факультет,
- ◆ Механико-машиностроительный факультет,
- ◆ Нефтегазовый факультет,
- ◆ Строительный факультет,
- ◆ Факультет переработки минерального сырья,
- ◆ Факультет фундаментальных и гуманитарных дисциплин,
- ◆ Экономический факультет,
- ◆ Энергетический факультет,
- ◆ Факультет аспирантуры и докторантуры.

Контакты : Санкт-Петербург, В.О., наб. Лейтенанта Шмидта, д. 45, Главный пост.  
Тел.: 800 550 14 34; (812) 328 8201; (812) 328 89 02 e-mail: [priem@mgri.ru](mailto:priem@mgri.ru), <https://www.mgri.ru/commission/poryadok-postupleniya/>

## WWW.N-GN.RU

# РАСКРЫТИЕ ВЗАИМОСВЯЗИ МЕЖДУ СВОЙСТВАМИ МОРСКОЙ ВОДЫ И ДОБЫЧЕЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ СО ДНА АРКТИЧЕСКОГО ШЕЛЬФА

Я.Е. Линьков, В.Е. Кисляков, А.К. Кирсанов, П.В. Катышев,  
ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет», г. Красноярск, Россия

**Аннотация:** На фоне наличия огромных запасов полезных ископаемых, сосредоточенных в арктической зоне, важно не упустить из виду месторождения, скрытые под поверхностью воды, ведь истинный ресурсный потенциал Крайнего Севера распространяется и на арктический шельф. В этой связи актуальной становится задача по изучению сложной взаимосвязи между свойствами морской воды и добычей твердых полезных ископаемых со дна арктического шельфа. В данной работе рассмотрены закономерности изменения температуры и солености воды в северных морях России, а также представлены результаты комплексного анализа этих параметров на различных глубинах. В исследовании подчеркивается практическая значимость полученных результатов для развития технологий добычи твердых полезных ископаемых подводным способом. Результаты исследования могут быть использованы научным сообществом в качестве информационного источника.

**Ключевые слова:** арктический шельф, подводная добыча, добыча полезных ископаемых, свойства морской воды, температура морской воды, соленость морской воды.

**Для цитирования:** Линьков Я. Е., Кисляков В. Е., Кирсанов А. К., Катышев П. В. Раскрытие взаимосвязи между свойствами морской воды и добычей полезных ископаемых со дна Арктического шельфа // Маркшейдерия и недропользование. 2024. №1. С. 10-16. DOI: 10.56195/20793332\_2024\_1\_10\_16.

## UNCOVERING THE RELATIONSHIP BETWEEN SEAWATER PROPERTIES AND MINERAL EXTRACTION FROM THE ARCTIC SHELF FLOOR

Ya.E. Linkov, V.E. Kislyakov, A.K. Kirsanov, P.V. Katyshev,  
Siberian Federal University, Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education, Krasnoyarsk, Russia

**Abstract:** Against the background of huge mineral reserves concentrated in the Arctic zone, it is important not to overlook the deposits hidden beneath the water surface, because the true resource potential of the Far North extends to the Arctic shelf. In this regard, the task of studying the complex relationship between the properties of seawater and the extraction of solid minerals from the bottom of the Arctic shelf becomes relevant. This paper considers the regularities of changes in water temperature and salinity in the northern seas of Russia and presents the results of complex analysis of these parameters at different depths. The study emphasizes the practical significance of the results obtained for the development of technologies for the extraction of solid minerals underwater. The results of the study can be used by the scientific community as an information source.

**Keywords:** arctic shelf, underwater mining, mineral extraction, seawater properties, seawater temperature, seawater salinity.

**For citation:** Linkov Ya.E., Kislyakov V.E., Kirsanov A.K., Katyshev P.V. Uncovering the relationship between seawater properties and mineral extraction from the Arctic shelf floor. Surveying and subsoil use. 2024;(1):10-16.(In Russ.). DOI: 10.56195/20793332\_2024\_1\_10\_16.

В последние десятилетия район Крайнего Севера привлекает повышенное внимание не только ледяными ландшафтами или редким животным миром, но и скрывающимися под морской толщей воды полезными ископаемыми, имеющими важное экономическое и стратегическое значение для любого государства [1-6]. Добыча этих ценных ресурсов со дна арктического шельфа сопряжена с трудностями, основные из которых связаны именно со свойствами самой воды — ее температурой и соленостью.

Влияние указанных свойств морской воды распространяется на инженерные, экологические и, как следствие, эконо-

мические аспекты подводной добычи [7, 8]. Данные параметры можно охарактеризовать как динамические переменные, способные в долгосрочной перспективе существенно влиять на технологию добычи твердых полезных ископаемых со дна континентального шельфа.

Таким образом, в данной работе авторами рассмотрены взаимосвязи, подчеркивающие важность учета этих свойств воды при разработке подводных месторождений.

**Цель исследования:** изучение и конкретизация взаимосвязи свойств морской воды (в частности, температуры и солености) с процессами добычи твердых полезных ископаемых.

мых со дна арктического шельфа. Комплексный анализ данных свойств позволит создать научную основу для понимания того, как различные вариации свойств морской воды могут влиять на технологические аспекты добычи твердых полезных ископаемых в Арктическом регионе.

#### Методология

Исследование проводилось на основе данных межведомственной федеральной системы «Единая государственная система информации об обстановке в мировом океане» (ЕСИМО), представленных на одноименном портале. Операторами ЕСИМО являются 17 центров и 20 поставщиков информации системы, представляющие МИД России, МЧС России, Минобороны России, Минобрнауки России, Минприроды России, Росгидромет, Минпромторг России, Минтранс России, Минэнерго России, Роскосмос, Росрыболовство и Российскую академию наук.

На рассматриваемом портале были проанализированы материалы шести электронных атласов морей Арктической зоны омывающих берега Российской Федерации: «Климат морей России и ключевых районов Мирового океана. Белое море»; «Климат морей России и ключевых районов Мирового океана. Баренцево море»; «Климат морей России и ключевых районов Мирового океана. Карское море»; «Климат морей России и ключевых районов Мирового океана. море Лаптевых»; «Климат морей России и ключевых районов Мирового океана. Восточно-Сибирское море»; «Климат морей России и ключевых районов Мирового океана. Чукотское море» [9–14]. Эти материалы представляют собой режимно-справочные пособия, содержащие исчерпывающую информацию о климатических характеристиках морской среды. При составлении атласов использовались оригинальные отечественные и зарубежные данные гидрометеорологических наблюдений, накопленных в Госфонде ГУ «ВНИИГМИ-МЦД» за многолетний период. Кроме того, в атласы включены данные, полученные в рамках проектов 4-го направления ЕСИМО ФЦП «Мировой океан» за 1999–2006 годы.

Непосредственно авторами проанализированы результаты расчетов климатических характеристик морской среды открытого моря с приведением карт расчетных гидрометеорологических и океанографических полей на поверхности моря и на отдельных горизонтах наблюдений, где в табличном виде по всем одноградусным квадратам и станциям вековых разрезов приводится статистика среднемесячных экстремальных значений параметров на стандартных горизонтах.

Для получения статистических характеристик изменчивости гидрометеорологического режима моря, помещаемых в атлас, использовались стандартные методики и алгоритмы, применяемые в практике климатических расчетов.

В материалы атласов включен комплект таблиц со статистическими расчетами климатических характеристик морской среды морей.

По содержанию эти таблицы делятся на две категории:

1. Таблицы основных статистик (средние и экстремальные значения параметров за многолетние месяцы и годы с указанием дат экстремумов и квартильные оценки функции распределения).

2. Таблицы повторяемости значений параметров.

В заголовках всех таблиц указаны периоды и общее количество наблюдений, на основе которых проведены статистические расчеты.

Таблицы средних, экстремальных значений параметров и квартильных оценок функции распределения за многолетние месяцы и годы выполнены:

- ✦ для береговых ГМС (гидрометеостанций) расчет таблиц проводился по месячным рядам четырех срочных прибрежных данных, накопленных за весь период наблюдений;
- ✦ для океанографических станций вековых разрезов расчеты велись по рядам данных, сформированным по наблюдениям в постоянных точках морей за весь временной период;
- ✦ для акватории открытого моря основные статистические характеристики вычислялись по рядам данных глубоководных наблюдений, накопленным по одноградусным квадратам Марсдена за весь период наблюдений.

Непосредственные исследования выполнены на основе зависимостей средних арифметических значений, которые определялись стандартным образом как сумма всех значений, деленная на количество значений.

Схема расчета среднего для атласа: определение средне-суточных значений по срочным данным — вычисление средне-месячных значений по среднесуточным данным — расчет многолетних среднемесячных значений по среднемесячным данным — определение среднегодовых значений по средне-месячным данным — расчет значений среднемноголетнего года по среднегодовым данным.

#### Результаты и обсуждение

При планировании отработки месторождений со дна арктического шельфа учет таких свойств морской воды, как соленость и температура, является одним из основополагающих. Данные факторы окружающей среды непосредственно влияют на используемые материалы конструкций для подводной инфраструктуры и производительность добычного оборудования. Так, например, рассматриваемые свойства могут оказывать существенное влияние на прочность материалов — коррозионную стойкость и эффективность процессов теплообмена, что в конечном итоге может привести к частичному или полному разрушению подводных конструкций и аппаратов.

Ниже рассмотрены зависимости, полученные в результате обработки данных некоторых климатических характеристиках морской воды: температуры и солености. Этот обширный массив данных является основой нашего анализа и охватывает климатические характеристики Белого, Баренцева, Карского, Лаптевых, Восточно-Сибирского и Чукотского морей. Опираясь на этот обширный массив информации, выявили закономерности, тенденции и зависимости, которые могут иметь далеко идущие последствия для понимания арктической морской среды.

#### Температура морской воды

Температура морской воды — параметр, изменяющийся в зависимости от географического расположения, времени года и глубины, оказывающий значительное влияние на поведение морских обитателей, процессы теплообмена и множество океанографических явлений [15, 16].

В контексте потенциальной отработки месторождений полезных ископаемых со дна арктического шельфа температура воды может вызывать следующие сложности:

- ✧ образование ледяного покрова на поверхности акватории, который в свою очередь будет препятствовать судоходству;
- ✧ снижение эффективности и сбои в работе гидравлических частей управления подводного оборудования;
- ✧ замедление естественных процессов рассеивания взвеси, что может оказать влияние на местную экосистему.

Взаимосвязь между температурой морской воды и глубиной является одним из основополагающих принципов океанографии.

На рисунке 1 отображена динамика изменения температуры в зависимости от глубины ее измерения.

Анализируя полученные графики, можно заметить, что в мелководных районах сезонные колебания температуры более выражены, что обусловлено непосредственным влиянием поверхностных условий, включая солнечную радиацию и температуру воздуха (рис. 1 а, б, в). По мере опускания на большие глубины очевидным становится буферный эффект обширной толщи воды, выступающей в качестве тепло-

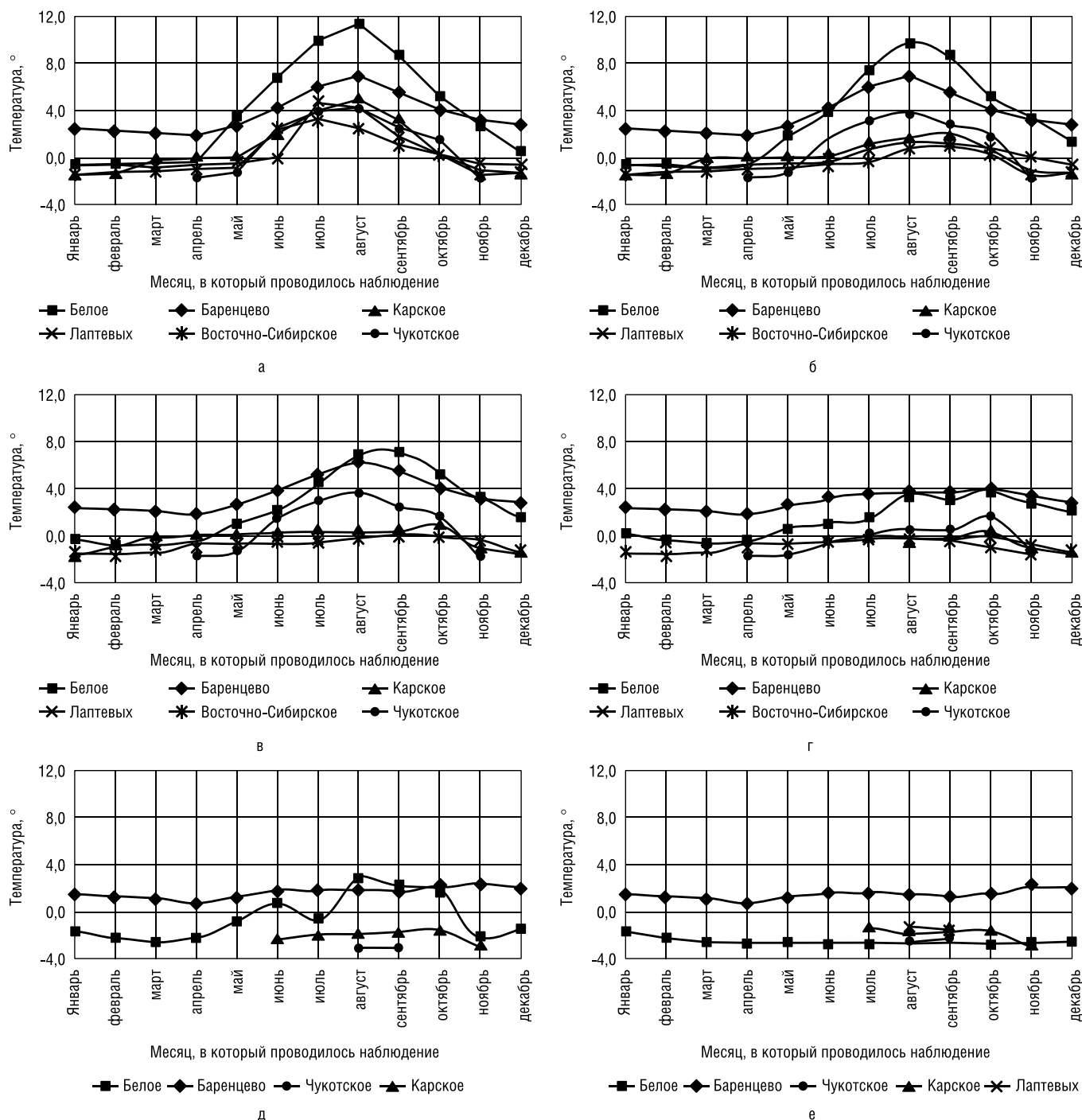


Рис. 1. Зависимость температуры морской воды от ее глубины: а - горизонт изменения температуры 0 м; б - горизонт изменения температуры 10 м; в - горизонт изменения температуры 20 м; г - горизонт изменения температуры 50 м; д - горизонт изменения температуры 100 м; е - горизонт изменения температуры 150 м

Fig. 1. Dependence of seawater temperature on its depth: а - horizon of temperature change 0 m;

б - horizon of temperature change 10 m; в - horizon of temperature change 20 m; г - horizon of temperature change 50 m; д - horizon of temperature change 100 m; е - horizon of temperature change 150 m

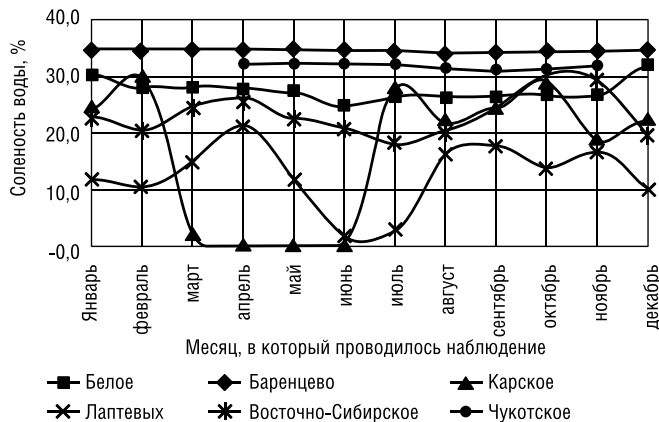
вого резервуара, ослабляющего влияние внешних температурных колебаний (рис. 1 г, д, е).

В контексте подводных горных работ, в частности добычи твердых полезных ископаемых, этот вывод имеет практическое значение: стабильность температуры на больших глубинах может упростить некоторые аспекты подводно-технических работ и транспортировки материалов, поскольку снижает необходимость учета значительных температурных колебаний. Это также может повлиять на конструкцию оборудования и используемой инфраструктуры, чтобы обеспе-

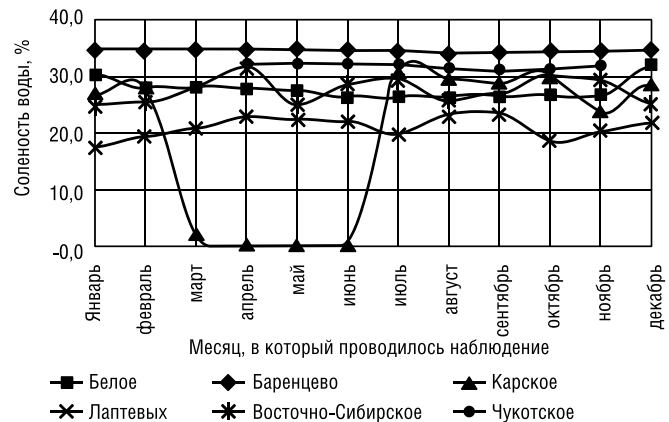
чить их соответствие специфическим условиям определенных глубин.

#### Соленость морской воды

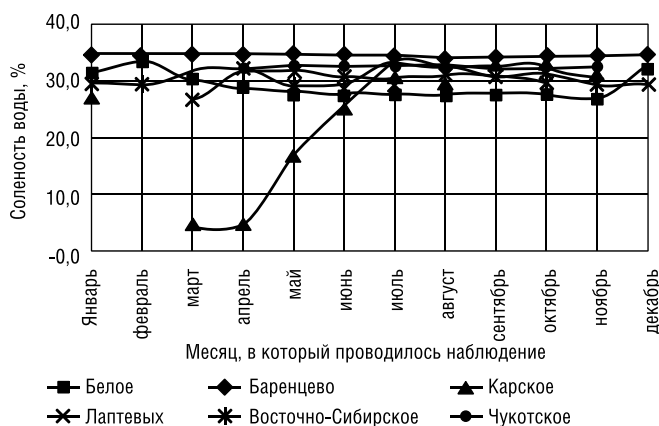
Соленость играет ключевую роль в формировании морской среды и динамики глобальной климатической системы [17, 18]. Она представляет собой концентрацию растворенных в океане солей и ионов, а ее изменение с глубиной является ключевым фактором, определяющим океаническую циркуляцию, экологические закономерности и физические свойства морской воды.



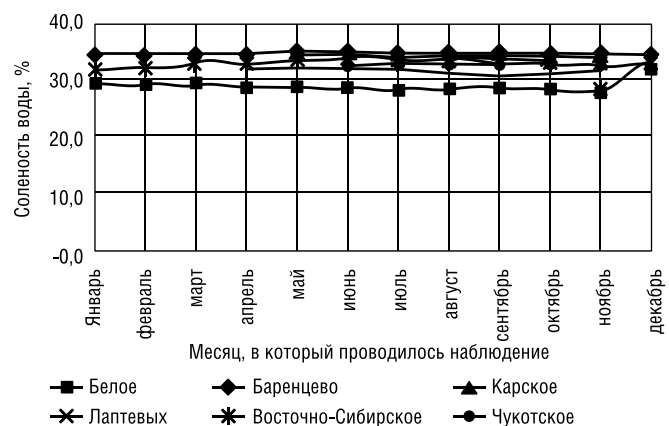
а



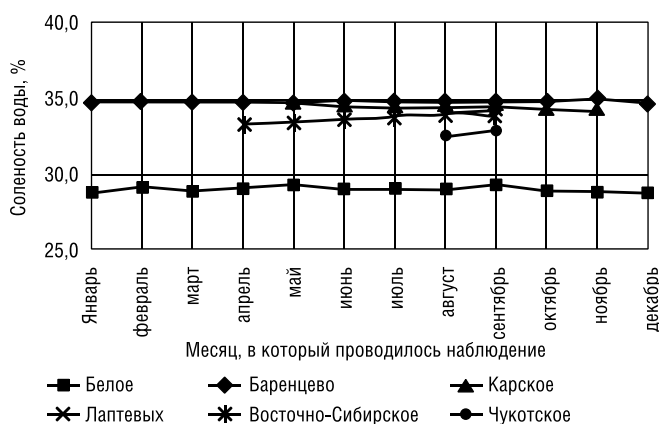
б



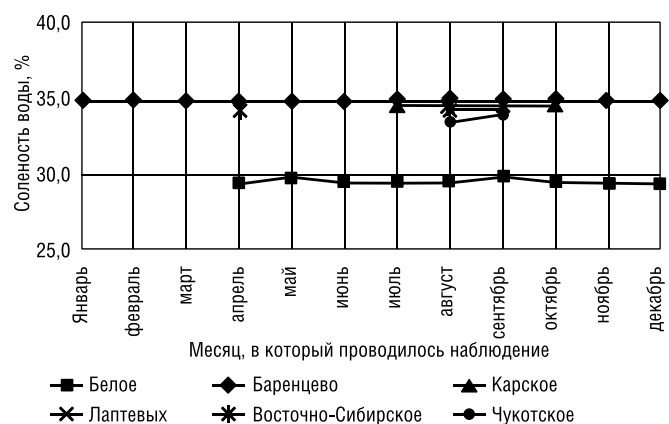
в



г



д



е

Рис. 2. Зависимость солености морской воды от ее глубины: а - горизонт изменения солености 0 м; б - горизонт изменения солености 10 м; в - горизонт изменения солености 20 м; г - горизонт изменения солености 50 м; д - горизонт изменения солености 100 м; е - горизонт изменения солености 150 м

Fig. 2. Dependence of sea water salinity on its depth: а - horizon of salinity change 0 m; б - horizon of salinity change 10 m; в - horizon of salinity change 20 m; г - horizon of salinity change 50 m; д - horizon of salinity change 100 m; е - horizon of salinity change 150 m

Соленость арктических морских вод, которая может изменяться под воздействием таких факторов, как поступление пресной воды из тающих льдов, речной сток, выпадение осадков и др., способна оказывать ряд важных воздействий на работы по извлечению твердых полезных ископаемых со дна арктического шельфа:

- ✧ в акваториях, где преобладает вода с высокой соленостью, она более плотная, что может повлиять на плавучесть и устойчивость подводного добычного оборудования. При проектировании и развертывании различного рода подводных аппаратов горнодобывающим компаниям потребуется учитывать этот показатель;
- ✧ повышение солености морской воды может привести к увеличению ее коррозионного потенциала. Это представляет собой проблему для подводного оборудования и инфраструктуры, поскольку может привести к ускоренной коррозии металлических элементов.

На *рисунке 2* продемонстрирована сложная взаимосвязь между соленостью морской воды и глубиной ее измерения. Данные графики дают ценное представление о вертикальном распределении солености в рассматриваемых морях.

Так, например, можно заметить, что в отличие от мелководных районов Карского, Лаптевых и Восточно-Сибирского морей, где соленость может испытывать более выраженные сезонные колебания (*рис. 2 а, б, в*), глубинные измерения демонстрируют более постоянные и устойчивые солевые концентрации (*рис. 2 г, д, е*). Относительное постоянство уровня солености, наблюдаемое в Баренцевом, Чукотском и Белом морях в разные месяцы, предположительно объясняется уникальными географическими и гидрологическими характеристиками (наличие большого числа источников пресной воды, низкая интенсивность испарения, особенность циркуляции водных потоков, география местности и т. д.).

Анализируя информацию, можно заметить, что вне зависимости от географического положения моря, наличия пресных источников воды, сезона измерений в акватории на глубинах 50-150 м наблюдаются стабильные показатели солености в диапазоне 29-35 ‰.

В контексте подводных горных работ, в частности добычи твердых полезных ископаемых, этот вывод имеет практическое значение: постоянная соленость означает условно-постоянные показатели плотности морской воды, а следовательно, силы, действующей на погруженные тела.

#### Заключение

Представленные выше зависимости изменения температуры и солености морской воды от глубины измерения и се-

зонности дают ценное представление о некоторых аспектах потенциальной добычи твердых полезных ископаемых со дна арктического шельфа. Полученная на основе этих взаимосвязей информация имеет не только академическое, но и практическое значение для различных отраслей, включая подводную добычу ресурсов, охрану морской среды и моделирование климата.

Результаты исследования могут стать стимулом к дополнительному изучению целого ряда направлений от изучения последствий изменения климата до устойчивости арктических экосистем, совершенствования технологий и методов сбора данных, а также рационального управления природными ресурсами, находящимися в глубинах арктического шельфа. Данные работы выходят за рамки научных дисциплин, подчеркивая необходимость междисциплинарного сотрудничества для решения сложных проблем этого региона.

Следует отметить, что для освоения природных ресурсов арктического шельфа нельзя обойтись без разработки современных технологий, учитывающих все многообразие проблем этого сурового региона, а также передового научно-производственного опыта. Разрабатываемые технологии и оборудование для подводной добычи твердых полезных ископаемых должны опираться на мониторинг основных свойств воды, в которых предполагается их использование; на изучение влияния происходящих климатических изменений; на оценку возможных экологических последствий от такого рода деятельности, а также на разрабатываемые инновационные подводные аппараты и платформы.

#### Выводы

1. Исследование выявило четкое разграничение температуры морской воды от глубины и времени года, когда производилось это измерение. Глубокие слои рассматриваемых морей характеризуются более стабильными температурными условиями с минимальными сезонными колебаниями. В таких условиях технологические процессы при ведении добычных работ будут протекать значительно ритмичнее, нежели в приповерхностных слоях береговой зоны шельфа, что благоприятно скажется на производительности.

2. В таких морях, как Баренцево, Чукотское и Белое, уровень солености отличается значительной равномерностью в течение всего года. Стабильные условия солености упрощают проектирование горнодобывающих предприятий (выбор оборудования и материалов, из которых его изготавливают) и непосредственно некоторые виды подводно-технических работ.

3. Понимание взаимосвязи между свойствами морской воды и осуществлением подводной разработки твердых полезных ископаемых является необходимым условием рационального управления ресурсами. ■

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Кондратьев, В.Б. Минеральные ресурсы и будущее Арктики / В. Б. Кондратьев // Горная промышленность. - 2020. - № 1. - С. 87-96. - DOI 10.30686/1609-9192-2020-1-87-96.
2. Substantiation of the technology of mineral extraction from the bottom of the continental shelf with an autonomous underwater vehicle / V.E. Kislyakov, P.V. Katyshev, Ya.E. Linkov [et al.] // Journal of Degraded and Mining Lands Management. - 2023. - Vol. 10, № 4. - P. 4729-4736. - DOI: 10.15243/jdmlm.2023.104.4729.
3. Современное ресурсное состояние и перспективы освоения МСБ шельфовой области Российской Арктики / В.Д. Каминский, О.И. Супруненко, А.Н. Смирнов [и др.] // Разведка и охрана недр. - 2016. - № 9. - С. 136-142.

4. Каминский, В.Д. Минерально-сырьевая база шельфовых областей России / В.Д. Каминский, А.М. Иванова, Т.Ю. Медведева // Горный журнал. - 2009. - № 3. - С. 40-48.
5. Белов, С.В. Пространственная организация регионального хозяйства при освоении твердых полезных ископаемых в западной части Арктики / С.В. Белов // Экономика и предпринимательство. - 2022. - № 7 (144). - С. 565-570. - DOI: 10.34925/EIP.2022.144.7.106.
6. Кириченко, Ю.В. История и перспективы развития глубоководной добычи твердых полезных ископаемых / Ю.В. Кириченко, А.С. Каширский // Горный информационно-аналитический бюллетень. - 2015. - № 11. - С. 123-134.
7. Deep-ocean temperature variations and implications for errors in seafloor heat flow determinations / E.E. Davis, K. Wang, K. Becker [et al.] // Journal of Geophysical Research: Solid Earth. - 2003. - Vol. 108, № 11. - DOI: 10.1029/2001jb001695.
8. Deep seabed mining: Frontiers in engineering geology and environment / X. Guo, N. Fan, Y. Liu [et al.] // International Journal of Coal Science & Technology. - 2023. - № 10. - P. 23. - DOI: 10.1007/s40789-023-00580-x.
9. Белое море - Общие сведения // Единая государственная система информации об обстановке в мировом океане [Электронный ресурс]. - URL: <http://www.esimo.ru/atlas/Beloe/index.html> (дата обращения: 08.11.2023).
10. Баренцево море - Общие сведения [Электронный ресурс] // Единая государственная система информации об обстановке в мировом океане. - URL: <http://www.esimo.ru/atlas/Bar/index.html> (дата обращения: 08.11.2023).
11. Карское море - Общие сведения [Электронный ресурс] // Единая государственная система информации об обстановке в мировом океане. - URL: <http://www.esimo.ru/atlas/Karsk/index.html> (дата обращения: 08.11.2023).
12. Море Лаптевых - Общие сведения [Электронный ресурс] // Единая государственная система информации об обстановке в мировом океане. - URL: <http://www.esimo.ru/atlas/Laptevix/index.html> (дата обращения: 08.11.2023).
13. Восточно-Сибирское море - Общие сведения [Электронный ресурс] // Единая государственная система информации об обстановке в мировом океане. - URL: <http://www.esimo.ru/atlas/Vost-sib/index.html> (дата обращения: 08.11.2023).
14. Чукотское море - Общие сведения [Электронный ресурс] // Единая государственная система информации об обстановке в мировом океане. - URL: <http://www.esimo.ru/atlas/Chyk/index.html> (дата обращения: 08.11.2023).
15. An overview of ocean climate change indicators: sea surface temperature, ocean heat content, ocean pH, dissolved oxygen concentration, Arctic Sea ice extent, thickness and volume, sea level and strength of the AMOC (Atlantic Meridional Overturning Circulation) / C. Garcia-Soto, L. Cheng, L. Caesar [et al.] // Frontiers in Marine Science. - 2021. - Vol. 8. - P. 642372. - DOI: 10.3389/fmars.2021.642372.
16. Venegas, R.M. Three decades of ocean warming impacts on marine ecosystems: A review and perspective / R.M. Venegas, J. Acevedo, E.A. Tremblé // Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography. - 2023. - Vol. 212. - P. 105318. - DOI: 10.1016/j.dsr2.2023.105318.
17. Human-induced salinity changes impact marine organisms and ecosystems / T. Rothig, S.M. Trevathan-Tackett, C.R. Voolstra [et al.] // Global Change Biology. - 2023. - Vol. 29, № 17. - P. 4731-4749. - DOI: 10.1111/gcb.16859.
18. The effect of ocean salinity on climate and its implications for Earth's habitability / S. Olson, M.F. Jansen, D.S. Abbot [et al.] // Geophysical Research Letters. - 2022. - Vol. 49, № 10. - P. 2021GL095748. - DOI: 10.1029/2021GL095748.

## REFERENCES

1. Kondratiev VB. Mineral resources and the future of the Arctic. *Mining Industry Journal*. 2020;1:87-96. DOI: 10.30686/1609-9192-2020-1-87-96. (In Russ.).
2. Kislyakov VE, Katyshev PV, Linkov YaE et al. Substantiation of the technology of mineral extraction from the bottom of the continental shelf with an autonomous underwater vehicle. *Journal of Degraded and Mining Lands Management*. 2023;10(4):4729-4736. DOI: 10.15243/jdmlm.2023.104.4729.
3. Kaminskii VD, Suprunenko OI, Smirnov AN et al. Current resource state and prospects for the development of the mineral resource base in the shelf region of the Russian Arctic. *Prospect and Protection of Mineral Resources*. 2016;9:136-142. (In Russ.).
4. Kaminskii VD, Ivanova AM, Medvedeva TYu et al. Mineral resource base of the shelf regions of Russia. *Mining Journal*. 2009;3:40-48. (In Russ.).
5. Belov SV. Spatial organization of regional economy in the development of solid mineral resources in the western part of the Arctic. *Journal of Economy and Entrepreneurship*. 2022;7(144):565-570. DOI: 10.34925/EIP.2022.144.7.106. (In Russ.).
6. Kirichenko YuV., Kashirskii AS. History and development prospects of the deep-sea mining of solid mineral resources. *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 2015;11:123-134. (In Russ.).
7. Davis EE, Wang K, Becker K et al. Deep-ocean temperature variations and implications for errors in seafloor heat flow determinations. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*. 2003;108(11). DOI: 10.1029/2001JB001695.
8. Guo X, Fan N, Liu Y et al. Deep seabed mining: Frontiers in engineering geology and environment. *International Journal of Coal Science & Technology*. 2023;10:23. DOI: 10.1007/s40789-023-00580-x.
9. White Sea - General Information. *Unified State Ocean Information System*. <http://www.esimo.ru/atlas/Beloe/index.html>. (In Russ.).
10. Barents Sea - General Information. *Unified State Ocean Information System*. <http://www.esimo.ru/atlas/Bar/index.html>. (In Russ.).
11. Red Sea - General information. *Unified State Ocean Information System*. <http://www.esimo.ru/atlas/Karsk/index.html>. (In Russ.).
12. Laptev Sea - General information. *Unified State Ocean Information System*. <http://www.esimo.ru/atlas/Laptevix/index.html>. (In Russ.).
13. East Siberian Sea - General information. *Unified State Ocean Information System*. <http://www.esimo.ru/atlas/Vost-sib/index.html>. (In Russ.).
14. Chukchi Sea - General information // *Unified State Ocean Information System*. <http://www.esimo.ru/atlas/Chyk/index.html>. (In Russ.).
15. Garcia-Soto C, Cheng L, Caesar L et al. An overview of ocean climate change indicators: sea surface temperature, ocean heat content, ocean pH, dissolved oxygen concentration, Arctic Sea ice extent, thickness and volume, sea level and strength of the AMOC (Atlantic Meridional Overturning Circulation). *Frontiers in Marine Science*. 2021;8:642372. DOI: 10.3389/fmars.2021.642372.
16. Venegas RM, Acevedo J, Tremblé EA. Three decades of ocean warming impacts on marine ecosystems: A review and perspective. *Deep Sea Research. Part II: Topical Studies in Oceanography*. 2023;212:105318. DOI: 10.1016/j.dsr2.2023.105318.

17. Rothig T, Trevathan-Tackett SM, Voolstra CR et al. Human-induced salinity changes impact marine organisms and ecosystems. *Global Change Biology*. 2023;29(17):4731-4749. DOI: 10.1111/gcb.16859.
18. Olson S, Jansen MF, Abbot DS et al. The effect of ocean salinity on climate and its implications for Earth's habitability. *Geophysical Research Letters*. 2022;49(10):2021GL095748. DOI: 10.1029/2021GL095748.

## ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ



**Линьков Ярослав Евгеньевич:**  
аспирант,  
ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет»,  
г. Красноярск, Россия,  
e-mail: Flash198@mail.ru

## INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

**Linkov Yaroslav Evgenievich:**  
post-graduate student,  
Siberian Federal University,  
Krasnoyarsk, Russia,  
e-mail: Flash198@mail.ru



**Кисляков Виктор Евгеньевич:**  
доктор технических наук,  
профессор,  
ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет»,  
г. Красноярск, Россия,  
e-mail: VKislyakov@sfu-kras.ru

**Kislyakov Victor Evgenyevich:**  
doctor of engineering sciences,  
professor,  
Siberian Federal University,  
Krasnoyarsk, Russia,  
e-mail: VKislyakov@sfu-kras.ru



**Курсанов Александр Константинович:**  
кандидат технических наук,  
доцент,  
ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет»,  
г. Красноярск, Россия,  
e-mail: AKirsanov@sfu-kras.ru

**Kirsanov Aleksandr Konstantinovich:**  
candidate of technical sciences,  
associate professor,  
Siberian Federal University,  
Krasnoyarsk, Russia,  
e-mail: AKirsanov@sfu-kras.ru



**Катышев Павел Викторович:**  
кандидат технических наук,  
доцент,  
ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет»,  
г. Красноярск, Россия,  
e-mail: PKatyshev@sfu-kras.ru

**Katyshev Pavel Viktorovich:**  
candidate of technical sciences,  
associate professor,  
Siberian Federal University,  
Krasnoyarsk, Russia,  
e-mail: PKatyshev@sfu-kras.ru

### КРИТЕРИИ АВТОРСТВА / CONTRIBUTION:

Авторы заявляют о равном вкладе каждого в работу над статьей / The authors declare the equal contribution of everyone to the work on the article.

### КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ / CONFLICT OF INTEREST:

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов. / The authors declare no conflict of interest.



## МИНЕРАЛОГИЧЕСКИЙ МУЗЕЙ «ПЛАНЕТА»

Минералогический Музей «Планета» это первый и единственный в России музей частных коллекций.

Залы: Зал 1. "Минералы Урала"  
Зал 2. "Минералы России и мира"  
Зал 3. "Минералы России и мира"  
Зал 4. Флюоресцирующие минералы  
Зал 5. Зал палеонтологии  
Зал 6. Комната ценностей

Контакты: Екатеринбург, ул. Чернышевского, 7. +7 (343) 287-71-10  
СР-ВС: 11:00-19:00 | ПН-ВТ: ВЫХОДНОЙ

**WWW.N-GN.RU**



## ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ ТЕХНОЛОГИИ РАЗРАБОТКИ ПОЛУСКАЛЬНЫХ ВСКРЫШНЫХ ПОРОД ЭКСКАВАТОРНО- АВТОМОБИЛЬНЫМИ КОМПЛЕКСАМИ С ПРИМЕНЕНИЕМ МЕХЛОПАТ

*В.С. Федотенко, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт проблем комплексного освоения недр им. академика Н.В. Мельникова Российской академии наук, г. Москва, Российская Федерация;  
В.В. Чаплыгин, А.В. Матвеев, ФГБОУ ВО «Сибирский государственный индустриальный университет»,  
г. Новокузнецк, Российская Федерация*

**Аннотация:** В статье приведены результаты исследований оптимизации параметров технологии разработки полускальных вскрышных пород экскаваторно-автомобильными комплексами с применением мехлопат. Проанализированы имеющиеся методики для расчета производительности мехлопат. Установлена для всех типов современных механических лопат эмпирическая универсальная зависимость расчета величины коэффициента экскавации от среднего диаметра куска, которая позволяет определить изменение величины сменной эксплуатационной производительности механических лопат от величины среднего размера кусков взорванных пород. Результаты статистической обработки сравнения значений производительности экскаватора, установленной в производственных условиях, с расчетными показали, что коэффициент вариации при расчете по предлагаемой (новой, универсальной) формуле практически в два раза ниже, по сравнению с известными (применяемыми). Определена укрупненная блок-схема комплексного алгоритма оптимизации параметров ЭАКМЛ путем выбора величины удельного расхода ВВ, типа мехлопаты, автосамосвала, бурового станка и бульдозера.

**Ключевые слова:** механическая лопата, производительность экскаватора, средний размер куска, коэффициент экскавации, коэффициент вариации, удельный расход ВВ, блок-схема алгоритма, ЭКГ.

**Для цитирования:** Федотенко В. С., Чаплыгин В. В., Матвеев А. В. Оптимизация параметров технологии разработки полускальных вскрышных пород экскаваторно-автомобильными комплексами с применением мехлопат // Маркшейдерия и недропользование. 2024. №1. С. 17-31. DOI: 10.56195/20793332\_2024\_1\_17\_31.

## OPTIMIZATION OF THE PARAMETERS OF THE TECHNOLOGY FOR THE DEVELOPMENT OF SEMI-HORIZONTAL OVERBURDEN BY EXCAVATOR- AUTOMOTIVE COMPLEXES USING MECHANICAL SHOVELS

*V.S. Fedotenko, Institute of Comprehensive Exploitation of Mineral Resources Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation*

*V.V. Chaplygin, A.V. Matveev, FGBOU VO «Siberian State Industrial University», Novokuznetsk, Russian Federation*

**Abstract:** The article presents the results of research on the optimization of the parameters of the technology for the development of semi-horizontal overburden by excavator-automobile complexes using mechlopat. The available methods for calculating the productivity of mechlopat are analyzed. An empirical universal dependence of the calculation of the value of the excavation coefficient on the average diameter of the piece has been established for all types of modern mechanical shovels, which makes it possible to determine the change in the value of the replaceable operational performance of mechanical shovels from the value of the average size of pieces of blasted rocks. The results of statistical processing of comparing the values of the excavator performance installed in production conditions with the calculated ones showed that the coefficient of variation when calculated according to the proposed (new, universal) formula is almost two times lower than the known (used) ones. An enlarged block diagram of a complex algorithm for optimizing the parameters of the EACMS is determined by selecting the value of the specific consumption of explosives, the type of a mechanical shovel, dump truck, drilling rig and bulldozer.

**Keywords:** mechanical shovel, excavator performance, average piece size, excavation coefficient, coefficient of variation, specific explosive consumption, block diagram of the algorithm, crawler mining excavator.

**For citation:** Fedotenko V.S., Chaplygin V.V., Matveev A.V. Optimization of the parameters of the technology for the development of semi-horizontal overburden by excavator-automotive complexes using mechanical shovels. Surveying and subsoil use. 2024;(1): 17-31.(In Russ.). DOI: 10.56195/20793332\_2024\_1\_17\_31.

Экскаваторно-автомобильные комплексы с применением мехлопат (ЭАКМЛ) широко используются при открытом способе добычи полезных ископаемых. На разрезах Кузбасса ОАО УК «Кузбассразрезуголь» осуществляет добычу угля на 6 угольных разрезах. Балансовые запасы компании — 2 млрд т. Ежегодная добыча составляет свыше 45 млн т угля, из которых около 50% экспортируется за рубеж. На разрезах ОАО УК «Кузбассразрезуголь» используются высокопроизводительное выемочно-погрузочное и транспортное оборудование большой единичной мощности [1, 2]. Одними из них являются американские экскаваторы Р&Н-4100 с вместимостью ковша 56 м<sup>3</sup>. Первый из них эксплуатируется с 2009 г. на Талдинском разрезе, второй — с 2011 г. на Бачатском разрезе. На разрезах компании используются экскаваторы указанного производителя Р&Н-2300 и Р&Н-2800, которые также хорошо себя зарекомендовали [3].

Экскаватор отечественного производства ЭКГ-32Р «прямая механическая лопата» хорошо себя показывает на Краснобродском разрезе. Он может работать в различных природных условиях, вплоть до температуры -45°, а наступление капитального ремонта наступит только через 20 лет.

Перечисленные экскаваторы выполняют погрузку взорванной вскрышной породы в высокопроизводительные автосамосвалы производства Белорусского автомобильного завода — БелАЗы: 75131, 75302 (75306) и 75609 грузоподъемностью 130, 220 и 320 т соответственно.

Известно, что электрические экскаваторы являются доминирующим погрузочным оборудованием при добыче полезных ископаемых открытым способом и для количественной оценки эффективности их работы предлагается введение определенного стохастического показателя [4].

Общепризнанным показателем, который позволяет сравнивать эффективность работы механических лопат и определить диапазон использования каждой, является его производительность. Следовательно, для расчета и оптимизации параметров ЭАКМЛ, основой методики являются формулы для расчета производительности механических лопат в зависимости от средневзвешенного размера кусков взорванных пород. Кроме того, требуется применение соответствующих методов для расчета параметров буровзрывных работ и расчета удельных затрат по всем основным процессам исследуемой технологии [5].

#### Методы и материалы исследований

На первом этапе исследований была поставлена задача произвести анализ существующих зависимостей, известных формул для расчета величины производительности механической лопаты при различной кусковатости взорванных горных пород.

Было установлено, что расчет производительности экскаватора с определенным размером ковша ( $E$  — вместимость ковша) основан на формулах, которые связывают такие параметры, как коэффициент экскавации ( $K_s$ ), время цикла ( $t_u$ ) и размер кусков взорванной породы ( $d_{cp}$ ). При этом установленные эмпирические формулы основываются на опыте работы мехлопат ЭКГ-4,6 и ЭКГ-8И [6, 7].

Коэффициент экскавации:

$$K_s = \frac{K_n}{K_p} = \frac{1,18 \cdot e^{\frac{6,5 d_{cp}^3}{E^{1,2}}}}{\frac{d_{cp}^2}{0,75 \cdot \sqrt[3]{E^2}} e^{\frac{d_{cp}^2}{0,56 \sqrt[3]{E^2}} + 1,35}}, \quad (1)$$

где  $K_n$  — коэффициент наполнения ковша;  $K_p$  — коэффициент разрыхления породы;  $d_{cp}$  — диаметр среднего (по объему) куска взорванной горной массы, м;  $e$  — основание натурального логарифма;  $E$  — емкость ковша, м<sup>3</sup>.

Длительность экскаваторного цикла:

$$t_u = \frac{67 d_{cp}^2}{E} + \frac{E}{0,11E + 0,6} + \sqrt[3]{\frac{(35 \cdot E + 0,42 \cdot E^2)^{\frac{5}{3}} \cdot \beta_n^2}{E}} + 3, c, \quad (2)$$

где  $\beta_n$  — угол поворота экскаватора, град.

Техническая производительность экскаватора:

$$Q_{\text{экс}} = \frac{3600 \cdot E \cdot 1,18 \cdot e^{\frac{6,5 d_{cp}^3}{E^{1,2}}}}{\left( \frac{67 d_{cp}^2}{E} + \frac{E}{0,11E + 0,6} + \sqrt[3]{\frac{(35 \cdot E + 0,42 \cdot E^2)^{\frac{5}{3}} \cdot \beta_n^2}{E}} + t_p \right) \cdot \left( \frac{d_{cp}^2}{0,75 \cdot \sqrt[3]{E^2}} e^{\frac{d_{cp}^2}{0,56 \sqrt[3]{E^2}} + 1,35} \right)}, m^3/h. \quad (3)$$

Разработчики метода предлагают оптимизировать выемочно-погрузочные работы и технологические схемы работы экскаваторно-автомобильного комплекса путем минимизации суммарных затрат. Уменьшение затрат на буровзрывную подготовку пород к выемке достигается при увеличении размера кусков взорванных пород, но издержки на экскавацию и транспорт возрастают. Однако возникают сомнения в надежности расчета по формулам 1-3 для современных механических лопат большой единичной мощности [6, 7].

В работе [8] предлагаются упрощенные формулы, полученные при математической обработке зависимостей 1, 2 и 3.

Продолжительность экскаваторного цикла при совмещении ряда вспомогательных операций определяется из выражения общего вида:

$$t_u = t_u + t_n + t_p, c, \quad (4)$$

где  $t_u$  — время черпания, с;  $t_n$  — суммарная продолжительность поворотных операций к месту разгрузки и обратно в забой, с;  $t_p$  — время разгрузки, с.

$$t_u = \frac{67 d_{cp}^2}{E} + \frac{E}{0,11E + 0,6}, c, \quad (5)$$

где  $d_{cp}$  — средневзвешенный по объему диаметр кусков, м;  $E$  — геометрическая вместимость ковша экскаватора, м<sup>3</sup>.

$$t_n = \left( \frac{(35E + 0,42 E^2)^{1,67} \beta_n^2}{E} \right)^{0,33}, c, \quad (6)$$

где  $\beta_n$  — угол поворота экскаватора, град.

$$K_s = 0,83 \exp(-2 \frac{d_{cp}^5}{E^{0,2}}). \quad (7)$$

Техническая производительность экскаватора:

$$Q_{\text{экс}} = \frac{3600 \cdot E \cdot 0,83 \exp(-2 \frac{d_{cp}^5}{E^{0,2}})}{\left( \left( \frac{67 d_{cp}^2}{E} + \frac{E}{0,11E + 0,6} \right) + \left( \frac{(35E + 0,42 E^2)^{1,67} \beta_n^2}{E} \right)^{0,33} + 3 \right)}, m^3/h. \quad (8)$$

Невозможно подтвердить точность расчета по формулам 4-8 для современных механических лопат большой мощности без исследований, которые оценивают результаты расчета по установленным зависимостям.

В настоящее время проведение масштабных исследований о влиянии на производительность экскаватора кусковатости взорванных пород является сложной задачей. В связи с этим, результаты исследований экскаватора Вискус 495HD с ковшом вместимостью 41,3 м<sup>3</sup>, полученные при работе на разрезе «Тугнуйский», заслуживают внимания [9].

Вес породы в ковше:

$$G = \frac{56,65}{D_{св}^{0,287}}, m, \quad (9)$$

где  $D_{св}$  – средневзвешенный по объему диаметр кусков, м;  $E$  – геометрическая вместимость ковша экскаватора, м<sup>3</sup>.

Время цикла экскаватора:

$$t_u = t_n + 17,94 = 9 \times e^{0,7 D_{св}} + 17,94, c, \quad (10)$$

Годовая производительность экскаватора:

$$Q_{год} = \frac{(3600 \cdot G \cdot T_{см} \cdot n_{см} \cdot n_{год} \cdot K_{из} \cdot K_{изэ})}{T_u} = \frac{\left[ 3600 \cdot \left( \frac{56,65}{D_{св}^{0,287}} \right) \cdot T_{см} \cdot n_{см} \cdot n_{год} \cdot K_{из} \cdot K_{изэ} \right]}{(9 \cdot e^{0,7 D_{св}} + 17,94)}, m / год, \quad (11)$$

где  $T_{см}$  – продолжительность смены, ч;  $n_{см}$  – число рабочих смен в сутки;  $n_{год}$  – число рабочих дней в году;  $K_{из}$  – коэффициент использования экскаватора в течение смены;  $K_{изэ}$  – коэффициент использования рабочего времени экскаватором в течение года.

Вилкул Ю.Г. и Перегудов В.В. [10] по результатам исследования экскаватора ЭКГ-8И предлагают следующую формулу для расчета его сменной производительности:

$$Q_{зм} = \frac{V_{тр} \cdot 3600 \cdot T_{см} \cdot K_{из} - N_{нег} \cdot t_{нег1}}{t_{ож} + t_{уст} + \left( \frac{z_1 \cdot d_{ср}^2}{E} + \frac{E}{yE + 0,6} + t_{пов1} + t_{раз} + t_{пов2} \right) \cdot \frac{V_{тр} \cdot K_p}{E \cdot K_n}}, m^3 / см, \quad (12)$$

где  $V_{тр}$  – объем, перевозимый одним автосамосвалом, м<sup>3</sup>;  $T_{см}$  – время смены экскаватора, ч;  $K_{из}$  – коэффициент использования экскаватора во времени, %;  $N_{нег}$  – количество негабаритных кусков на блоке, которые необходимо убрать в течение смены;  $t_{нег1}$  – время на разборку одного негабаритного куска, с;  $t_{ож}$ ,  $t_{уст}$  – время ожидания и установки автосамосвала под погрузку, с;  $d_{ср}$  – диаметр среднего куска взорванной горной массы, м;  $t_{пов1,2}$  – время поворота экскаватора к автосамосвалу и обратно к забою, соответственно, с;  $t_{раз}$  – время разгрузки ковша, с;  $E$  – вместимость ковша, м<sup>3</sup>;  $K_p$  – коэффициент разрыхления горной массы;  $K_n$  – коэффициент наполнения ковша.

Для расчета производительности авторами предлагается учитывать объем, перевозимый одним автосамосвалом, количество негабаритных кусков на блоке, которые необходимо убрать в течение смены и время на разборку негабарита в течение смены. Методически не верно связывать произво-

дительность экскаватора с применяемым типом автосамосвалов, при этом довольно сложно прогнозировать количество негабаритных кусков на блоке и время на его уборку в течение смены.

В работе [11] отмечается важность согласования типов экскаватора и автосамосвала, особенно на крупных предприятиях.

Казагаповым А.Е., Куттыбаевым А.Е., Саменовым Г., Петрунько А.Н. в работе [12] описывается определение производительности для экскаваторов ЭКГ-6,3УС и ЭКГ-8И:

$$Q_m = \frac{3600 \cdot E}{\left[ t_u + \frac{p'(x_7) \cdot E}{100 \cdot V_n} \cdot t_n \right]} \cdot \frac{k_{нк}}{k_{рк}}, m^3 / ч, \quad (13)$$

где  $t_u$  – продолжительность цикла экскавации, с;  $E$  – вместимость ковша экскаватора, м<sup>3</sup>;  $t_n$  – продолжительность извлечения и уборки одного негабаритного куска, с;  $p'(x_7)$  – выход негабаритных кусков, %;  $V_n$  – средний объем негабаритного куска, м<sup>3</sup>;  $k_{нк}$  – коэффициент наполнения ковша;  $k_{рк}$  – коэффициент разрыхления породы в ковше.

$$k_{рк} = 10^{-3} \times [1623 - 5,61p'(x_1) + 2,52 \times p'(x_2) + 12,2 \times p'(x_3)] + 10^{-3} \times [5,84 \times p'(x_4) - 0,3 \times p'(x_5) + 1,18 \times p'(x_6)], \quad (14)$$

где  $p'(x_1)$  – гранулометрический состав группы фракций 0-0,2 м, %;  $p'(x_2)$  – гранулометрический состав группы фракций 0,21-0,4 м, %;  $p'(x_3)$  – гранулометрический состав группы фракций 0,41-0,6 м, %;  $p'(x_4)$  – гранулометрический состав группы фракций 0,61-0,8 м, %;  $p'(x_5)$  – гранулометрический состав группы фракций 0,81-1,0 м, %;  $p'(x_6)$  – гранулометрический состав группы фракций > 1,2 м, %.

$$k_{нк} = \frac{Q_{мп} \cdot k_{рк}}{n \cdot E \cdot \rho_0}, \quad (15)$$

где  $Q_{мп}$  – масса руды (пустой породы) в транспортном сосуде;  $n$  – число ковшей, помещенных в транспортный сосуд;  $\rho_0$  – плотность руды (пустой породы).

В качестве критерия для расчета производительности экскаваторов авторы предлагают использовать гранулометрический состав группы фракций взорванной породы и выход негабаритных кусков. Это значительно усложняет возможность расчета из-за сложности его оперативного определения, особенно в производственных условиях. Кроме того, при применении современных экскаваторов вероятно потребуется произвести дополнительные исследования с целью установления соответствия типа экскаватора и учитываемого выхода определенных групп фракций взорванной породы и как считать выход негабаритных кусков для конкретного типа мехлопаты.

На рис. 1-5 приведены графические зависимости сменной производительности экскаватора от диаметра куска взорванной массы для мехлопат с ковшами 6,3; 18; 33; 41,3; 55,8 м<sup>3</sup>, где представлены результаты расчета по формулам, разработанным Н.Я. Репиным; Вилкула Ю.Г. с Перегудовым В.В.; Сыроевым А.А. и Исаченковым А.Б. (для  $E = 41,3$  м<sup>3</sup>).

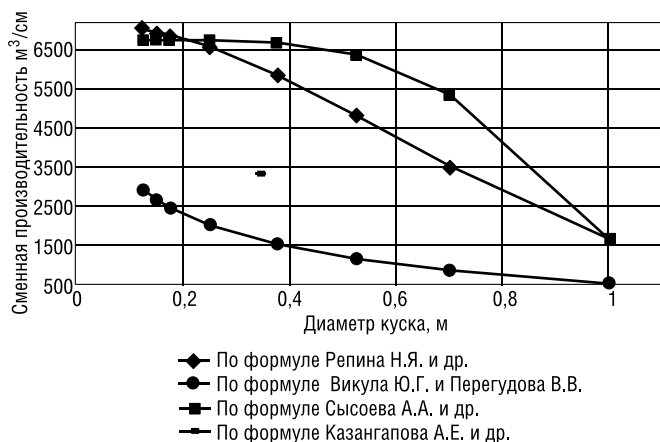


Рис. 1. Зависимость производительности экскаватора с ковшом 6,3 м³ от размера куска по различным методикам

Fig. 1. The dependence of the productivity of an excavator with a bucket of 6.3 m³ on the size of the piece according to various methods

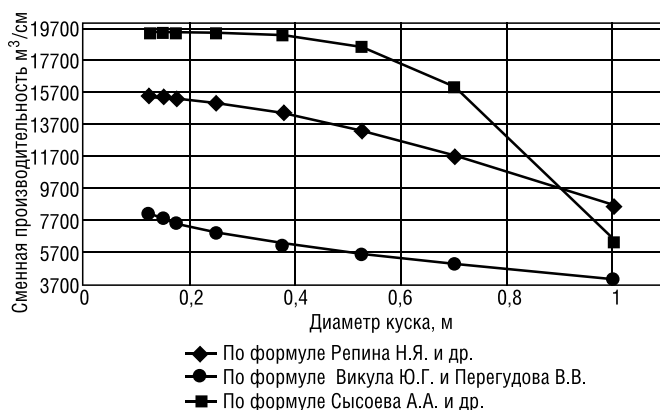


Рис. 2. Зависимость производительности экскаватора с ковшом 18 м³ от размера куска по различным методикам

Fig. 2. The dependence of the productivity of an excavator with a bucket of 18 m³ on the size of the piece according to various methods

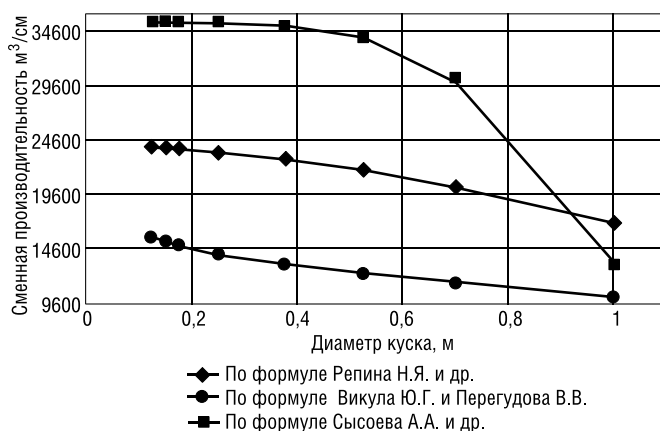


Рис. 3. Зависимость производительности экскаватора с ковшом 33 м³ от размера куска по различным методикам

Fig. 3. The dependence of the productivity of an excavator with a bucket of 33 m³ on the size of the piece according to various methods

Первое, что важно отметить при сравнении полученных графических зависимостей, это значительное различие величины сменной производительности экскаватора от диа-

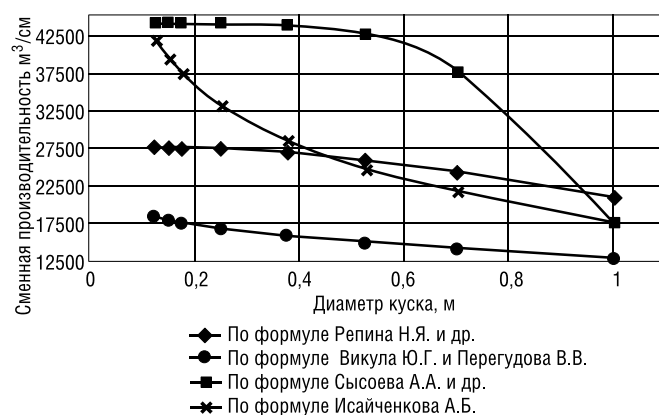


Рис. 4. Зависимость производительности экскаватора с ковшом 41,3 м³ от размера куска по различным методикам

Fig. 4. The dependence of the productivity of an excavator with a bucket of 41.3 m³ on the size of the piece according to various methods

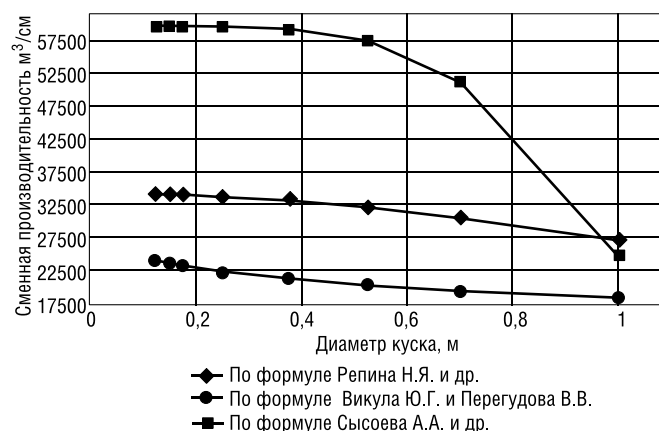


Рис. 5. Зависимость производительности экскаватора с ковшом 55,8 м³ от размера куска по различным методикам

Fig. 5. The dependence of the productivity of an excavator with a bucket of 55.8 m³ on the size of the piece according to various methods

метра куска взорванной массы, значения которых для конкретного типа мехлопаты иногда различаются более, чем в два раза. К сожалению, разработчики представленных выше формул расчета производительности мехлопат не указывают диапазон достоверности установленных ими зависимостей, например – вместимости ковша экскаватора. Формула Репина Н.Я. была установлена, когда на разрезах применялись, в основном, экскаваторы ЭКГ-4,6 и ЭКГ-8И, однако принятая в ней зависимость, учитывающая влияние соотношения кусковатости разрабатываемых пород и вместимости ковша, позволяет достоверно определять производительность и для большинства современных типов мехлопат.

С целью сравнения расчетных формул и закономерности изменения производительности мехлопат в зависимости от значений средневзвешенного куска взорванной породы и вместимости ковша, были построены графики изменения величины коэффициента

$$K_Q = f \frac{Q_{\text{ср.масс.}}}{Q_{\text{ср.мин.}}}$$

от вместимости ковша. (рис. 6).

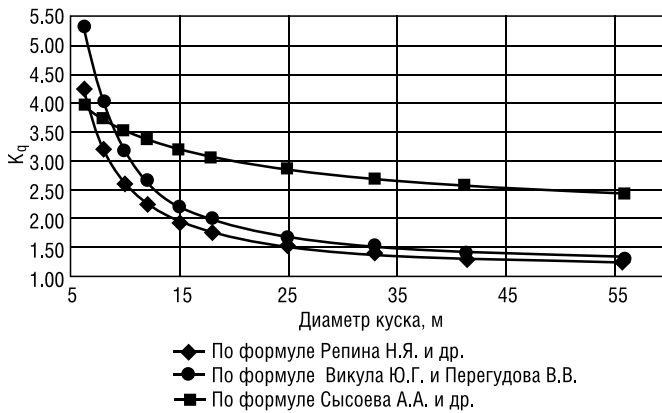


Рис. 6. Графики изменения величины коэффициента

$$K_Q = f \frac{Q_{\text{сменник}}}{Q_{\text{сминн}}}$$

от вместимости ковша экскаватора

Fig. 6. Graphs of the change in the coefficient

$$K_Q = f \frac{Q_{\text{сменник}}}{Q_{\text{сминн}}}$$

value from the bucket capacity of the excavator

Как видно из графика, общую тенденцию изменения коэффициента  $K_Q$  нарушают расчеты по формуле Сыроева А. А.

Возникает вопрос, являются ли рассчитанные по формуле Репина Н.Я. и по формуле Вилкула Ю.Г. значения производительности экскаваторов-мехлопат в зависимости от средневзвешенного размера куска взорванных пород статистически достоверными (статистически значимыми) или недостоверными (случайными).

Самым распространенным методом оценки различий между выборками считается параметрический критерий Фишера, который является критерием достоверности различий.

Критерий Фишера ( $F$ ) предполагает вычисление средних значений и дисперсий в сравниваемых выборках. Он целесообразен к применению в тех случаях, когда возникают сомнения в достоверности различий [13].

Результаты сравнения расчетных значений производительности мехлопат по формулам Репина Н.Я. и Вилкула Ю.Г. (два ряда переменных) по критерию Фишера на предмет их различий, свидетельствуют о том, что для пятипроцентного уровня значимости ( $P \leq 0,05$ ) граничное (критическое) значение критерия  $F_{\text{гр}} = 3,18$ . Следовательно (при  $F_{\text{эм}} = 1,87 \leq F_{\text{гр}} = 3,18$ ), различие между выборками статистически не достоверно. Расчеты показали, что различия между выборками производительности мехлопат по формулам Репина Н.Я. и Вилкула Ю.Г. не могут быть случайными, считаются достоверно отличающимися друг от друга, т. е. принадлежит разным генеральным совокупностям.

Таким образом, как показал проведенный анализ расчета производительности карьерных мехлопат, существует большое количество методик со своей областью применения, что не позволяет их считать универсальными для расчета в различных горнотехнических условиях разрезов. Поэтому следующая задача для достижения главной цели исследований — обоснование параметров технологии разработки полускальных вскрышных пород на разрезах Кузбасса экска-

торно-автомобильными комплексами с применением мехлопат, обеспечивающих оптимальные условия их эксплуатации. Для ее реализации на основании сопоставления в горнотехнических условиях разреза различных типов экскаваторного, автотранспортного оборудования и параметров БВР потребуется разработка новой специальной и универсальной методики. Ее главной составляющей должна быть универсальная формула расчета производительности мехлопат в зависимости от средневзвешенного размера куска взорванных пород для всех применяемых в настоящее время типов экскаваторов.

Специалистам известна расчетная формула для определения величины технической производительности механических лопат, которая включает значения коэффициента экскавации  $K_3$ :

$$Q_{\text{тч}} = \frac{3600 \cdot E \cdot K_3 \cdot K_z}{t_{\text{ц}}}, \text{ м}^3 / \text{ч}, \quad (16)$$

где  $K_3$  — коэффициент экскавации;  $K_z$  — коэффициент влияния параметров забоя (для торцевого забоя  $K_z = 0,9$ ; для тупикового  $K_z = 0,8$ );  $t_{\text{ц}}$  — время цикла экскаватора в конкретных горнотехнических условиях, с;

$$K_3 = \frac{K_{\text{нк}}}{K_{\text{рк}}}, \quad (17)$$

где  $K_{\text{нк}}$  — коэффициент наполнения ковша;  $K_{\text{рк}}$  — коэффициент разрыхления породы в ковше.

По определению технической производительностью является наибольшая возможная часовая производительность экскаватора при непрерывной его работе в конкретных горнотехнических условиях [14].

Обычно сравнение экскаваторов производят по их сменной эксплуатационной производительности, величина которой характеризует объем работы, который выполняет экскаватор за смену с учетом затрат времени на технические, технологические и организационные перерывы [9, 14, 15]:

$$Q_{\text{сч}} = \frac{3600 \cdot E \cdot K_3 \cdot K_z}{t_{\text{ц}}} \cdot T_{\text{см}} \cdot K_{\text{из}}, \text{ м}^3 / \text{см}, \quad (18)$$

где  $T_{\text{см}}$  — продолжительность смены, ч;  $K_{\text{из}}$  — коэффициент использования экскаватора в течение смены.

Величина коэффициента использования экскаватора в течение смены определяется применяемым видом карьерного транспорта и схемой его подачи.

Рассмотренные выше формулы для расчета производительности механических лопат в зависимости от величины среднего размера кусков взорванных пород учитывают значения величины коэффициента экскавации. Из этого следует необходимость поиска других результатов исследования соотношения величины коэффициента экскавации от величины средневзвешенного размера кусков взорванных пород или произвести дополнительные уточняющие эксперименты.

В этой связи представляет интерес исследование [16], одним из результатов которых являются значения коэффициента экскавации  $K_3$  для скальных и полускальных раз-

Таблица 1 / Table 1

Коэффициенты экскавации для скальных и полускальных разрыхленных пород при условии нормального (полного) заполнения ковша (по Ржевской С.В.)/  
The coefficient of excavation for rocky and semi-horizontal loosened rocks under the condition of normal (full) filling of the bucket (according to S.V. Rzhevskaya)

| Средний размер куска, $d_{cp}$ , см / Average piece size, cm | Емкость ковша (черпака) кубообразной формы (верхний предел), м <sup>3</sup> / The capacity of the bucket (ladle) of a cuboid shape (upper limit), m <sup>3</sup> |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|--------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|                                                              | 0,5                                                                                                                                                              | 1    | 4    | 6    | 8    | 10   | 15   | 20   | 25   | 35   | 40   | 80   |
|                                                              | Коэффициент экскавации $K_3$                                                                                                                                     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| До 5                                                         | 0,70                                                                                                                                                             | 0,75 | 0,80 | 0,80 | 0,85 | 0,85 | 0,85 | 0,85 | 0,90 | 0,90 | 0,90 | 0,90 |
| 5-10                                                         | 0,50                                                                                                                                                             | 0,6  | 0,70 | 0,75 | 0,80 | 0,80 | 0,80 | 0,85 | 0,90 | 0,90 | 0,90 | 0,90 |
| 10-15                                                        | 0,30                                                                                                                                                             | 0,40 | 0,45 | 0,50 | 0,55 | 0,60 | 0,65 | 0,70 | 0,73 | 0,73 | 0,73 | 0,73 |
| 15-20                                                        | -                                                                                                                                                                | 0,35 | 0,40 | 0,45 | 0,50 | 0,55 | 0,60 | 0,65 | 0,70 | 0,70 | 0,73 | 0,73 |
| 20-30                                                        | -                                                                                                                                                                | -    | 0,35 | 0,40 | 0,45 | 0,50 | 0,55 | 0,60 | 0,65 | 0,68 | 0,70 | 0,70 |
| 30-45                                                        | -                                                                                                                                                                | -    | -    | 0,35 | 0,40 | 0,45 | 0,50 | 0,55 | 0,60 | 0,64 | 0,68 | 0,68 |
| 45-60                                                        | -                                                                                                                                                                | -    | -    | -    | 0,35 | 0,40 | 0,45 | 0,50 | 0,55 | 0,60 | 0,64 | 0,64 |
| 60-80                                                        | -                                                                                                                                                                | -    | -    | -    | -    | 0,35 | 0,40 | 0,45 | 0,50 | 0,55 | 0,60 | 0,60 |
| 80-120                                                       | -                                                                                                                                                                | -    | -    | -    | -    | -    | 0,35 | 0,40 | 0,45 | 0,50 | 0,55 | 0,55 |

Таблица 2 / Table 2

Значения величины  $K_3$  для экскаваторов с различной вместимостью ковша в зависимости от  $d_{cb}$   
The values of the  $K_3$  value for excavators with different bucket capacities, depending on the  $d_{cb}$

| Коэффициенты экскавации для скальных и полускальных разрыхленных пород при условии нормального (полного) заполнения ковша (по Ржевской С.В.) / The coefficient of excavation for rocky and semi-horizontal loosened rocks under the condition of normal (full) filling of the bucket (according to S.V. Rzhevskaya) |              |                                                           |       |        |        |        |        |                                 |                                   |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|-----------------------------------------------------------|-------|--------|--------|--------|--------|---------------------------------|-----------------------------------|
| № п/п                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | $d_{cb}$ , м | Типы мехлопат, принятых к исследованию; вместимость ковша |       |        |        |        |        |                                 |                                   |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |              | ЭКГ-6,3                                                   | ЭКГ-8 | ЭКГ-10 | ЭКГ-15 | ЭКГ-20 | ЭКГ-25 | РН-2800ХРС (33 м <sup>3</sup> ) | РН-4100ХРС (55,8 м <sup>3</sup> ) |
| 1                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 0,125        | 0,51                                                      | 0,55  | 0,60   | 0,65   | 0,68   | 0,73   | 0,73                            | 0,73                              |
| 2                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 0,175        | 0,46                                                      | 0,50  | 0,55   | 0,60   | 0,63   | 0,70   | 0,70                            | 0,73                              |
| 3                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 0,250        | 0,41                                                      | 0,45  | 0,50   | 0,55   | 0,58   | 0,65   | 0,67                            | 0,70                              |
| 4                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 0,375        | 0,36                                                      | 0,40  | 0,45   | 0,50   | 0,53   | 0,60   | 0,63                            | 0,68                              |
| 5                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 0,525        | -                                                         | 0,35  | 0,40   | 0,45   | 0,48   | 0,55   | 0,59                            | 0,65                              |
| 6                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 0,700        | -                                                         | -     | 0,35   | 0,40   | 0,43   | 0,50   | 0,54                            | 0,60                              |
| 7                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 1,000        | -                                                         | -     | -      | 0,35   | 0,38   | 0,45   | 0,49                            | 0,55                              |

рыхленных пород при условии нормального (полного) заполнения ковша от соотношения диаметра среднего куска взорванной горной массы (по объему) и вместимости ковша экскаватора кубообразной формы, представленные в табл. 1.

С целью определения корреляционной зависимости  $K_3 = f(E, d_{cb})$  на основании данных табл. 1 произведен расчет значений коэффициента для принятых к исследованию типов мехлопат, которые соответствуют определенным значениям средневзвешенного размера кусков взорванных пород —  $d_{cb}$  и приведены в табл. 2.

На следующем этапе исследований были построены графики (в виде точечной диаграммы) изменения зависимости  $K_3 = f(d_{cb})$  для всех типов мехлопат, принятых к исследованию (см. табл. 2).

### Результаты исследований

Визуальная оценка, проведенная на основе графического анализа данных, позволила установить наличие нелинейной корреляционной связи между параметрами  $K_3$  и  $d_{cb}$  и вид математической зависимости между этими величинами. Были приняты к рассмотрению три варианта зависимости  $K_3 = (a \times E^x) / d_{cb}^y$ .

Для каждого типа экскаватора ( $E$ ) были установлены формулы для расчета  $K_3$  с числовыми значениями параметров  $x$  и  $y$ , например  $K_3 = (0,191) / d_{cb}^{0,262}$ , по совокупности которых определялась общая расчетная зависимость для всех типов мехлопат.

После статистической оценки полученных зависимостей, результаты расчета по формуле (19) оказались корректнее:

$$K_3 = \frac{(0,220 \cdot E^{0,234})}{d_{cp}^n}, \quad (19)$$

$$\text{где } n = \frac{0,234}{E^{0,220}}.$$

Она показала достаточно высокую достоверность расчета коэффициента экскавации по данным Ржевской С.В. для каждого из принятых типов мехлопат:

- ✧ среднее линейное отклонение 0,005-0,069;
- ✧ среднее квадратическое отклонение 0,032-0,096 %
- ✧ коэффициент вариации 7,54-18,12 % при среднем значении 12,3%.

Установленная для всех типов современных механических лопат эмпирическая универсальная зависимость расчета величины  $K_3 = f(d_{cb})$  (19) позволяет определить изменение величины сменной эксплуатационной производительности механических лопат от величины среднего размера кусков взорванных пород. Подставив зависимость (19) в (18) после преобразования получим:

$$Q_3 = \frac{3600 \cdot E \cdot T_{cm} \cdot \frac{0,22 \cdot E^{0,234}}{d_{cp}^{0,234}} \cdot K_3 \cdot K_{из}}{d_{cp}^{E^{0,22}}}, \quad \text{м}^3 / \text{см.} \quad (20)$$

$$\frac{67d_{cp}^2}{E} + \frac{E}{0,11E + 0,6} + \sqrt[3]{\frac{(35 \cdot E + 0,42 \cdot E^2)^5 \cdot \beta_n^2}{E}} + t_p$$

Следует сказать, что в формуле (20) величина время цикла экскаватора принята по зависимости (2), которая также, как  $K_3$ , учитывает изменение значений среднего размера кусков взорванных пород [6, 7].

Для сравнения производительности мехлопат рассчитанной по универсальной формуле с фактическими, были установлены значения их сменной величины в производ-

ственных условиях тех разрезов Кузбасса, где применяются принятые к сравнению типы мехлопат. Производительность экскаваторов в производственных условиях, средневзвешенный размер кусков взорванной породы и параметры БВР представлены в табл. 3.

На основании полученных данных с учетом свойств пород, параметров БВР и величины средневзвешенного размера кусков взорванных пород —  $d_{cb}$ , был произведен расчет сменной производительности для всех принятых типов экскаваторов, по формулам 3, 8 и 20 (новая, универсальная). Результаты расчета производительности представлены в табл. 4.

Результаты статистической обработки сравнения значений производительности экскаватора, установленной в производственных условиях, с расчетными показали, что коэффициент вариации при расчете по предлагаемой (новой, универсальной) формуле практически в два раза ниже, по сравнению с известными (применяемыми).

На рис. 7 приведена укрупненная блок-схема комплексного (универсального) алгоритма расчета и оптимизации параметров технологического комплекса при разработке механическими лопатами вскрышных пород карьеров с применением автотранспорта в определенных условиях его работы.

#### Обсуждение результатов исследований

Предлагаемая формула (20) для расчета производительности механических лопат в зависимости от средневзвешенного размера кусков взорванных пород позволяет решать различные задачи при оптимизации параметров экскаваторно-автотранспортного комплекса с применением мехлопат (ЭАКМЛ):

- ✧ выбор величины удельного расхода ВВ в определенных условиях его работы;
- ✧ выбора типа мехлопаты путем сравнения их технико-экономических показателей по величине суммарных удельных затрат экскаваторно-автотранспортного комплекса;

Таблица 3 / Table 3

Значения величины  $K_3$  для экскаваторов с различной вместимостью ковша в зависимости от  $d_{cb}$   
The values of the  $K_3$  value for excavators with different bucket capacities, depending on the  $d_{cb}$

| Тип ЭКГ / Type of mining crawler excavator | Разрез / Quarry                                                                           | Группа пород, коэф. креп. Прот. / Rock group, Protodyakonov strength coefficient | Параметры БВР / Parameters of drilling and blasting operations |               | $d_{cb}$ , м / $d_{cb}$ , m | $Q_3$ см, $T_{cm} = 12$ м³/см |
|--------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|---------------|-----------------------------|-------------------------------|
|                                            |                                                                                           |                                                                                  | Уд. расх. ВВ; кг/м³                                            | Сетка скв., м |                             |                               |
| ЭКГ-6,3                                    | АО «УК «Кузбассразрезуголь», филиал «Калтанский угольный разрез», г. Калтан.              | III-50%, IV-50%, 6-8                                                             | 0,52                                                           | 6×6           | 0,76                        | 1752                          |
| ЭКГ-8                                      | УК «Южный Кузбасс», г. Междуреченск                                                       | III-20%, IV-80%, 7-9                                                             | 0,59                                                           | 6×6           | 0,77                        | 2520                          |
| ЭКГ-10                                     | АО «УК «Кузбассразрезуголь», филиал «Талдинский угольный разрез», г. Новокузнецк          | III-40%, IV-60%, 7-9                                                             | 0,46                                                           | 6×7           | 0,79                        | 2688                          |
| ЭКГ-12                                     | АО «УК «Кузбассразрезуголь», филиал «Краснобродский угольный разрез», пгт. Краснобродский | IV-100%, 8-11                                                                    | 0,43                                                           | 6×6           | 0,81                        | 3348                          |
| ЭКГ-15                                     | УК «Южный Кузбасс», г. Междуреченск                                                       | III-50%, IV-50%, 6-8                                                             | 0,51                                                           | 5×6           | 0,83                        | 4572                          |
| ЭКГ-18                                     | АО «УК «Кузбассразрезуголь», филиал «Краснобродский угольный разрез», пгт. Краснобродский | III-20%, IV-80%, 7-9                                                             | 0,58                                                           | 6×7           | 0,85                        | 4716                          |
| ЭКГ-25                                     | АО «УК «Кузбассразрезуголь», филиал «Бачатский угольный разрез», пгт. Бачатский           | III-30%, IV-70%, 6-8                                                             | 0,64                                                           | 7×7           | 0,87                        | 9960                          |
| РН-2800ХРС (33 м³)                         | УК «Южный Кузбасс», г. Междуреченск                                                       | III-20%, IV-80%, 7-9                                                             | 0,62                                                           | 6×7           | 0,89                        | 14004                         |
| WK-45 (41,3 м³)                            | АО «УК «Кузбассразрезуголь», филиал «Бачатский угольный разрез», пгт. Бачатский           | IV-100%, 8-11                                                                    | 0,60                                                           | 6×6           | 0,90                        | 16512                         |
| РН-4100ХРС (55,8 м³)                       | АО «УК «Кузбассразрезуголь», филиал «Талдинский угольный разрез», г. Новокузнецк          | IV-100%, 8-11                                                                    | 0,60                                                           | 6×6           | 0,92                        | 21888                         |

- ✧ выбор технических средств (автосамосвала, бурового станка, бульдозера) разной производительности и стоимости;
- ✧ комплексная задача – выбор (в пределах определенных заданных значений и типов оборудования) величины удельного расхода ВВ, типа: мехлопаты, автосамосвала, бурового станка и бульдозера.

#### Выводы

В результате проведенных исследований установлены:

1) Эмпирическая зависимость изменения коэффициента экскавации при различных значениях величины средневзвешенного размера кусков взорванных пород для механических лопат с вместимостью ковша экскаватора от 6,3 до  $E = 55,8 \text{ м}^3$ . Статистическая оценка эмпирической формулы (19), показала высокую достоверность расчета коэффициента экскавации для каждого из принятых типов мехлопат:

- ✧ среднее линейное отклонение 0,016-0,080;
- ✧ среднеквадратическое отклонение 0,048-0,098 %
- ✧ коэффициент вариации 8,40-18,41 % при среднем значении 13,3%.

2. Эмпирическая зависимость расчета величины  $K_3 = f(d_{св})$  (19) позволила установить единую универсальную формулу для определения изменения производительности меха-

нических лопат от величины среднего размера кусков взорванных пород (20).

Сравнения производительности мехлопат рассчитанные по универсальной формуле (20) с фактическими, которые были установлены в производственных условиях тех разрезов Кузбасса, где применяются принятые к сравнению типы мехлопат, показало высокую достоверность расчета по установленной формуле. Коэффициент вариации при расчете по предлагаемой (новой, универсальной) формуле – 17,7%, что практически в два раза ниже, по сравнению с известными (применяемыми).

3) Единая универсальная формула (20) для расчета производительности современных механических лопат является основой для разработки алгоритма (рис. 7) и методики оптимизации параметров основных процессов исследуемой технологии в определенных условиях разреза, и позволяет также минимизировать издержки и учитывать изменение горнотехнических условий (расстояние транспортирование пород до отвала; категорию разрабатываемых пород и т. п.) при эксплуатации технологического комплекса или на стадии проектирования, путем перебора различных типов основного оборудования (экскаваторов, транспортных средств и т. п.) с целью сокращения издержек при разработке пород экскаваторно-автомобильными комплексами.

Таблица 4 / Table 4

**Значения фактической и расчетных значений производительности экскаватора и результаты их статистического сравнения**  
**The values of the actual and calculated values of the excavator performance and the results of their statistical comparison**

| Тип ЭКГ / Type of mining crawler excavator          | $d_{св}$ , м / $d_{св}$ , m | Факт. $Q_3$ см, $\text{м}^3/\text{см}$ / Actual $Q_3$ см, $\text{м}^3/\text{см}$ | Расчетные $Q_3$ см, $\text{м}^3/\text{см}$ / Settlement $Q_3$ см, $\text{м}^3/\text{см}$ |            |             |
|-----------------------------------------------------|-----------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|------------|-------------|
|                                                     |                             |                                                                                  | По форм. 3                                                                               | По форм. 8 | По форм. 20 |
| ЭКГ-6,3                                             | 0,76                        | 1752                                                                             | 3111                                                                                     | 3802       | 2068        |
| ЭКГ-8                                               | 0,78                        | 2520                                                                             | 4200                                                                                     | 4608       | 2716        |
| ЭКГ-10                                              | 0,79                        | 2688                                                                             | 5538                                                                                     | 5606       | 3494        |
| ЭКГ-12                                              | 0,81                        | 3348                                                                             | 6737                                                                                     | 6327       | 4246        |
| ЭКГ-15                                              | с3                          | 4572                                                                             | 8530                                                                                     | 7385       | 5378        |
| ЭКГ-18                                              | 0,85                        | 4716                                                                             | 10222                                                                                    | 8246       | 6494        |
| ЭКГ-25                                              | 0,87                        | 9960                                                                             | 14130                                                                                    | 10460      | 9092        |
| ЭКГ-33                                              | 0,89                        | 14004                                                                            | 18198                                                                                    | 12544      | 11963       |
| ЭКГ-41,3                                            | 0,9                         | 16512                                                                            | 22148                                                                                    | 14716      | 14857       |
| ЭКГ-55,8                                            | 0,92                        | 21888                                                                            | 28260                                                                                    | 17670      | 19641       |
| Среднее арифметическое по форм.                     |                             |                                                                                  | 12107                                                                                    | 9136       | 7995        |
| Среднее линейное отклонение ( $\Sigma \Delta y/n$ ) |                             |                                                                                  | 3911                                                                                     | 2435       | 1161        |
| Среднеквадратическое отклонение                     |                             |                                                                                  | 4442                                                                                     | 2783       | 1419        |
| Коэффициент вариации, %                             |                             |                                                                                  | 36,7                                                                                     | 30,5       | 17,7        |



МЕЖДУНАРОДНАЯ ВЫСТАВКА

**ИНДУСТРИЯ  
КАМНЯ**

**ДОБЫЧА  
ОБРАБОТКА  
ПРИМЕНЕНИЕ**

**МОСКВА,  
ВДНХ,  
ПАВИЛЬОН 75**

**25-27  
ИЮНЯ  
2024**

[WWW.STONEFAIR.RU](http://WWW.STONEFAIR.RU)



**ИНСТИТУТ ПРОБЛЕМ КОМПЛЕКСНОГО ОСВОЕНИЯ НЕДР  
ИМ. АКАДЕМИКА Н.В. МЕЛЬНИКОВА  
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК  
КОМПЛЕКСНЫЙ ИНЖИНИРИНГ  
ГОРНО-ПЕРЕРАБАТЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЙ.  
ЦИФРОВОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ.  
(предложения для сотрудничества)**

**ЕДИНОЕ ИНФОРМАЦИОННОЕ ПРОСТРАНСТВО ГОРНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ**

Мы предлагаем создание глобальной цифровой модели предприятия в одной цифровой системе на основе использования лучших мировых и отечественных программных комплексов, созданных для моделирования горно-технических систем, что позволяет легко перестраивать разделы системы, импортировать и удалять их и на этой основе создавать любые модели, описывающие весь жизненный цикл предприятия: от разведки месторождения до проектирования (с защитой проектов в ЦКР-ТПИ Роснедр и ФАУ «Главгосэкспертиза России»), строительства (с использованием BIM – технологий), построения календарного плана производства добычных работ, создания финансовых моделей диспетчеризации т.д. Предлагаемая модель адаптирована под конкретного работника любого уровня (от рядового пользователя до генерального директора) с соответствующими заданными полномочиями. Модель позволяет вносить постоянные изменения в базу данных, подстраиваясь под постоянно меняющиеся условия (горно-геологические, технологические, производственные, финансовые и др.).

Мы предлагаем авторское и техническое сопровождение функционирования модели в течение всего срока, оговоренного Заказчиком.

**Преимущества предлагаемой цифровой модели для предприятия**

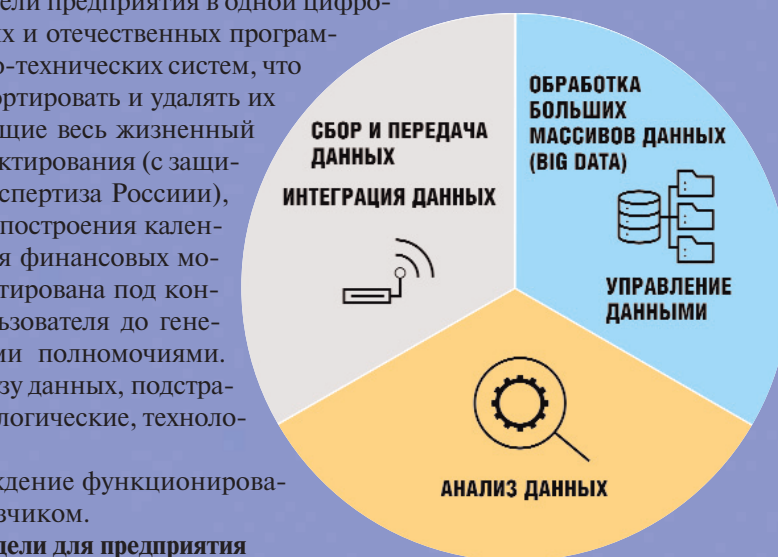
Снижение затрат на ведение операционной деятельности за счёт:

1. Создания реальной, верифицированной и оцифрованной геологической базы данных по эксплуатируемому месторождению.
2. Возможности оперативного управления предприятием с учётом постоянно меняющихся условий.
3. Комплексное планирование операционной деятельности, выбор оптимального (параметры оптимизации закладываются в модель и могут меняться на любом этапе по желанию Заказчика) плана добычи полезных ископаемых на любой период отработки месторождения.

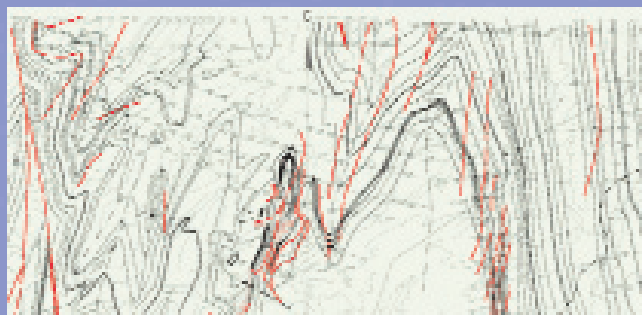
**НАПРАВЛЕНИЯ РАБОТ ИНСТИТУТА В ОБЛАСТИ МОДЕЛИРОВАНИЯ ГОРНОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ  
СОЗДАНИЕ ЦИФРОВЫХ ДВОЙНИКОВ ГОРНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ. ПОСТРОЕНИЕ 3D-МОДЕЛЕЙ МЕСТОРОЖДЕНИЙ  
(КОМПЛЕКСНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ОТ СОЗДАНИЯ ПРОЕКТА ДО ПЕРЕДАЧИ НЕДРОПОЛЬЗОВАТЕЛЮ И УПРАВЛЕНИЯ ПРЕДПРИЯТИЕМ)**

**Предложения для внедрения в производство:**

- ❖ Цифровые платформы для совместной работы в горной промышленности (ГГИС и BIM технологии).
- ❖ Глобальное ГИС-картографирование и создание цифровой модели месторождения любого формата.
- ❖ Диагностические работы на горных предприятиях – проработка и выбор наилучшего технико-экономического варианта отработки месторождений.
- ❖ Автономные централизованные системы горных предприятий от геологоразведочных работ до получения готовой продукции.
- ❖ Планирование горных работ с присоединением финансовой модели. Микро- и макрорегулирование добычных работ в соответствии с рыночными ценами и сбытом продукта.
- ❖ Возможность управления предприятием на созданной модели.

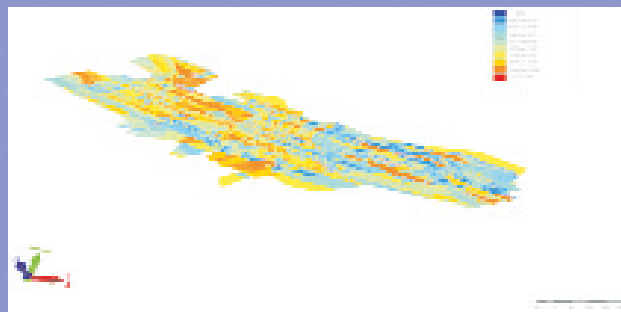


## ЭТАПЫ СОЗДАНИЯ ЦИФРОВОГО ДВОЙНИКА ПРЕДПРИЯТИЯ



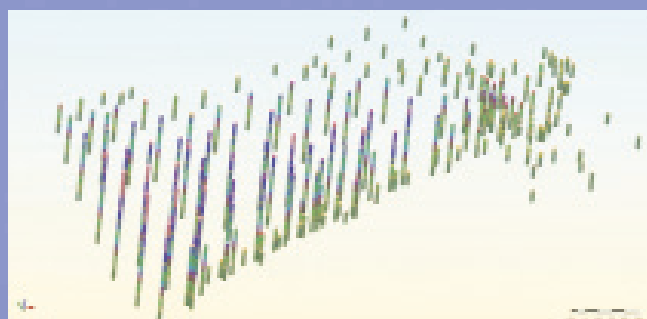
Анализ исходных данных для моделирования и оформление аннотационного отчета.

Оцифровка и верификация данных для моделирования, создание геологической базы данных.



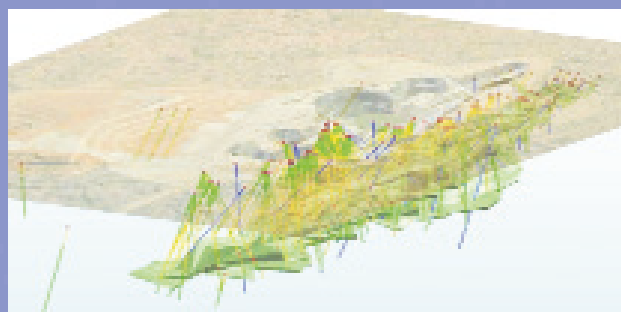
Построение каркасов угольных пластов, рудных тел, системы тектонических нарушений и межпластий.

Создание блочной модели. Оценка запасов и анализ ресурсов. Подготовка данных к оптимизации.



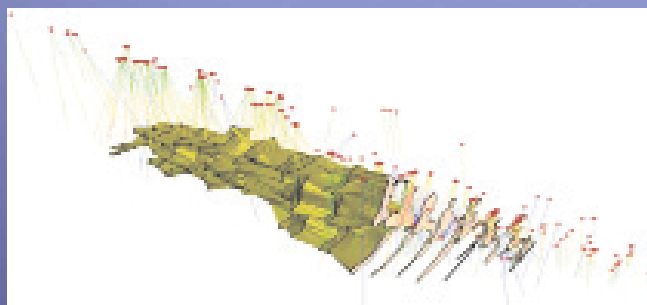
Создание, визуализация и управление базой данных скважин. Статистика и геостатистика.

Импорт, проверка, обработка и визуализация векторных и растровых данных топоповерхности.

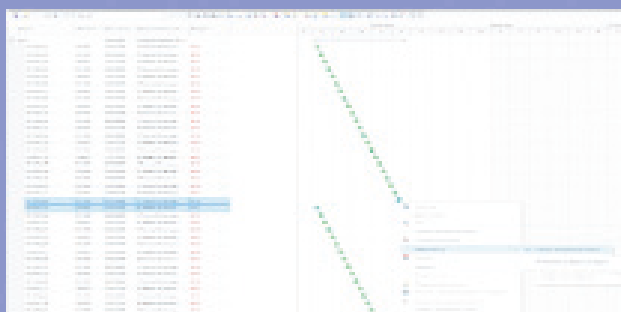


Оптимизация горных работ.

Построение технологической модели, включающей в себя каркасы лицензионных границ и горных отводов.



Каркасное моделирование. Моделирование литологии и стратиграфии.



Подготовка отчетов. Краткосрочное и стратегическое планирование добычи.

Отчет о возможной детализации и достоверности модели.

## КОНТАКТЫ

111020, Россия, г. Москва, Крюковский тупик, дом 4

[www.ipkonran.pf](http://www.ipkonran.pf) | [www.ipkonran.ru](http://www.ipkonran.ru)

+7 (495) 360-89-60

[Ipkon-dir@ipkonran.ru](mailto:Ipkon-dir@ipkonran.ru)

© ИПКОН РАН, 2022. Представленные слайды содержат (полностью или частично) материалы **интеллектуальной собственности** коллектива авторов и научной организации и запрещены к распространению без письменного разрешения ответственных лиц.



**ИНСТИТУТ ПРОБЛЕМ КОМПЛЕКСНОГО  
ОСВОЕНИЯ НЕДР ИМ. АКАДЕМИКА  
Н.В. МЕЛЬНИКОВА  
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК**

Институт проблем комплексного освоения недр  
им. Академика Н.В. Мельникова Российской академии наук  
оказывает консалтинговые услуги  
по научно-техническому сопровождению проектной  
документации

**В ФАУ «ГЛАВГОСЭКСПЕРТИЗА РОССИИ»**

Научно-техническое сопровождение осуществляется при экспертизе результатов инженерных изысканий, технической части проектной документации, а также при проверке достоверности определения сметной стоимости объектов капитального строительства.

В рамках научно-технического сопровождения возможно выполнение следующих видов работ:

1. Научная экспертиза принятых проектных решений.
2. Аудит проектной документации (ПД).
3. Выдача рекомендаций по корректировке ПД.
4. Корректировка пакета документов в соответствии с постановлением Правительства РФ №87 от 02.08.2008 года «О составе разделов проектной документации и требованиях к их содержанию» для сдачи ПД в ФАУ «Главгосэкспертиза России» и сопровождение ПД при процедуре входного контроля.
5. Консультации по подготовке ответов на замечания экспертов ФАУ «Главгосэкспертиза России».
6. Консультации по разработке Специальных технических условий.

**Контакты**

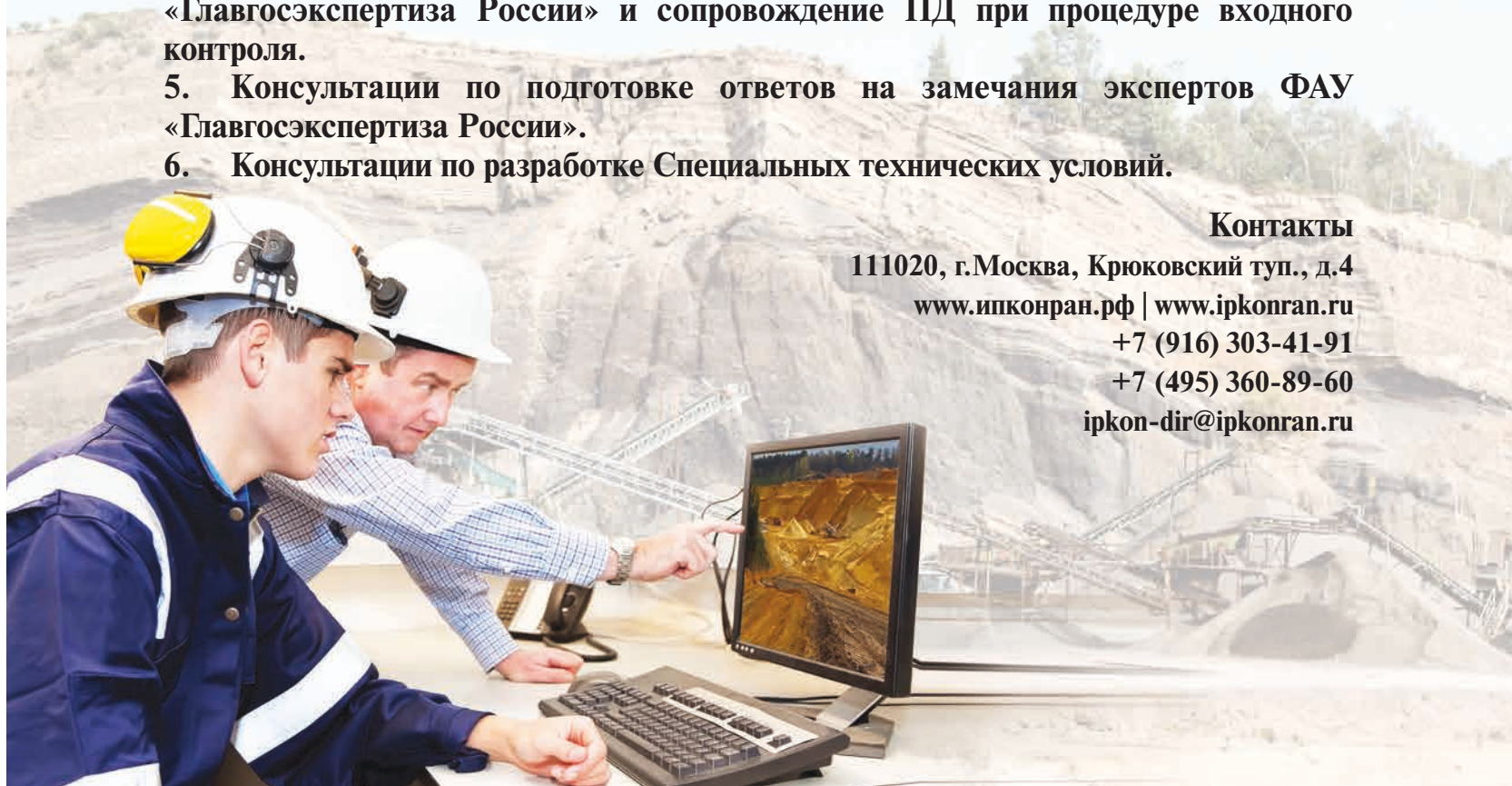
111020, г.Москва, Крюковский туп., д.4

[www.ипконран.рф](http://www.ипконран.рф) | [www.ipkonran.ru](http://www.ipkonran.ru)

+7 (916) 303-41-91

+7 (495) 360-89-60

[ipkon-dir@ipkonran.ru](mailto:ipkon-dir@ipkonran.ru)



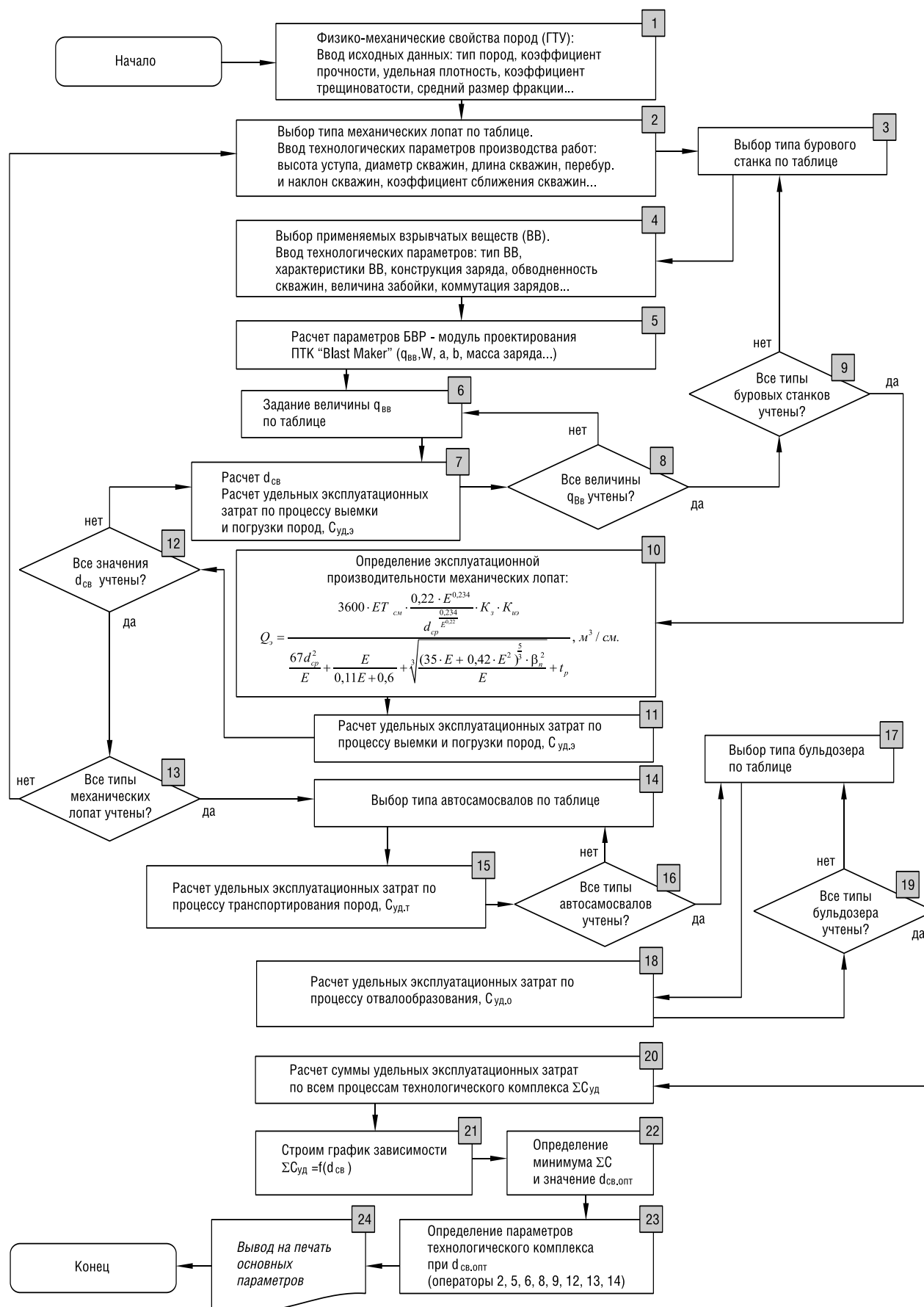


Рис. 7. Укрупненная блок-схема комплексного алгоритма оптимизации параметров ЭАКМЛ путем выбора величины удельного расхода ВВ, типа мехлопаты, автосамосвала, бурового станка и бульдозера

Fig. 7. An enlarged block diagram of a complex algorithm for optimizing the parameters of the EACML by selecting the value of the specific flow rate of explosives, such as a mechanical shovel, dump truck, drilling rig and bulldozer ■

# ЛИТЕРАТУРА

1. Ненашев, А.С. Развитие и состояние применяемых видов технологии ведения горных работ и систем разработки на разрезах Кузбасса / А.С. Ненашев, В.С. Федотенко, Н.А. Федотенко // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. - 2023. - № 3. - С. 249-268.
2. Ненашев, А.С. Организационные условия высокопроизводительной работы мощных экскаваторно-автотранспортных комплексов на разрезах / А.С. Ненашев, В.С. Федотенко // Маркшейдерия и недропользование. - 2019. - № 6(104). - С. 49-52.
3. Колесников, В.Ф. Применение экскаваторов большой производственной мощности на разрезах Кузбасса / В.Ф. Колесников, А.И. Корякин // Вестник КузГТУ. - 2012. - № 4. - С. 24-25.
4. Dindarioo, S.R. Measuring the effectiveness of mining shovels / S.R. Dindarioo, E. Siami-Irdemoosa, S. Frimpong // Mining Engineering. - 2016. - № 68(3). - P. 45-50. - DOI:10.19150/me.6501.
5. Исайченко, А.Б. Оптимизация параметров технологии разработки полускальных вскрышных пород экскаватором Bucyrus 495HD на разрезе «Тугнуйском» / А.Б. Исайченко // Горный информационно-аналитический бюллетень. - 2015. - № 6. - С. 211-215.
6. Бирюков, А.В. Временная методика расчета параметров взрывной отбойки пород на угольных разрезах / А.В. Бирюков, Н.Я. Репин и др. - М.: Типография ИГД им. А. А. Скочинского, 1976. - 50 с.
7. Репин, Н.Я. Буровзрывные работы на угольных карьерах / Репин Н.Я., Богатырев В.П., Буткин В.Д. и др. - М.: Недра, 1987. - 254 с.
8. Ташкинов, А.С. Сравнительная оценка производительности карьерных экскаваторов при разработке взорванных пород / А.С. Ташкинов, А.А. Сысоев, И.А. Ташкинов // Вестник КузГТУ. - 2009. - №4. - С. 17- 20.
9. Кононенко, Е.А. Влияния кусковатости взорванных пород на производительность экскаватора Bucyrus 495HD / Е.А. Кононенко, А.Б. Исайченко // Маркшейдерия и недропользование. - 2014. - № 6. - С.17-19.
10. Вилкул, Ю.Г. Влияние гранулометрического состава взорванной горной массы на технико-экономические показатели работы карьеров / Ю.Г. Вилкул, В.В. Перегудов // Криворожский технический университет, разработка рудных месторождений. - 2011. - № 94. - С. 3-7.
11. Hai, X. Research on selection and matching of truck-shovel in oversized open-pit mines / X. Hai, L. Funchun, L. Jiangnan, L. Taoying // Applied sciences. - 2023. - № 13 (6). - P. 1-11. - DOI:10.3390/app13063851
12. Казангапов, А.Е. Зависимость производительности экскаватора от кусковатости взорванной породы на Житикаринском карьере / А.Е. Казангапов, А.Е. Куттыбаев, Г. Саменов и др. // Вестник КазНТУ. - 2006. - № 2. - С. 153-156.
13. Боровиков, В.П. Statistica. Искусство анализа данных на компьютере: для профессионалов / В.П. Боровиков. - СПб, 2003. - 688 с.
14. Репин, Н.Я. Выемочно-погрузочные работы: Учеб. Пособие / Н.Я. Репин, Л.Н. Репин. - М.: издательство «Горная книга», 2010. - 267 с.
15. Друкованый, М.Ф. Влияние дробления пород на эффективность технологических процессов открытой разработки / М.Ф. Друкованый, Б.Н. Тартаковский и др. - Киев: Наукова думка, 1974. - 271 с.
16. Ржевская, С.В. Исследование разрыхляемости скальных и полускальных пород: автореф. дис. ... канд. техн. наук / С.В. Ржевская. - М.: МГИ, 1979. - 17 с.

# REFERENCES

1. Nenashev AS, Fedotenko VS, Fedotenko NA. The development and state of the applied types of mining technology and mining systems in the Kuzbass sections. *Proceedings of Tula State University. Earth Sciences*. 2023; 3: 249-268. (In Russ.).
2. Nenashev AS, Fedotenko VS. Organizational conditions of high-performance operation of powerful excavator-motor transport complexes in sections. *Surveying and subsoil use*. 2019;6(104):49-52. (In Russ.).
3. Kolesnikov VF, Korjakin AI. The use of excavators of high production capacity in the Kuzbass mines. *Vestnik KuzGTU*. 2012;4: 24-25. (In Russ.).
4. Dindarioo SR, Siami-Irdemoosa E, Frimpong S. Measuring the effectiveness of mining shovels. *Mining Engineering*. 2016;68(3):45-50. DOI:10.19150/me.6501.
5. Isajchenkov AB. Optimization of the parameters of the technology for the development of semi-horizontal overburden by the Bucyrus 495HD excavator at the Tugnuysky section. *Gornyy informacionno-analiticheskij bjulleten'*. 2015;6:211-215. (In Russ.).
6. Birjukov AV, Repin NJa, Panachev IA et al. A temporary method for calculating the parameters of explosive rock stripping at coal mines. - М.: Tipografija IGD im. A. A. Skochinskogo, 1976. - 50 p.
7. Repin NJa, Bogatyrev VP, Butkin VD et al. Drilling and blasting operations at coal pits. - М.: Nedra, 1987. - 254 p.
8. Tashkinov AS, Sysoev AA, Tashkinov IA. Comparative evaluation of the productivity of quarry excavators in the development of blasted rocks. *Vestnik KuzGTU*. 2009;4:17- 20. (In Russ.).
9. Kononenko EA, Isajchenkov AB. The impact of the lumpiness of blasted rocks on the performance of the Bucyrus 495HD excavator. *Surveying and subsoil use*. 2014;6:17-19. (In Russ.).
10. Vilkul JuG, Peregudov VV. The influence of the granulometric composition of the exploded rock mass on the technical and economic performance of quarries. *Krivoy Rog Technical University, development of ore deposits*. 2011;94:3-7. (In Russ.).
11. Hai X, Funchun L, Jiangnan L et al. Research on selection and matching of truck-shovel in oversized open-pit mines. *Applied sciences*. 2023;13(6):1-11. DOI:10.3390/app13063851.
12. Kazangapov AE, Kuttybaev AE, Samenov G et al. Dependence of excavator performance on the lumpiness of the blasted rock at the Zhitikarinsky quarry. *Vestnik KazNTU*. 2006;2:153-156. (In Russ.).
13. Borovikov VP. Statistica. Iskusstvo analiza dannyh na komp'yutere: dlja professionalov [Statistica. The art of data analysis on a computer: for professionals]. - SPb, 2003. - 688 p.
14. Repin NJa, Repin LN. Vyemочно-pogruzochnye raboty: Ucheb. Posobie [Excavation and loading operations: A textbook]. - М.: izdatel'stvo «Gornaja kniga», 2010. - 267 p.

15. Drukovanyj MF, Tartakovskij BN, Vishnjakov VS et al. Vlianie droblenija porod na jeffektivnost' tehnologicheskikh processov otkrytoj razrabotki [The impact of rock crushing on the efficiency of open-pit mining processes]. - Kiev: Naukova dumka, 1974. - 271 p.
16. Rzhetskaja SV. Investigation of the looseness of rocky and semi-rocky rocks: abstract. dis. ... candidate of Technical Sciences. - M.: MGI, 1979. - 17 p. (In Russ.).

## ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

**Федотенко Виктор Сергеевич:**

доктор технических наук,  
заместитель директора по научной работе,  
заведующий отделом,  
ИПКОН РАН,  
г. Москва, Российская Федерация,  
e-mail: victorfedotenko@gmail.com

**Чаплыгин Валерий Васильевич:**

кандидат технических наук,  
доцент,  
зав. кафедрой открытых горных работ и электромеханики,  
ФГБОУ ВО «Сибирский государственный индустриальный университет»,  
г. Новокузнецк, Российская Федерация,  
e-mail: chief.v.v@yandex.ru

**Матвеев Андрей Васильевич:**

старший преподаватель,  
кафедра открытых горных работ и электромеханики,  
ФГБОУ ВО «Сибирский государственный индустриальный университет»,  
г. Новокузнецк, Российская Федерация,  
e-mail: matveev-av@yandex.ru

## INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

**Fedotenko Viktor Sergeevich:**

Doctor of Technical Sciences,  
Deputy Director for Scientific Work,  
Head of the Department,  
IPCON RAS,  
Moscow, Russian Federation,  
e-mail: victorfedotenko@gmail.com,  
<https://orcid.org/0000-0002-2082-6040>

**Chaplygin Valery Vasilyevich:**

Candidate of Technical Sciences,  
Associate Professor,  
Head of the Department of open-pit mining and electromechanics,  
Siberian State Industrial University,  
Novokuznetsk, Russian Federation,  
e-mail: chief.v.v@yandex.ru

**Matveev Andrey Vasilyevich:**

Senior Lecturer,  
Department of Open-pit Mining and Electromechanics,  
Siberian State Industrial University,  
Novokuznetsk, Russian Federation,  
e-mail: matveev-av@yandex.ru

**КРИТЕРИИ АВТОРСТВА / CONTRIBUTION:**

Федотенко В.С. — разработка концепции: формирование идеи, формулировка или развитие ключевых целей и задач / Fedotenko V.S. — concept development: formation of an idea, formulation or development of key goals and objectives

Чаплыгин В.В. — утверждение окончательного варианта: принятие ответственности за все аспекты работы, целостность всех частей статьи и её окончательный вариант / Chaplygin V.V. — approval of the final version: taking responsibility for all aspects of the work, the integrity of all parts of the article and its final version

Матвеев А.В. — проведение исследования: проведение экспериментов, сбор данных, анализ и интерпретация полученных данных / Matveev A.V. — conducting research: conducting experiments, collecting data, analyzing and interpreting the data obtained.

**КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ / CONFLICT OF INTEREST:**

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов. / The authors declare no conflict of interest.



## КАЗАНСКИЙ ИНСТИТУТ ГЕОЛОГИИ НЕФТЕГАЗОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

**Информируем Вас**

Подготовка студентов в Институте геологии и нефтегазовых технологий ведется по 2-м направлениям:  
05.03.01 Геология и 21.03.01 «Нефтегазовое дело».

Контакты : 420008, Казань, Кремлевская 4/5,  
Институт геологии нефтегазовых технологий  
Тел/факс: (843) 233-71-61. E-mai: geofak@kpfu.ru



# WWW.N-GN.RU

## ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЯРАКТИНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ ВЫРАВНИВАНИЯ ПРОФИЛЯ ПРИЕМИСТОСТИ НА ОСНОВЕ БИОПОЛИМЕРОВ

*В.В. Четверикова, Н.Е. Механиков,*

*Иркутский национальный исследовательский технический университет, г. Иркутск, Россия*

**Аннотация:** Интегрированное в территориальные границы Иркутской области Ярактинское гидрокарбонное месторождение представляет собой одно из ключевых активов в сфере добычи сырой нефти и подвергается активным экстракционным процедурам с 1970-х годов. Данное месторождение характеризуется ограниченными параметрами проницаемости и неоднородными свойствами нефтеносных пластов, что обуславливает высокую сложность эффективной экстракции углеводородов. Традиционно для оптимизации коэффициента извлечения нефти на аналогичных объектах применяется методология выравнивания профиля проницаемости. Установлено, что эффективность данного подхода существенно ограничена геолого-структурными характеристиками. Следовательно, возникает потребность в разработке более эффективных механизмов увеличения эксплуатационной эффективности Ярактинского месторождения. На текущий момент месторождение сталкивается с множеством проблем с точки зрения эксплуатации, в числе которых — снижение коэффициента извлечения нефти из-за ограниченной проницаемости пластов и высокого уровня обводненности. Профиль проницаемости нагнетательных скважин к тому же недостаточно гомогенен, что дополнительно гиперболизирует проблематику нефтеотдачи. Эти факторы суммарно привели к инфляции операционных расходов и деградации экономической эффективности эксплуатационного процесса. В рамках решения сложившихся задач перед Ярактинским месторождением были осуществлены исследования по эффективизации разработки с использованием технологий увеличения нефтеотдачи пластов на основе ксантановых композиций с целью оптимизации профиля проницаемости инъекционных скважин. Исследования направлены на расширение аппликативных возможностей биополимеров в более широком спектре геолого-структурных условий. Результаты исследований свидетельствуют о существенной оптимизации метода коррекции профиля проницаемости, что в свою очередь способствует увеличению нефтеотдачи на 12-15 % и редукции операционных затрат на 20-25 %. Результаты исследований могут быть полезными при дальнейшей эксплуатации месторождения в условиях повышенной обводнённости.

**Ключевые слова:** месторождение, профиль приемистости, биополимер, исследование.

**Для цитирования:** Четверикова В.В., Механиков Н.Е. Повышение эффективности эксплуатации Ярактинского месторождения с применением выравнивания профиля приемистости на основе биополимеров // Маркшейдерия и недропользование. 2024. №1. С. 32-38. DOI: 10.56195/20793332\_2024\_1\_32\_38.

**Благодарность:** авторы выражают благодарность Александру Владимировичу Карпикову за проведенную экспертизу научной работы и Григорию Родионовичу Романову за оказанное содействие и полезные замечания, касаемые материала статьи.

## IMPROVING THE EFFICIENCY OF THE YARAKTINSKOYE FIELD OPERATION USING THE ALIGNMENT OF THE PICKUP PROFILE BASED ON BIOPOLYMERS

*V.V. Chetverikova, N.E. Mehanikov,*

*Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russia*

**Abstract:** Integrated within the territorial boundaries of the Irkutsk region, the Yarakhtinskoye hydrocarbon field is one of the key assets in the field of crude oil production and has been subject to active extraction procedures since the 1970s. This field is characterized by limited permeability parameters and heterogeneous properties of oil-bearing formations, which makes effective extraction of hydrocarbons highly difficult. Traditionally, to optimize the oil recovery factor at similar facilities, the permeability profile leveling methodology is used. It has been established that the effectiveness of this approach is significantly limited by geological and structural characteristics. Consequently, there is an urgent need to develop more effective mechanisms to increase the operational efficiency of the Yarakhtinskoye field. At the moment, the field is facing many problems from an operational point of view, including a decrease in the oil recovery factor due to limited permeability of the formations and high water cut. The permeability profile of injection wells is also not homogeneous enough, which further exaggerates the problem of oil recovery. These factors collectively led to inflation of operating costs and degradation of the economic efficiency of the operating process. As part of solving the existing problems facing the Yarakhtinskoye

field, research was carried out on the efficiency of development using enhanced oil recovery technologies based on xanthan compositions in order to optimize the permeability profile of injection wells. Research is aimed at expanding the application capabilities of biopolymers in a wider range of geological and structural conditions. The research results indicate a significant optimization of the method for correcting the permeability profile, which in turn helps to increase oil recovery by 12-15% and reduce operating costs by 20-25%. The research results may be useful for further exploitation of the field under conditions of increased water cut.

**Keywords:** deposit, pickup profile, biopolymer, research.

**For citation:** Chetverikova V.V., Mehanikov N.E. Improving the efficiency of the Yarakinskoye field operation using the alignment of the pickup profile based on biopolymers. Surveying and subsoil use. 2024;(1): 32-38. (In Russ.). DOI: 10.56195/20793332\_2024\_1\_32\_38.

**Gratitude:** The authors express their gratitude to Alexander Vladimirovich Karpikov for the expert examination of the scientific work and Grigory Rodionovich Romanov for the assistance and useful comments regarding the material of the article.

В добывающей отрасли, в частности в нефтегазовой сфере, особенное значение приобретает вопрос оптимизации операционной эффективности с целью максимизации фактора восстановления углеводородов и снижения эксплуатационных издержек [1]. Одним из ключевых механизмов, предназначенных для решения этого комплексного задания, является коррекция гидродинамического профиля проницаемости применительно к инъекционным скважинам. Данный метод особенно актуален, когда пластовый коллектор отличается высокой степенью неоднородности и, как следствие, неравномерностью коэффициента проницаемости [2].

При акцентировании внимания на применении полимерных реагентов для целей коррекции гидродинамического профиля особый интерес представляют биополимерные составы. Биополимеры, которые могут быть как природного, так и синтетического происхождения, характеризуются набором специфических физико-химических свойств, включая повышенные вязкостные характеристики и биоразлагаемость [3].

В данном контексте биополимерные реагенты способны обеспечить диффузионное проникновение в поровое пространство коллектора, обеспечивая тем самым оптимальное перераспределение инжектируемой жидкости и, как конечный результат, улучшение факторов восстановления углеводородов. В дополнение к этому использование биополимеров в качестве корректирующего реагента совместимо с принципами экологической безопасности, минимизируется вероятность негативного воздействия на водные экосистемы и окружающую среду.

Количественные исследования в данной области подтверждают значительный потенциал применения биополимеров в задачах коррекции профиля проницаемости [4]. Индикативным в этом отношении является факт повышения коэффициента извлечения углеводородов на 17-22% и снижения операционных издержек на 15-20%.

В контексте нефтегазовой отрасли оптимизация операционной эффективности скважин приобретает критическую значимость в целях наращивания коэффициента нефтеотдачи и минимизации операционных издержек. В данном аспекте применение биополимерных суспензий как агентов для коррекции профиля пластовой проницаемости нагнетательных скважин обеспечивает серьезный потенциал. В данной сфере биополимеры — органические или синтезированные макромолекулярные соединения с биodeградируемыми и нетоксичными характеристиками — выступают в качестве экологически благоприятных и безопасных альтернатив. Способствуя регуляции реологических свойств и коэффици-

ента фильтрации закачиваемых рабочих сред, эти вещества улучшают распределение потока в пласте, увеличивая таким образом нефтеотдачу на 12-18% [5]. Экономическая эффективность и широкая доступность биополимеров делают их оптимальным решением для нефтедобывающих предприятий, стремящихся к устойчивому росту операционных показателей.

### Цель исследований

Повышение эффективности эксплуатации Ярактинского месторождения с применением выравнивания профиля приемистости на основе биополимеров.

### Материал и методы исследования

Селекция биополимеров для инъекционных операций требует интегрального подхода, включающего в себя несколько ключевых параметров: повышение реологических характеристик инъекционного флюида, минимизацию фильтрационных потерь, химическую совместимость с другими реагентами, применяемыми на месторождении, а также термо- и бароустойчивость. Отобранный биополимер должен сохранять функциональную активность даже в условиях высоких давлений и температур до 120°C, что является обыденной практикой на многих нефтяных месторождениях.

Точная концентрация биополимеров в инъекционном растворе необходима для достижения желаемых реологических и фильтрационных характеристик. Перед закачкой в скважину раствор должен быть тщательно подготовлен и отфильтрован с целью исключения примесей, которые могут угрожать операционной эффективности. Соблюдение данной методики позволяет нефтедобывающим компаниям улучшить операционные показатели на 15-20% и повысить степень извлечения углеводородов.

Перед тем как перейти к масштабному применению биополимеров для коррекции профиля приемистости на Ярактинском месторождении, следует провести комплексные диагностические и инженерные мероприятия для обеспечения качественной стабильности реагента. Имеется необходимость в проведении строгого контроля качества, чтобы гарантировать, что выбранный биополимер отвечает всем промышленным стандартам и нормативам. Качество влияет на производительность коррекции профиля приемистости, поэтому это становится критическим фактором в обеспечении долгосрочной эффективности данного метода [6, 11].

С целью оптимизации процедуры модификации профиля приемистости нагнетательных скважин адекватная подготовка и обучение присутствующего технического персонала являются неотъемлемым элементом. Это подразумевает не только обоснованные знания по манипулированию соот-

ветствующими биополимерными агентами, но и специализированное оборудование, которое должно быть применено в технологическом процессе [7]. По прогнозам, соблюдение процедур безопасности может снизить вероятность операционных рисков на 25–30%, тем самым сокращая экологические и социальные издержки. Также высокий уровень экспертизы персонала в области хранения и манипуляции с биополимерами увеличивает срок службы этих химических агентов на 15–20%, обеспечивая их длительную эффективность.

Контроль качества инженерно-технических систем и оборудования, используемого в процессе, занимает отдельную позицию в цепочке обеспечения эффективности. Например, калибровка промышленных датчиков давления должна производиться с точностью до  $\pm 0,1\%$ , чтобы гарантировать надежное сопряжение с вычислительными системами и точный контроль параметров рабочих жидкостей. Элементы системы подачи биополимеров должны быть проанализированы на наличие возможных загрязнителей с концентрацией не более 0,05 % для минимизации адсорбции и деградации активного вещества.

### Результаты исследования

В контексте реализации процедуры выравнивания профиля приемистости на основе биополимеров безопасность операций представляет собой критический фактор. Строгое соблюдение протоколов и регламентов может снизить риск инцидентов на 40–50%, согласно данным внутренних аудитов. Это включает все стадии обработки химических агентов от транспортировки и хранения до их финальной утилизации [8, 9]. Периодический мониторинг состояния скважин и прилегающих зон обязателен для раннего выявления и устранения экологических или инженерных рисков [10].

Процесс инъекции биополимерного раствора в нагнетательные скважины представляет собой критический этап, в ходе которого осуществляется фазовый переход биополимера в поровое пространство, генерируется интерфациальная структура с улучшенными параметрами проницаемости. Исследования показывают, что эффективность добычи нефти может возрасти на 20–30% (рис. 1) вследствие оптимизации потоковых характеристик нефтеносного пласта. Обычно для этих целей используются растворы на основе экологически безопасных и биосовместимых биополимеров, таких как ксантановая и гуаровая камеди, концентрация которых в рабочем растворе колеблется в пределах 0,1–0,5 мас.% для достижения оптимальных реологических свойств.

Для гарантирования оптимальных исходов в рамках процесса гомогенизации permeable профиля наличие адекватно подготовленного и образованного персонала представляет собой неперемное условие. Интенсивный курс подготовки должен охватывать детализированное изучение методологий управления биополимерными средствами и соответствующей аппаратурой. Необходимо принять абсолютно все предписанные меры безопасности для минимизации потенциальных рисков как для человеческой жизни, так и для экосистемы.

Особо стоит акцентировать внимание на поддержании и сохранности физико-химических свойств применяемого биополимера. Этот аспект налагает обязательства по систематической калибровке и очистке участвующего в процессе оборудования. К примеру, недопустимо наличие химических примесей, которые могут негативно сказаться на функцио-



Рис. 1. Сводная характеристика прогнозируемой эффективности использования биополимеров

Fig. 1. Summary of the predicted efficiency of the use of biopolymers

нальной активности биополимера. Следует обеспечивать не только техническую исправность, но и оптимальные параметры давления и скорости потока при инъекции биополимера в эксплуатационные скважины. Комплексная реализация этих протоколов возможна только при строгом соблюдении данных инструкций, что, по статистическим данным, способно на 23–30% увеличить производительность и экономическую эффективность эксплуатации Ярактинского месторождения. При реализации процесса гомогенизации permeable профиля на основе биополимерных агентов преобладание в вопросах безопасности является неотъемлемым фактором. Следует строго придерживаться всех существующих протоколов и гайдлайнов по безопасности, что включает в себя адекватную транспортировку, хранение и утилизацию химически активных реагентов. Контроль безопасности должен регулярно включать в себя мониторинг эксплуатационных скважин и прилегающих зон на предмет выявления потенциальных опасностей с последующей адаптацией мер безопасности [10].

Введение биополимерного раствора в эксплуатационные скважины оказывает преобразовательный эффект на структуру пласта. Этот процесс включает в себя синтез обширной полимерной матрицы, благоприятствующей улучшению гидродинамических характеристик пласта. Эффективность добычи углеводородов может возрасти на 15–20% благодаря упрощению их миграции к эксплуатационным скважинам. Композиция биополимерного раствора, как правило, представляет собой гармоничное сочетание экологически нейтральных полимеров, таких как ксантановая и гуаровая камеди, что исключает токсичное воздействие на окружающую среду.

Систематическое регулирование профиля проницаемости при помощи биополимерных агентов выявляет существенные синергетические преимущества в контексте оптимизации эксплуатационных показателей Ярактинского нефтяного месторождения. Проведенные в ходе изучения вопроса количественные анализы геологических характеристик данного месторождения аттестуют наличие обширных ресурсов, сравнимых с качествами сланцевых запасов Соединенных Штатов Америки.

Применение биополимерных комплексов в процессах модификации профиля проницаемости демонстрирует возможность амплификации работы нагнетательных скважин, что статистически подтверждает рост коэффициента нефтеотдачи из низкопроницаемых резервуаров на 18%. Эффективность данного методологического подхода в повышении

уровней проницаемости и минимизации водопритока, обусловленного модификацией свойств ксантанового экзополисахарида, была доказана на уровне значимости  $p < 0,05$ .

Одной из ключевых утилитарных характеристик использования биополимерных агентов в качестве корректирующего средства является возможность высокоэффективного мониторинга областей с недостаточными показателями проницаемости. Комплексный анализ параметров нагнетательных скважин позволяет идентифицировать зоны с отклонениями в проницаемости на 12-15%, которые можно последующим образом оптимизировать для более рационального распределения ресурсов и амплификации коэффициента нефтеотдачи на 7-10%.

С применением биополимеров в качестве модулирующих агентов можно точно воздействовать на специфические сегменты резервуара, что усиливает процесс нагнетания, делая его более целенаправленным и эффективным. Эта оптимизация в свою очередь индуцирует увеличение общего коэффициента нефтеотдачи и максимизирует эффективность всего процесса закачки благодаря более гомогенному распределению закачиваемых субстанций в резервуаре. Строго говоря, применение биополимеров для модуляции профиля проницаемости предоставляет множество операционных преимуществ в контексте повышения эксплуатационной эффективности Ярактинского месторождения.

Функциональная оптимизация профиля проницаемости через применение биополимерных систем демонстрирует амплитудный спектр преимуществ, включая кумулятивный прирост производительности инъекционных горизонтов. В условиях геолого-технологической комплексности, где гетерогенные свойства пласта являются нормой, эта методика улучшает распределение инжестрированных флюидов, способствуя таким образом усилению эффективной зоны охвата и последующему увеличению объема добычи углеводородов. Посредством интеграции последних достижений в сфере искусственного интеллекта и больших данных операторы способны адаптировать инъекционные стратегии с точностью до 7-12% для максимизации эксплуатационного потенциала пластовых систем [11].

Дополнительным не менее важным аспектом является экономическая эффективность: оптимизация профиля проницаемости на основе биополимеров может динамически снизить операционные издержки до 18-25% (рис. 2). Эффективное распределение инжестрированных флюидов минимизирует потребление запасных сред, таких как вода, для поддержания пластового давления и проницаемости, влияя на сокращение расходов на очистку и утилизацию инъекционных сред и снижение энергетических затрат на транспортировку и рециркуляцию флюидов.

Ярактинское месторождение в Российской Федерации — это иллюстративный пример удачной реализации технологии управления профилем проницаемости с использованием ксантановых субстанций. Внедрение этой методологии привело к заметному росту коэффициента охвата пласта, измеренного в диапазоне 20-35%. Регулирование векторов фильтрации и интеллектуальная оптимизация распределения инъекционных реагентов способствовали более унифицированному зонному охвату пластовой системы, кульминируя в существенном увеличении общего коэффициента нефтеотдачи. Такой комплексный подход не только катализировал

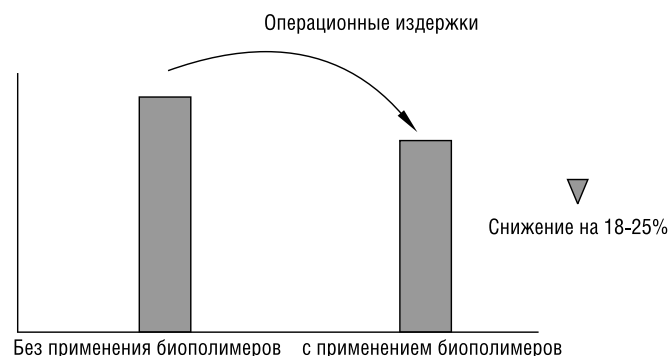


Рис. 2. Прогнозируемое снижение операционных издержек

Fig. 2. Projected reduction in operating costs

производственные показатели, но и содействовал минимизации операционных затрат и продлению жизненного цикла инъекционных скважин.

Согласно заданным параметрам, подчеркивающим желание научной тщательности и интеллектуальной глубины, важно проанализировать эффективность применения технологии выравнивания профиля приемистости на основе биополимерных материалов в контексте Ярактинского нефтяного месторождения. Особенное внимание следует уделить уникальным геологическим и пластовым характеристикам данного региона, которые могут оказать дифференцированное воздействие на результативность данного метода.

Один из существенных ограничивающих факторов, связанных с данной технологией, заключается в комплексности достижения репродуцируемых и предсказуемых исходов. Так, данная методика опирается на использование полимерных соединений с замедленными кинетическими характеристиками сшивания, которые способны проникать на субстанциальную глубину в геологический пласт, модифицируя физико-химические свойства породы и повышая, следовательно, приемистость скважин. Тем не менее на эффективность этой методологии может оказать влияние ряд переменных, в числе которых проницаемость резервуара, а также наличие естественных трещин или других аномальных геологических структур, доля которых может достигать до 30-40%.

Такие ограничения требуют детального анализа при оценке потенциальных преимуществ биополимерного выравнивания профиля приемистости в контексте оптимизации эксплуатационной эффективности Ярактинского месторождения. На практическом уровне могут возникнуть дополнительные логистические и операционные препятствия, например ограниченная доступность биополимерных субстратов или экспертного знания для реализации данного метода. Сложности могут возникнуть в различных географических регионах, а стоимостные и временные затраты на реализацию могут в некоторых случаях превышать экономически целесообразные рамки, особенно в зонах с ограниченной инфраструктурой или другими ресурсными ограничениями, где увеличение эксплуатационных расходов может достигать 15-20%.

Согласно проведенным исследовательским анализам, методология выравнивания профиля приемистости на Ярактинском нефтегазовом месторождении через биополимерную интервенцию объясняет несколько критических аспек-

тов. В частности, результаты опытных измерений свидетельствуют о статистически значимой эффективности этой технологии в контексте адаптивной управляемости нагнетательных скважин. Примечательно, что алгоритмы этой методики демонстрируют усиленную эффективность в локальных низкопроницаемых и гетерогенных резервуарах, которые составляют более 45% нефтеумовых структур в Иркутской области.

Интеграция таких биополимерных технологий в сценарии добычи способствует приросту нефтеотдачи на 18-24%, а также общей производительности месторождения на 12% (рис. 3). Однако для обеспечения максимальной адаптивности и устойчивости этой биополимерной методики критически важным является реализация серии технических рекомендаций. В первую очередь акцентируется внимание на необходимости высококачественной предварительной подготовке биополимерных составов с последующим строгим мониторингом динамических параметров, таких как скорость и давление закачки, которые должны осуществляться в пределах контрольных значений  $\pm 2\%$ .

Далее, не менее важным является регулярный аналитический оверсайт профиля приемистости. Этот процесс подразумевает количественную оценку эффективности биополимерной инъекции и быстрое внесение корректирующих мер в операционный план. Исходя из статистической изменчивости параметров, дополнительные исследовательские работы и инновационные разработки в сфере биополимерных технологий с целью их оптимизации представляют собой научно обоснованный путь для дальнейшего совершенствования этой методики. Внедрение биополимерной инъекции для стабилизации профиля приемистости представляет собой перспективную инновацию с трансформационным потенциалом в контексте устойчивой эксплуатации Ярактинского месторождения. Соблюдение оптимизированных протоколов и дальнейшая исследовательская активность могут кардинально повысить эффективность этой технологической платформы, позволяя достичь новых вершин в области добычи углеводородов.

#### Заключение

Применение биополимерных субстанций для коррекции профиля приемистости выступает в роли экономической и опционально эффективного инструмента в контексте совершенствования процессов эксплуатации углеводородных резервуаров, например, Ярактинского месторождения. Комплексный анализ параметров, включая изменение производительности месторождения и эксплуатационные затраты, указывает на положительную динамику: рост производительности на 17-23% и снижение операционных издержек на 8-12%. Такая стратегия обусловливается рядом операционных мероприятий, в числе которых выделяются качественный отбор и подготовка биополимерных составов с последующим алгоритмически

Итоги применения выравнивания профиля приемистости с использованием биополимеров

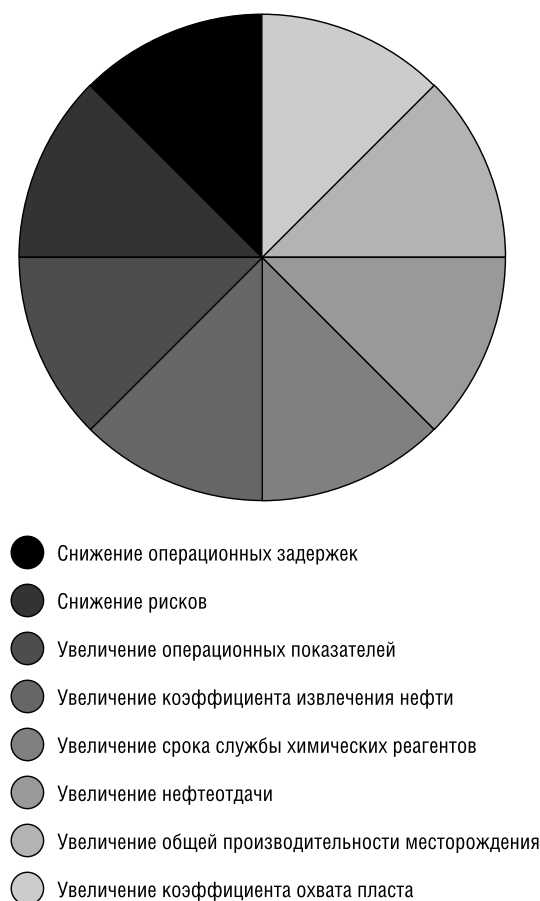


Рис. 3. Итоги применения выравнивания профиля приемистости с использованием биополимеров

Fig. 3. The results of the application of the alignment of the pickup profile using biopolymers

строгим мониторингом и аналитической оценкой параметров инъекционного процесса. Данные показатели подвергаются множественным статистическим анализам и тенденциям временных рядов, чтобы определить оптимальные диапазоны закачиваемого давления и скоростей подачи с точностью до  $\pm 1,5\%$ .

Тем не менее необходимо подчеркнуть, что хотя данная методика и демонстрирует обнадеживающие результаты на Ярактинском и аналогичных месторождениях, это не исключает потенциальных технических и экологических ограничений при адаптации данного подхода к другим геолого-петрофизическим условиям. Следовательно, акцент делается на неотложной необходимости дальнейших исследовательских работ и инженерных разработок для совершенствования текущих технологий и минимизации возможных рисков и неопределенностей. ■

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Галиев, А.Р. Утилизация нефтяных, буровых шламов, замазученных грунтов на месторождении / А.Р. Галиев, В.А. Володин // Материалы IV научно-технической конференции. - Иркутск, 2019. - С. 52-58.
2. Доньи, Д.А. Воздействие нефтедобычи на окружающую среду / Д.А. Доньи // Молодой ученый. - 2014. - № 19. - С. 298-299.
3. Дроздова, Т.И. Экологический риск от выбросов загрязняющих веществ при сжигании попутного нефтяного газа нефтегазоконденсатного месторождения / Т.И. Дроздова, Р.Н. Суковатиков // XXI век. Техносферная безопасность. - 2017. - Т. 2. № 3. - С. 88-101.

4. Елохова, И.В. Современные проблемы оценки экономической эффективности инновационных проектов / И.В. Елохова, С.Е. Малинина // Вестник Пермского ун-та. - 2014. - № 3. - С. 74-81.
5. Ленченкова, Л.Е. Повышение эффективности выработки трудноизвлекаемых запасов нефти физико-химическими методами: автореф. дис. ... д-ра техн. наук / Л.Е. Ленченкова. - Уфа, 2002. - 50 с.
6. Малютина, Т.Д. Методы анализа эффективности реальных инвестиций и особенности финансового управления ими в современных экономических условиях / Т.Д. Малютина // Инновационные методы управления современными социально-экономическими системами / под ред. О.В. Ангел. - Волгоград, 2015. - С. 94-102.
7. Маркидес, К.С. Связанная диверсификация, ключевые компетенции и результаты корпорации / П.Д. Уильямсон // Российский журнал менеджмента. - 2008. - № 6 (1). - С. 65-88.
8. Мицель, А.А. Оценка экономической эффективности инвестиционного проекта в нефтегазовой отрасли / А.А. Мицель, С.В. Козловских // Управление риском. - 2014. - № 4. - С. 3-11.
9. Воздействие нефти и нефтепродуктов на окружающую среду / А.А. Некрасова, Д.М. Привалов, О.С. Попова [и др.] // Политематический сетевой электронный научный журнал КГАУ. - 2017. - № 125. - С. 309-318.
10. Сулаева, М.В. Технология выравнивания профиля приемистости нагнетательных скважин / М.В. Сулаева // Научный альманах. - 2019. - № 8-1 (58). - С. 208-210.
11. Тимошин, А.Ф. Анализ способов утилизации нефтесодержащих отходов и разработка нового комплексного способа утилизации нефтешламов резервуарного типа / А.Ф. Тимошин, А.П. Николаев, А.М. Нитяговский, Д.А. Ложкин // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. Пенза. - 2016. - № 6. - С. 209-213.
12. Толстоногов, А.А. Оценка воздействия экологических рисков на эффективность деятельности нефтяного комплекса / А.А. Толстоногов // Фундаментальные исследования. - 2015. - № 2-1. - С. 100-103.
13. Хуснутдинов, И.Ш. Методы утилизации нефтяных шламов / И.Ш. Хуснутдинов, А.Г. Сафиулина, Р.Р. Заббаров, С.И. Хуснутдинов // Вестник Казанского технологического университета. - 2015. - № 10. - С. 213-215.
14. Шпербер, Д.Р. Разработка ресурсосберегающих технологий переработки нефтешлама / Д.Р. Шпербер // Кубанский государственный технологический университет: Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. - Краснодар, 2014. - 154 с.
15. Шпербер, Е.Р. Методы переработки нефтеотходов / Е.Р. Шпербер, Т.Н. Боровикова, Д.Р. Шпербер // Химия и технология топлива и масел. - 2011. - № 3 (565). - С. 51-56.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Galiev AR, Volodin VA. Utilization of oil, drilling sludge, oiled soils at the field. *Materials of the IV scientific and technical conference*. Irkutsk, 2019:52-58. (In Russ.).
2. Donyi DA. The impact of oil production on the environment. *Young Scientist*. 2014;19:298-299. (In Russ.).
3. Drozdova TI, Sukovatikov RN. Environmental risk from emissions of pollutants during combustion of associated petroleum gas of an oil and gas condensate field. *XXI century. Technosphere Safety*. 2017;2(3):88-101. (In Russ.).
4. Elokhoa IV, Malinina SE. Modern problems of assessing the economic efficiency of innovative projects. *Bulletin of the Perm University*. 2014;3:74-81. (In Russ.).
5. Lenchenkova LE. *Improving the efficiency of production of hard-to-recover oil reserves by physico-chemical methods: abstract of the dissertation for the degree of Doctor of Technical Sciences*. Ufa, 2002. (In Russ.).
6. Malyutina TD. Methods of analyzing the effectiveness of real investments and features of their financial management in modern economic conditions. *Innovative methods of management of modern socio-economic systems*. Volgograd, 2015:94-102. (In Russ.).
7. Markides KS., Williamson PD. Related diversification, key competencies and corporate results. *Russian Journal of Management*. 2008;6(1):65-88. (In Russ.).
8. Mizel AA, Kozlovskikh SV. Assessment of the economic efficiency of an investment project in the oil and gas industry. *Risk management*. 2014;4:3-11. (In Russ.).
9. Nekrasova AA, Privalov DM, Popova OS et al. The impact of oil and petroleum products on the environment. *Polythematic network electron. scientific journal of KGAU*. 2017;125:309-318.
10. Sulaeva M. V. Technology of leveling the intake profile of injection wells. *Scientific Almanac*. 2019;8-1(58):208-210. (In Russ.).
11. Timoshin AF, Nikolaev AP, Nityagovsky AM et al. Analysis of methods of disposal of oil-containing waste and development of a new integrated method of disposal of tank-type oil sludge. *International Journal of Applied and Fundamental Research*. Penza. 2016;6:209-213. (In Russ.).
12. Tolstonogov AA. Assessing the impact of environmental risks on the efficiency of the oil complex. *Fundamental Research*. 2015;2-1:100-103. (In Russ.).
13. Khusnutdinov ISh., Safiulina AG, Zabbarov RR, Khusnutdinov SI. Methods for utilization of oil sludge. *Bulletin of the Kazan Technological University*. 2015;10:213-215. (In Russ.).
14. Shperber DR. Development of resource-saving technologies for processing oil sludge. Kuban State Technological University: Dissertation for the degree of candidate of technical sciences. - Krasnodar, 2014. - 154 p. (In Russ.).
15. Shperber ER, Borovikova TN, Shperber DR. Methods for processing oil waste. *Chemistry and technology of fuels and oils*. 2011;3(565):51-56. (In Russ.).

## ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

**Четверикова Валентина Валерьевна:**  
кандидат геолого-минералогических наук,  
доцент кафедры нефтегазового дела,  
Институт недропользования ИРНТУ,  
г. Иркутск, Россия

**Механиков Нестор Евгеньевич:**  
студент 3-го курса,  
кафедра нефтегазового дела,  
Институт недропользования ИРНТУ,  
г. Иркутск, Россия,  
e-mail: nestor.mekhanikov@mail.ru

## INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

**Chetverikova Valentina Valeryevna:**  
Candidate of Geological and Mineralogical Sciences,  
Associate Professor of the Department of Oil and Gas Engineering,  
Institute of Subsoil Use of IRNTU,  
Irkutsk, Russia

**Mekhanikov Nestor Evgenievich:**  
3rd year student,  
Department of Oil and Gas Engineering,  
Institute of Subsoil Use of RINTU,  
Irkutsk, Russia,  
e-mail: nestor.mekhanikov@mail.ru

### КРИТЕРИИ АВТОРСТВА / CONTRIBUTION:

Авторы заявляют о равном вкладе каждого в работу над статьей / The authors declare the equal contribution of everyone to the work on the article.

### КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ / CONFLICT OF INTEREST:

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов. / The authors declare no conflict of interest.



# РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ НЕФТИ И ГАЗА ИМЕНИ И.М. ГУБКИНА

## Информируем Вас

Свою непосредственную историю Губкинский университет ведет от нефтяного факультета Московской Горной Академии, созданной по Декрету ВСНХ от 4 сентября 1918 г. В 1920 г. на должность профессора Академии был принят Иван Михайлович Губкин, а в 1922 г. он стал ее ректором. За 20-е гг. им было приложено много сил для начала формирования в стенах Академии высшего нефтяного образования.

В конце 20-х гг., когда страна вступила в период форсированной индустриализации, возникла острая потребность нефтяной промышленности в квалифицированных кадрах. В связи с этим 17 апреля 1930 г. Президиумом ВСНХ было принято решение расформировать Московскую Горную Академию имени т. Сталина и на ее основе создать шесть высших технических учебных заведений, в том числе – Московский нефтяной институт. Учитывая огромные заслуги академика Губкина в деле организации высшей школы по подготовке кадров для нефтяной промышленности, институту было присвоено имя Ивана Михайловича Губкина, а сам он был назначен первым его директором.

**Факультеты:**

- ◆ Факультет геологии и геофизики нефти и газа,
- ◆ Факультет разработки нефтяных и газовых месторождений,
- ◆ Факультет проектирования, сооружения и эксплуатации систем трубопроводного транспорта,
- ◆ Факультет инженерной механики,
- ◆ Факультет химической технологии и экологии, и др.

**Контакты :** 119991, г. Москва, проспект Ленинский, дом 65, корпус 1  
+7 (499) 507-88-88  
com@gubkin.ru




**WWW.N-GN.RU**

## ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ОХРАННЫХ КОНСТРУКЦИЙ ИЗ ОБЛЕГЧЁННЫХ ДЕРЕВЯННО-БЕТОННЫХ БЛОКОВ

*Б.Б. Луганцев, А.И. Чавкин, Шахтинский научно-исследовательский и проектно-конструкторский угольный институт (ООО «ШахтНИУИ»), г. Шахты, Россия;*

*Ю.В. Турук, Шахтинский институт (филиал) Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М. И. Платова», г. Шахты, Россия;*

*А.А. Белодедов, С.О. Версиров, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М. И. Платова», г. Новочеркасск, Россия*

**Аннотация:** В статье приведены результаты исследований эффективности применения охранных конструкций из облегченных блоков деревянно-бетонных. Применение на шахтах российского Донбасса различных видов охранных конструкций не обеспечивало удовлетворительное состояние охраняемых выработок. В связи с этим ШахтНИУИ был разработан блок деревянно-бетонный (БДБ). Первоначально приняты к серийному производству БДБ со стальной обоймой толщиной 2,0 мм. Рост цен на металл привел к появлению предложения о снижении толщины стальных обойм БДБ с 2,0 до 1,5 мм. Стендовые испытания тумб из БДБ с толщиной обойм 1,5 мм были проведены в апреле 2023 года. Тумбы из БДБ с толщиной обойм 2,0 мм были испытаны ранее, в декабре 2015 года. Уменьшение толщины стальных обойм с 2,0 до 1,5 мм привело к росту податливости БДБ. Во время шахтных испытаний установлено, что достижение относительной податливости тумб из БДБ с толщиной обоймы 1,5 мм, при которой начнутся разрывы обойм, может произойти через 1,46 года при остаточном сроке эксплуатации штрека 6,3 года. Экономия средств на изготовлении БДБ может увеличить расходы на поддержание выработок за счет необходимости их перекрепления.

**Ключевые слова:** блок деревянно-бетонный, охранный конструкция, деформационно-силовая характеристика, экономическая эффективность.

**Для цитирования:** Луганцев Б.Б., Чавкин А.И., Турук Ю.В., Белодедов А.А., Версиров С.О. Оценка эффективности применения охранных конструкций из облегченных деревянно-бетонных блоков // Маркшейдерия и недропользование. 2024. №1. С. 39-49. DOI: 10.56195/20793332\_2024\_1\_39\_49.

## EVALUATION OF EFFECTIVENESS OF THE USE OF SECURITY STRUCTURES MADE OF LIGHTWEIGHT WOODEN-CONCRETE BLOCKS

*B.B. Lugancev, A.I. Chavkin, Limited Liability Company «Shakhty Research and design and engineering Coal Institute» (LLC «Shakhtniui»), Shakhty, Russia;*

*J.V. Turuk, Shakhty Institute (branch) Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «South Russian State Polytechnic University (NPI) named after M.I. Platov», Shakhty, Russia;*

*A.A. Belodedov, S.O. Versilov, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «South Russian State Polytechnic University (NPI) named after M. I. Platov», Novocherkassk, Russia*

**Abstract:** The article presents the results of research on the effectiveness of the use of guard structures made of lightweight wooden-concrete blocks. The use of various types of guard structures in the mines of the Russian Donbass did not provide a satisfactory condition of the protected workings. In this regard, a wooden-concrete block (BDB) was developed by Shakhtniui. Initially, BDB with a 2.0 mm thick steel clips were trial and accepted for serial production.

The increase in metal prices led to the appearance of a proposal to reduce the thickness of BDB steel clips from 2.0 to 1.5 mm. Bench tests of bollards made of BDB with a thickness of 1.5 mm clips were carried out in April 2023. Bollards made of BDB with 2.0 mm thick clips were trials earlier in December 2015. Reducing the thickness of the steel clips from 2.0 to 1.5 mm led to an increase in the malleability of the BDB. At the mine place of testing, the achievement of relative compliance of the bollards made of BDB with a 1.5 mm clip thickness, at which the clips will begin to rupture, may occur in 1.46 years with a residual service life of 6.3 years. Saving money on the manufacture of BDB can increase the cost of guard by re-anchoring the workings. Cost savings on the manufacture of BDB can increase the cost of maintaining workings due to the need to re-anchor it.

**Keywords:** wooden-concrete block, guard structure, deformation-force characteristic, economic efficiency.

**For citation:** Lugancev B.B., Chavkin A.I., Turuk J.V., Belodedov A.A., Versilov S.O. Evaluation of effectiveness of the use of security structures made of lightweight wooden-concrete blocks. Surveying and subsoil use. 2024;(1): 39-49. DOI: 10.56195/20793332\_2024\_1\_39\_49.

Применение на шахтах российского Донбасса различных видов деревянных и бетонных охранных конструкций (деревянных оградных рядов, кустов, бутокостров, накатных костров, тумб из железобетонных блоков) не обеспечивало удовлетворительного состояния охраняемых выработок [1-5].

В связи с этим ШахтНИИУИ был разработан блок деревянно-бетонный (БДБ) (Блоки деревянно-бетонные БДБ 00.000). Технические требования. Шахты: ШахтНИИУИ, 1998. 8 с.) (рис. 1), который представляет собой цилиндр, состоящий на 70-85 % из отрезков круглого леса диаметром 8-16 см в тонкостенной стальной обойме с заполнением пустот внутри обоймы песчано-цементным раствором (Блоки деревянно-бетонные БДБ. Технические условия ТУ 4173.001. 00173931-2002. Ростовуголь. Шахты, 2002. 23 с).

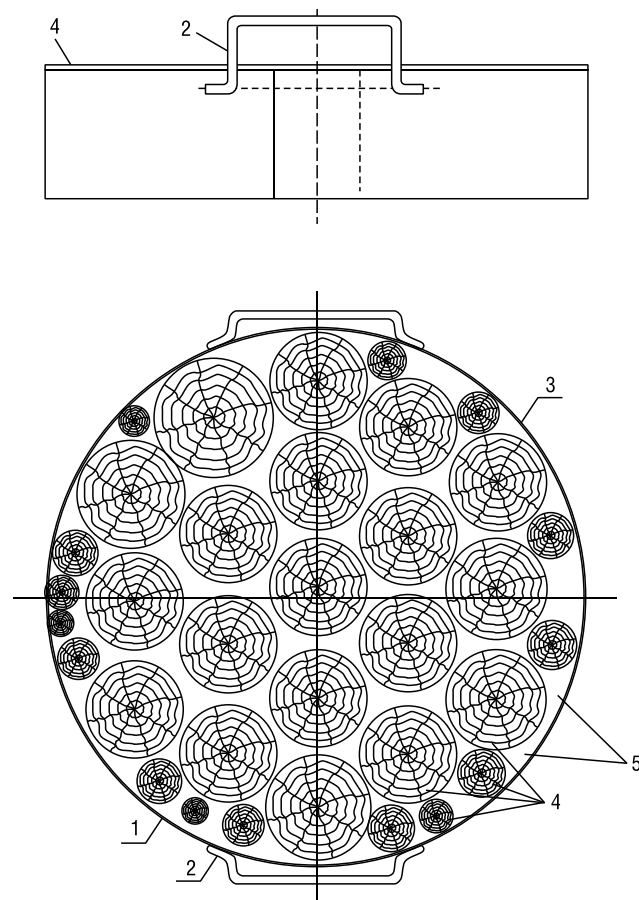


Рис. 1. Блок деревянно-бетонный: 1 - стальная обойма; 2 - ручка; 3 - стяжки; 4 - деревянные стойки; 5 - мелкозернистый бетон

Fig. 1. Wooden-concrete block: 1 - steel cage; 2 - handle; 3 - ties; 4 - wooden racks; 5 - fine-grained concrete

Были определены оптимальные конструктивные параметры БДБ [6] и приняты для серийного производства БДБ со стальной обоймой толщиной 2,0 мм. Опыт шахтной эксплуатации позволил уточнить технологию возведения из них охранных конструкций [7, 8].

Объем применения охранных конструкций из тумб БДБ возрастал за счет отказа от ранее применявшихся охранных конструкций. Рост цен на металл привел к появлению предложения о снижении толщины стальных обойм БДБ с 2,0 до 1,5 мм. По заказу шахты была разработана конструкторская документация на блоки деревянно-бетонные с толщиной обойм 1,5 мм.

#### Результаты испытаний блоков с различной толщиной обоймы

Стеновые испытания тумб из БДБ с толщиной обойм 1,5 мм были проведены в апреле 2023 года. Тумбы из БДБ с толщиной обойм 2,0 мм были испытаны в декабре 2015 года.

Усредненные деформационно-силовые характеристики тумб, полученные в результате стеновых испытаний, представлены на рисунке 2, а их основные результаты – в таблице 1.

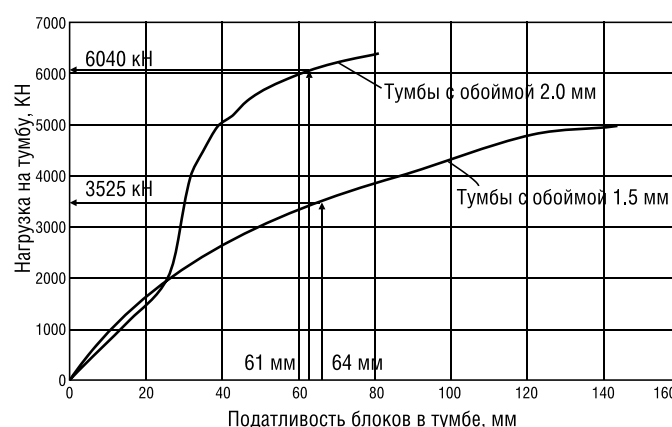


Рис. 2. Деформационно-силовые характеристики тумб из блоков с толщиной обоймы 2,0 и 1,5 мм

Fig. 2. Deformation-force characteristics of bollards made of blocks with a thickness cage of 2.0 and 1.5 mm

Усилия нагружения, создаваемого стендом (до 5 500 кН), было недостаточно для разрушения тумб из БДБ с толщиной обойм 2,0 мм. Поэтому участок деформационно-силовой характеристики при нагрузке более 5 500 кН построен методом экстраполяции.

Тумба из БДБ с толщиной обоймы 1,5 мм начинала разрушаться при нагрузке 4 891 кН.

На рисунке 2 отмечены значения податливости тумб из БДБ, соответствующие 6 % суммарной высоты блоков в тумбе. Они составляют 61 мм и 64 мм соответственно для тумб из блоков с толщиной обойм 2,0 и 1,5 мм. Разница значений обусловлена разницей в высоте тумб из БДБ, которые использовались при стеновых испытаниях.

Как видно из рисунка 2, деформационно-силовые характеристики тумб из БДБ толщиной 2,0 и 1,5 мм существенно различны. Уменьшение толщины стальных обойм с 2,0 до 1,5 мм привело к росту податливости блоков.

Сравнение результатов стендовых испытаний тумб из деревянно-бетонных блоков/  
Comparison of the results of bench tests of bollards from wooden-concrete blocks

| Дата проведения испытаний | Толщина обоймы, мм | Податливость тумбы при достижении 6 % податливости блоков, мм | Нагрузка при достижении 6 % податливости блоков, кН | Разрушающая нагрузка, кН |
|---------------------------|--------------------|---------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|--------------------------|
| 08.12. 2015               | 2,0                | 61                                                            | 6 040                                               | >6 040                   |
| 04.04.2023                | 1,5                | 64                                                            | 3 525                                               | 4 891                    |

Шахтные испытания тумб из БДБ с толщиной обойм 1,5 мм проводились в штреке негазовой шахты, разрабатывающей одиночный антрацитовый пласт на глубине 919-923 м. В каждой тумбе охранной конструкции было по 10 БДБ.

Вынимаемая мощность пласта на участке испытаний не многим более 1,5 м. Угол падения – 8-10°. Гипсометрия пласта умеренно волнистая с развитием мелкой пликативной складчатости вдоль линии простираения пласта.

Над пластом залегает песчаный сланец мощностью не менее 8,0 м и прочностью на одноосное сжатие 80-105 МПа. Выше расположен песчаник мощностью до 13,9 м и прочностью на одноосное сжатие 100-120 МПа.

Кровля штрека относится по действующей «Инструкции по расчету и применению анкерной крепи на угольных шахтах» (Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Инструкция по расчету и применению анкерной крепи на угольных шахтах». – Федеральная служба по экологическому, технологическому и атомному надзору, приказ от 19 ноября 2020 года № 448) ко II типу по обрушаемости, ко II классу пород по устойчивости (средней устойчивости). Характеристика основной кровли по нагрузочным свойствам – средняя (по классификации ВНИМИ).

Непосредственная почва пласта представлена песчано-глинистым и песчаным сланцами прочностью на одноосное сжатие 40-60 МПа, не пучащими вне зон влияния очистных работ. В основной почве – крепкий песчаник мощностью от 15 до 25 м.

На некоторых участках штрека песчаник основной кровли приближается к пласту вплоть до полного выклинивания сланцев непосредственной кровли, что приводит к существенному росту нагрузок на крепь и охранные конструкции.

#### Оценка эффективности применения блоков с различной толщиной обоймы

Исследования смещений пород кровли на участке шахтных испытаний БДБ показали, что после завершения активных проявлений горного давления за лавой на момент завершения испытаний (через 48 суток после прохождения очистного забоя или 120 м за лавой) скорость смещения пород кровли составляла 2,3 мм/сут. Смещения пород кровли продолжились и после завершения активных проявлений горного давления (рис. 3), но с существенно меньшей постоянно уменьшающейся скоростью, величину которой можно определить по формуле

$$v = 427,22 \cdot t^{-1,367}, \text{ мм/сут,}$$

где  $t$  – время поддержания штрека за линией очистного забоя ( $t \geq 48$ ), сут.

Остаточный срок эксплуатации штрека по плану горных работ составляет 6,3 года.

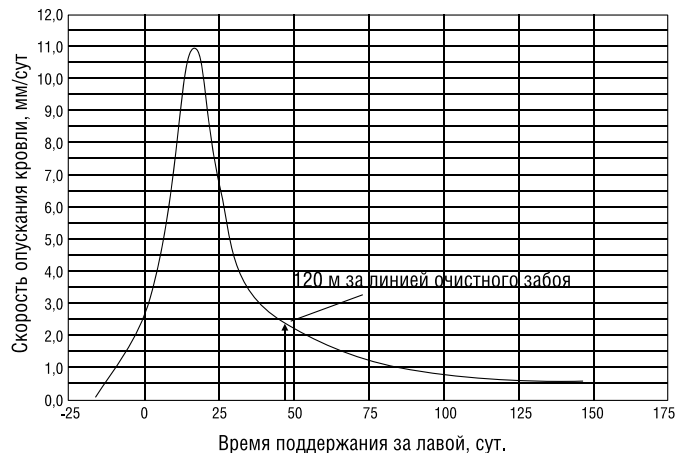


Рис. 3. Зависимость скорости опускания пород кровли на участке испытания деревянно-бетонных блоков от времени поддержания

Fig. 3. Dependence of the rate of lowering of roof rocks at the site of the wooden-concrete blocks test on the maintenance time

Дополнительные смещения пород кровли от момента завершения испытаний до завершения срока эксплуатации штрека удоп можно получить путем вычисления интеграла скорости опускания пород по времени:

$$u_{\text{доп}} = \int_{t=48}^{t=T} 427,22 \cdot t^{-1,367}, \text{ мм,}$$

где  $T$  – срок эксплуатации штрека от момента завершения испытаний, сут.

Податливость блоков БДБ в тумбе меньше смещений кровли за счет смятия деревянных прокладок у кровли. Полная податливость тумбы равна величине смещений кровли [9, 10, 12].

По данным шахтных испытаний, податливость БДБ в тумбе составила в среднем 0,441 общей податливости тумбы.

Результаты расчета податливости БДБ в тумбах охранных конструкций при различных сроках поддержания штрека приведены в таблице 2.

Средняя податливость БДБ в тумбах охранных конструкций к моменту завершения шахтных испытаний составляла 6,2 %, а среднее значение податливости БДБ, при котором начинаются разрывы стальных обойм толщиной 1,5 мм по данным стендовых испытаний, составило 10,9 %.

В соответствии с расчетом (табл. 2) на участке шахтных испытаний достижение податливости тумб из блоков БДБ,

Таблица 2 / Table 2

**Результаты расчета податливости деревянно-бетонных блоков с толщиной обоймы 1,5 мм в тумбах при различных сроках поддержания штрека/**  
**The results of calculating the pliability of wooden-concrete blocks with a 1.5 mm cage thickness in bollards at different periods of drift maintenances**

| Срок поддержания Т, лет | Дополнительные смещения кровли после завершения испытаний, мм | Дополнительная податливость блоков после завершения испытаний, мм | Суммарная податливость блоков, мм | Относительная податливость блоков, % |
|-------------------------|---------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|-----------------------------------|--------------------------------------|
| 1,13                    | 154                                                           | 68                                                                | 164                               | 10,6                                 |
| 1,46                    | 165                                                           | 73                                                                | 169                               | 10,9                                 |
| 2,13                    | 180                                                           | 79                                                                | 175                               | 11,3                                 |
| 4,13                    | 202                                                           | 89                                                                | 185                               | 12,0                                 |
| 6,30                    | 214                                                           | 94                                                                | 190                               | 12,3                                 |

при которой начались разрывы стальных обойм при стендовых испытаниях, произойдет через 1,46 года.

На участках штрека с песчаником в непосредственной кровле разрыв стальных обойм БДБ толщиной 1,5 мм может начаться значительно раньше.

Разрыв стальных обойм существенно снижает несущую способность охранных конструкций, что приведет к уменьшению сечения штрека.

Можно прогнозировать необходимость перекрепления штрека на участке шахтных испытаний в период использования [11, 13-15].

Если для расчета взять характеристики тумб из БДБ с толщиной обоймы 2,0 мм, то при сохранении плотности установки можно прогнозировать снижение смещений пород кровли [16].

Снижение податливости тумб из БДБ можно оценить исходя из графиков нагружения, представленных на рисунке 2. При достижении тумбой из БДБ с толщиной обоймы 1,5 мм уровня податливости блоков в 6,2 % суммарная податливость ее блоков составляет 64 мм. При этой же нагрузке (3 550 кН) податливость тумбы из БДБ с толщиной обоймы 2,0 мм составила 31 мм, то есть примерно в два раза меньше.

Если ориентироваться на установленное ВНИМИ [17] соотношение между ростом сопротивления крепи и уменьшением смещений кровли выработки, то можно принять скорость смещений кровли на момент завершения активных

смещений на участке шахтных испытаний при применении в охранной конструкции тумб из БДБ с толщиной обоймы 2,0 мм, равной 1,7 мм/сут.

Скорость смещений кровли в последующие периоды определится по формуле

$$v = 337,9 \cdot t^{-1,367}, \text{ мм/сут.}$$

Формула для вычисления дополнительных смещений пород кровли от момента завершения испытаний до завершения срока эксплуатации штрека удоп примет вид:

$$u_{\text{доп}} = \int_{t=48}^{t=T} 337,9 \times t^{-1,367}, \text{ мм.}$$

Результаты расчета податливости тумб из БДБ с толщиной обоймы 2,0 мм при различных сроках поддержания штрека приведены в таблице 3.

В течение срока службы штрека на участке шахтных испытаний не была бы достигнута относительная величина податливости, при которой произошел бы разрыв обойм БДБ толщиной 2,0 мм. Не была бы она достигнута и при значительно больших сроках поддержания штрека.

В настоящее время для охраны штрека расход БДБ с толщиной обоймы 1,5 мм составляет 27 шт/м.

Если бы вместо БДБ с толщиной 1,5 мм для охраны штрека использовались БДБ с толщиной обоймы 2,0 мм, то для

Таблица 3 / Table 3

**Результаты расчета податливости тумб из деревянно-бетонных блоков с толщиной обоймы 2,0 мм в тумбах при различных сроках поддержания штрека/**  
**The results of calculating the pliability of bollards made of wooden-concrete blocks with a 2.0 mm clip thickness in bollards for various periods of drift maintenance**

| Срок поддержания Т, лет | Дополнительные смещения кровли после завершения испытаний, мм | Дополнительная податливость блоков после завершения испытаний, мм | Суммарная податливость блоков, мм | Относительная податливость блоков, % |
|-------------------------|---------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|-----------------------------------|--------------------------------------|
| 1,13                    | 119                                                           | 52                                                                | 100                               | 6,3                                  |
| 2,13                    | 142                                                           | 63                                                                | 111                               | 6,9                                  |
| 4,13                    | 160                                                           | 71                                                                | 119                               | 7,4                                  |
| 6,30                    | 169                                                           | 75                                                                | 123                               | 7,7                                  |
| 27,4                    | 191                                                           | 84                                                                | 132                               | 8,3                                  |

Таблица 4 / Table 4

**Сравнение расхода материалов при применении тумб из блоков с толщиной обойм 2,0 и 1,5 мм/  
Comparison of material consumption when using bollards made of blocks with a thickness of 2.0 and 1.5 mm cage**

| Материал               | Цена единицы измерения, руб. | Расход материалов |        |         |         | Перерасход материалов на 1 км | Стоимость перерасхода материалов, тыс. руб. |
|------------------------|------------------------------|-------------------|--------|---------|---------|-------------------------------|---------------------------------------------|
|                        |                              | на 1 блок         |        | на 1 км |         |                               |                                             |
|                        |                              | 2,0 мм            | 1,5 мм | 2,0 мм  | 1,5 мм  |                               |                                             |
| Дерево, м³             | 2 000                        | 0,0345            | 0,0345 | 541     | 933     | 392                           | 784                                         |
| Цемент, кг             | 9                            | 4,0               | 4,0    | 62 826  | 108 321 | 45495                         | 409                                         |
| Песок, кг              | 0,45                         | 16,0              | 16,0   | 251 305 | 433 285 | 181 980                       | 82                                          |
| Металлический лист, кг | 73                           | 4,40              | 3,30   | 68 904  | 89 100  | 20 196                        | 1 474                                       |
| Металлический круг, кг | 65,5                         | 0,63              | 0,63   | 9 865,8 | 17 010  | 7 144,2                       | 468                                         |
| Всего                  | -                            | -                 | -      | -       | -       | -                             | 3 217                                       |

создания существующего сопротивления охранных конструкций потребовалось меньше БДБ. Коэффициент снижения расхода БДБ за счет их более высокой несущей способности и меньшей податливости можно определить как отношение нагрузок, воспринимаемых тумбами из БДБ при достижении 6%-ной податливости блоков:  $3\,525 / 6\,040 = 0,584 \approx 0,58$ .

В таблице 4 приведены исходные данные и результаты расчета перерасхода материалов при применении тумб из блоков с толщиной обоймы 1,5 мм вместо блоков с толщиной обоймы 2,0 мм. При одинаковой несущей способности охранный конструкции расход блоков БДБ с толщиной обоймы 1,5 мм составит 27 шт/м, а с толщиной обоймы 2,0 мм –  $27 \cdot 0,58 \approx 15,7$  шт/м. Цены указаны по состоянию на 21 июля 2023 г.

Использование БДБ с толщиной обойм 1,5 мм по сравнению с БДБ с толщиной обойм 2,0 мм при сохранении несущей способности охранный конструкции приносит экономический ущерб не менее 3 млн руб. на 1 км штрека.

#### **Заключение**

1. В настоящее время шахта уменьшает расходы на изготовление БДБ за счет снижения толщины металлических обойм с 2,0 до 1,5 мм.

2. Несущая способность тумб из блоков БДБ с толщиной обойм 1,5 мм значительно ниже несущей способности тумб из блоков БДБ с толщиной обойм 2,0 мм.

3. Для обеспечения несущей способности охранных конструкций из облегченных БДБ, равной несущей способности охранных конструкций из БДБ с толщиной обойм 2,0 мм, необходимо значительно увеличивать плотность установки тумб из облегченных БДБ, что приводит к большому перерасходу средств на изготовление БДБ.

4. Разрушение тумб из облегченных БДБ на участке шахтных испытаний начнется через 1,46 года после их установки при остаточном сроке поддержания штрека, равном 6,3 года, что повлечет большие затраты на восстановление необходимых размеров сечения штрека.

5. Применение тумб из БДБ с толщиной обойм 2,0 мм с сохранением плотности их установки позволит избежать разрушения тумб на участке шахтных испытаний в течение всего срока поддержания штрека.

6. Известно, что при песчанике в кровле штреков происходило разрушение тумб из БДБ с толщиной обойм 2,0 мм. Можно предположить, что на таких участках штреков следует применять тумбы из БДБ с толщиной обойм 2,5 мм. Логично, что на участках штрека с песчаником в кровле разрушение тумб из облегченных БДБ должно начаться значительно раньше 1,46 года.

7. Представляется целесообразным снижать расходы на охрану выработок за счет исключения необходимости их перекрепления. ■

#### **ЛИТЕРАТУРА**

1. Казанин, О.И. Использование охранных сооружений для поддержания выемочных выработок на угольных шахтах / О.И. Казанин, Ю.Н. Долоткин, И.В. Скрыльников // Горный информационно-аналитический бюллетень. - 2011. - № 1. - С. 34-39.
2. Игнатов, Е.В. Разработка критериев оценки эффективности применения охраны подготовительных выработок / Е.В. Игнатов // Вестник Кузбасского государственного технического университета. - 2006. - Т. 5, № 56. - С. 39-41.
3. Овчаренко, Г.В. Совершенствование технологических схем охраны повторно используемых подготовительных выработок / Г.В. Овчаренко // Записки Горного института. - 2013. - № 205. - С. 51-56.
4. Беликов, А.В. Обоснование применения в подготовительных выработках угольных шахт крепей усиления с высокой несущей способностью / А.В. Беликов // Горный информационно-аналитический бюллетень. - 2007. - № 8. - С. 68-72.
5. Чернышов, А.В. Охрана выемочных выработок искусственными сооружениями / А.В. Чернышов // Горный информационно-аналитический бюллетень. - 2015. - № 3 - С. 55-61.
6. Беликов, В.В. Влияние отдельных конструктивных особенностей деревянно-бетонных блоков на деформационно-силовые характеристики тумб, используемых для охраны выемочных выработок на угольных шахтах / В.В. Беликов, Н.В. Беликова // Уголь. - 2004. - № 3. - С. 12-14.
7. Рутыков, К.И. Охрана повторно используемых выработок тумбами из деревянно-бетонных блоков / К.И. Рутыков, В.В. Беликов, Н.В. Беликова // Уголь. - 1999. - № 8. - С. 15-17.
8. Рутыков, К.И. Охрана повторно используемых выработок тумбами из деревянно-бетонных блоков / К.И. Рутыков, В.В. Беликов, Н.В. Беликова // Уголь. - 2000. - № 10. - С. 59-61.

9. Луганцев, Б.Б. Обеспечение устойчивости трещиноватых породных массивов в окрестности подземных горных выработок / Б.Б. Луганцев, Ю.Н. Кузнецов, И.И. Мартыненко. - Новочеркасск: ЮРГТУ, 2007. - 300 с.
10. Беликов, В.В. О механизме деформирования кровли повторно используемых выемочных выработок / В.В. Беликов // Известия вузов. Сев.-Кавк. регион. - 2004. - Приложение № 7. - С. 54-63.
11. Оценка способов поддержания горных выработок на основе применения анкерной крепи на шахтах Карагандинского угольного бассейна / А.А. Зейнуллин, Е.А. Абеуов, В.Ф. Демин [и др.] // Уголь. - 2021. - № 2. - С. 4-9.
12. Поддержание выработки для повторного использования в аномальной зоне повышенного горного давления / Б.Б. Луганцев, Н.В. Беликова, В.В. Беликов, А.И. Чавкин // Уголь. - 2021. - № 4. - С. 10-14.
13. Determining patterns of the geomechanical factors influence on the fastening system loading in the preparatory mine workings / V. Bondarenko, H. Symanovych, M. Barabash [et al.] // Mining of Mineral Deposits. - 2020. - Vol. 14, № 1. - P. 44-50.
14. Geomechanics of interference between the operation modes of mine working support elements at their loading / V. Bondarenko, I. Kovalevska, G. Symanovych [et al.] // Mining Science. - 2018. - Vol. 25. - P. 219-235.
15. Demin, V.F. Evaluation of the effectiveness of the technological schemes use for mine workings to increase the stability of their contours / V.F. Demin, T.V. Demina, A.S. Kainazarov // Sustainable Development of Mountain Territories. - 2018. - Vol. 10, № 4. - P. 606-617.
16. Методические указания по решению практических задач управления горным давлением на шахтах / ВНИМИ. - Л.: 1984. - 134 с.
17. Указания по рациональному расположению, охране и поддержанию горных выработок на угольных шахтах СССР / ВНИМИ. - Изд. 4-е дополненное. - Л., 1986. - 222 с.

## REFERENCES

1. Kazanin OI, Dolotkin YN, Skrylnikov IV. The use of the supporting constructions for panel entries maintenance at the coal mines. *Mining informational and analytical bulletin*. - 2011;1:34-39. (In Russ).
2. Ignatov EV. Development of criteria for evaluating the effectiveness of the protection of preparatory workings. *Bulletin of the Kuzbass State Technical University*. 2006;5(56): 39-41. (In Russ).
3. Ovcharenko GV. Improvement of technological schemes go wounds reusable development workings. *Notes of the Mining Institute*. 2013;205:51-56. (In Russ).
4. Belikov AV. Justification of the use of reinforcing supports with high load-bearing capacity in the preparatory workings of coal mines. *Mining informational and analytical bulletin*. 2007;8:68-72. (In Russ).
5. Chernyshov AV. Protection of underground excavations by engineering structures. *Mining informational and analytical bulletin*. 2015;3:55-61. (In Russ).
6. Belikov VV, Belikova NV. The influence of separate design features of wooden-concrete blocks on the deformation force characteristics of bollards used to guard dredging workings at coal mines. *Coal*. 2004;3:12-14. (In Russ).
7. Rutkov KI, Belikov VV, Belikova NV. Guard of reduced workings with bollards made of wooden-concrete blocks. *Coal*. 1999;8:15-17. (In Russ).
8. Rutkov KI, Belikov VV, Belikova NV. Guard of reduced workings with bollards made of wooden-concrete blocks. *Coal*. 2000;10:59-61. (In Russ).
9. Lugantsev BB, Kuznetsov JN, Martynenko II. Ensuring the stability of fractured rock massifs in the in the neighborhood of underground mining working. *Novocherkassk*;2007. (In Russ).
10. Belikov VV. On the mechanism of deformation of the roof of reusable excavation workings. *News of universities. The North Caucasus region*. 2004;7: 54-63. (In Russ).
11. Zejnnullin AA, Abeuov EA, Demin VF et al. Estimation of ways to maintain mining works based on the application of anchor anchoring in the mines of the Karaganda coal basin. *Coal*. 2021;2:4-9. (In Russ).
12. Lugantsev BB, Belikova NV, Belikov VV et al. Upkeep of the drift for reuse in an abnormal zone of high mining pressure. *Coal*. 2021;4:10-14. (In Russ).
13. Determining patterns of the geomechanical factors influence on the fastening system loading in the preparatory mine workings / V. Bondarenko, H. Symanovych, M. Barabash [et al.] // Mining of Mineral Deposits. - 2020. - Vol. 14, № 1. - P. 44-50.
14. Geomechanics of interference between the operation modes of mine working support elements at their loading / V. Bondarenko, I. Kovalevska, G. Symanovych [et al.] // Mining Science. - 2018. - Vol. 25. - P. 219-235.
15. Demin, V.F. Evaluation of the effectiveness of the technological schemes use for mine workings to increase the stability of their contours / V.F. Demin, T.V. Demina, A.S. Kainazarov // Sustainable Development of Mountain Territories. - 2018. - Vol. 10, № 4. - P. 606-617.
16. Methodological guidelines for solving practical problems of managing mining pressure in mines / VNIMI. - L.: 1984. - 134 p.
17. Indicating on the rational location, protection and maintenance of mine workings in coal mines of the USSR / VNIMI. - Ed. 4th expanded edition. - L., 1986. - 222 p.

## ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

### Луганцев Борис Борисович:

доктор технических наук,  
профессор,  
председатель совета директоров.  
Общество с ограниченной ответственностью «Шахтинский научно-исследовательский и проектно-конструкторский угольный институт» (ООО «ШахтНИИ»),  
г. Шахты, Россия

## INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

### Lugancev Boris Borisovich:

Doctor of Engineering Sciences,  
Professor,  
Chairman of the Board of directors.  
Limited Liability Company «Shakhty Research and design and engineering Coal Institute» (LLC «Shakhtniui»),  
Shakhty, Russia

# СТТ ЭХРО

ОСНОВА ВАШЕГО УСПЕХА

Главная выставка строительной  
техники и технологий в России

**28–31 мая 2024**  
Крокус Экспо, Москва



Организатор

**Σ SIGMA  
ЭХРО**

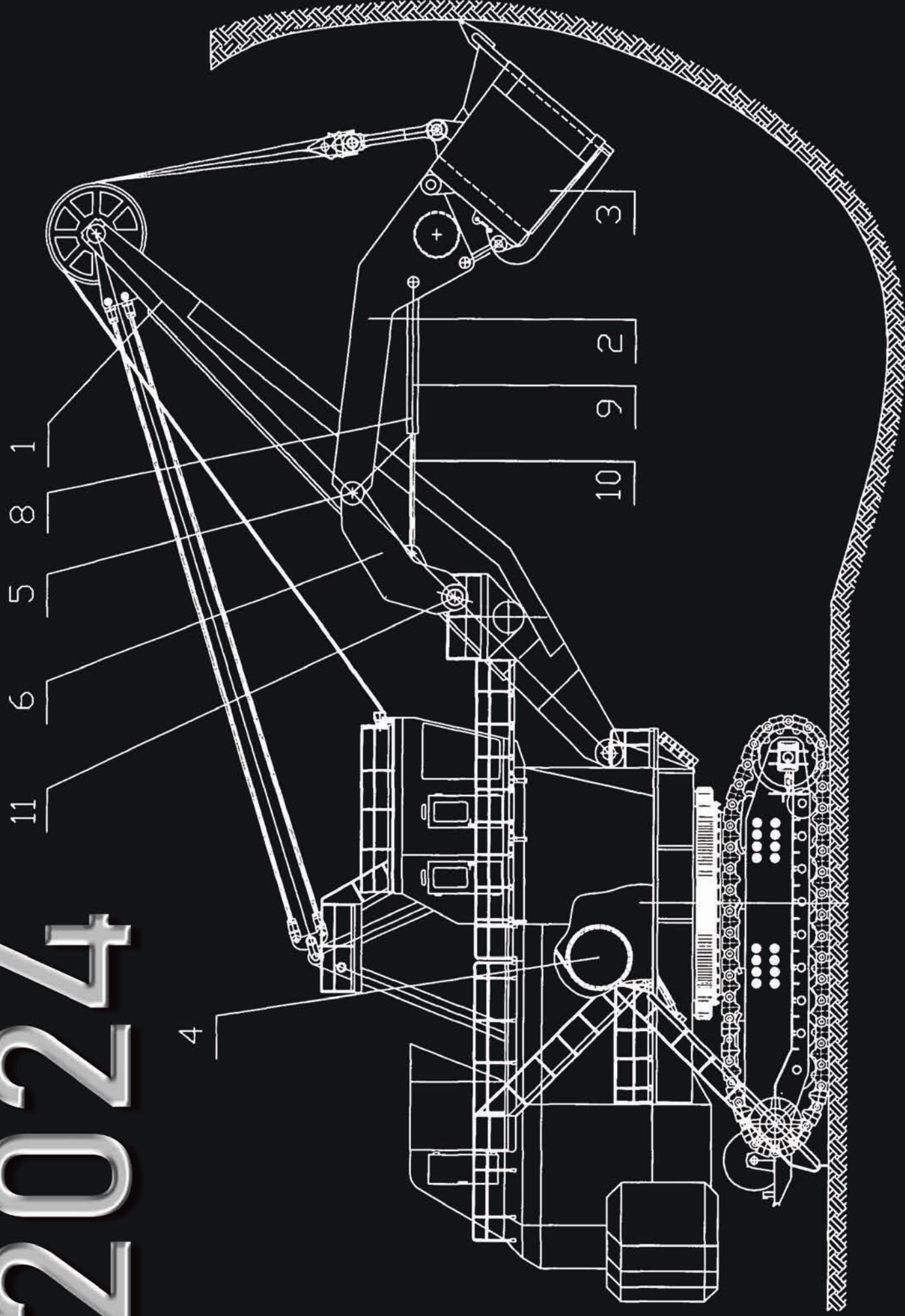
При поддержке

**КРОКУС ЭКСПО**  
Международный выставочный центр



[ctt-expo.ru](http://ctt-expo.ru)

2024



## ЯНВАРЬ

| ПН | ВТ | СР | ЧТ | ПТ | СБ | ВС |
|----|----|----|----|----|----|----|
| 1  | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  |
| 8  | 9  | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 |
| 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 |
| 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 |
| 29 | 30 | 31 |    |    |    |    |

## ФЕВРАЛЬ

| ПН | ВТ | СР | ЧТ | ПТ | СБ | ВС |
|----|----|----|----|----|----|----|
|    |    |    | 1  | 2  | 3  | 4  |
| 5  | 6  | 7  | 8  | 9  | 10 | 11 |
| 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 |
| 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 |
| 26 | 27 | 28 | 29 |    |    |    |

## МАЙ

| ПН | ВТ | СР | ЧТ | ПТ | СБ | ВС |
|----|----|----|----|----|----|----|
|    | 1  | 2  | 3  | 4  | 5  |    |
| 6  | 7  | 8  | 9  | 10 | 11 | 12 |
| 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 |
| 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 |
| 27 | 28 | 29 | 30 | 31 |    |    |

## ИЮНЬ

| ПН | ВТ | СР | ЧТ | ПТ | СБ | ВС |
|----|----|----|----|----|----|----|
|    |    |    |    |    | 1  | 2  |
| 3  | 4  | 5  | 6  | 7  | 8  | 9  |
| 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 |
| 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 |
| 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 |

## ИЮЛЬ

| ПН | ВТ | СР | ЧТ | ПТ | СБ | ВС |
|----|----|----|----|----|----|----|
| 1  | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  |
| 8  | 9  | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 |
| 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 |
| 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 |
| 29 | 30 | 31 |    |    |    |    |

## МАРТ

| ПН | ВТ | СР | ЧТ | ПТ | СБ | ВС |
|----|----|----|----|----|----|----|
|    |    |    |    | 1  | 2  | 3  |
| 4  | 5  | 6  | 7  | 8  | 9  | 10 |
| 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 |
| 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 |
| 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 |

## АПРЕЛЬ

| ПН | ВТ | СР | ЧТ | ПТ | СБ | ВС |
|----|----|----|----|----|----|----|
| 1  | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  |
| 8  | 9  | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 |
| 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 |
| 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 |
| 29 | 30 |    |    |    |    |    |

## АВГУСТ

| ПН | ВТ | СР | ЧТ | ПТ | СБ | ВС |
|----|----|----|----|----|----|----|
|    |    |    | 1  | 2  | 3  | 4  |
| 5  | 6  | 7  | 8  | 9  | 10 | 11 |
| 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 |
| 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 |
| 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 |    |

## СЕНТЯБРЬ

| ПН | ВТ | СР | ЧТ | ПТ | СБ | ВС |
|----|----|----|----|----|----|----|
|    |    |    |    |    | 1  |    |
| 2  | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  | 8  |
| 9  | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 |
| 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 |
| 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 |
| 30 |    |    |    |    |    |    |

## ОКТАБРЬ

| ПН | ВТ | СР | ЧТ | ПТ | СБ | ВС |
|----|----|----|----|----|----|----|
| 1  | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  |    |
| 7  | 8  | 9  | 10 | 11 | 12 | 13 |
| 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 |
| 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 |
| 28 | 29 | 30 | 31 |    |    |    |

## НОЯБРЬ

| ПН | ВТ | СР | ЧТ | ПТ | СБ | ВС |
|----|----|----|----|----|----|----|
|    |    |    |    | 1  | 2  | 3  |
| 4  | 5  | 6  | 7  | 8  | 9  | 10 |
| 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 |
| 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 |
| 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 |    |

## ДЕКАБРЬ

| ПН | ВТ | СР | ЧТ | ПТ | СБ | ВС |
|----|----|----|----|----|----|----|
|    |    |    |    |    |    | 1  |
| 2  | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  | 8  |
| 9  | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 |
| 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 |
| 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 |
| 30 | 31 |    |    |    |    |    |

8 февраля 190 лет со дня рождения русского химика Дмитрия Ивановича Менделеева (1834–1907)

8 февраля Празднование 300-летия Российской академии наук

7 апреля День геолога

12 апреля 185 лет со дня рождения русского путешественника, географа Н. М. Пржевальского (1839–1888)

25 августа День шахтера

1 сентября День работника нефтяной, газовой и топливной промышленности

8 сентября День маркшейдера

ИЗДАТЕЛЬСТВО  
«УРАЛ-ПРЕСС»

Подписной индекс в объединенном каталоге АРЗН и «Пресса России»  
каталоге «Урал-Пресс»: 88016

Информация о журнале: [www.n-gn.ru](http://www.n-gn.ru)



**ГОРНОРУДНАЯ  
ПРОМЫШЛЕННОСТЬ  
РОССИИ И СНГ**  
СТРОИТЕЛЬСТВО И МОДЕРНИЗАЦИЯ

**4-Я ПРОФЕССИОНАЛЬНАЯ  
КОНФЕРЕНЦИЯ И  
ТЕХНИЧЕСКИЙ ВИЗИТ**

**27-29** марта 2024,  
Мурманск

**+7 (495) 109 9 509**

**200+** участников **20+** докладов

**60+** ключевых инвестпроектов

**30+** часов делового общения

**VOSTOK CAPITAL**  
— 21 год динамичного успеха —



**РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ИМЕНИ СЕРГО ОРДЖОНИКИДЗЕ (МГРИ)**

**Информируем Вас**

Университет берет свое начало с геологоразведочного факультета Московской горной академии, созданной в сентябре 1918 г.

Факультеты:

- ◆ Геологоразведочный факультет,
- ◆ Факультет технологии разведки и разработки,
- ◆ Факультет геологии и геофизики нефти и газа,
- ◆ Гидрогеологический факультет,
- ◆ Факультет экономики и управления,
- ◆ Экологический факультет

Контакты: 117997, Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 23; +7(495)255-40-20 10:00-18:00 e-mail: [priem@mgri.ru](mailto:priem@mgri.ru),  
<https://www.mgri.ru/commission/poryadok-postupleniya/>



**WWW.N-GN.RU**

**Чавкин Александр Иванович:**

кандидат технических наук,  
заведующий лабораторией.

Общество с ограниченной ответственностью «Шахтинский научно-исследовательский и проектно-конструкторский угольный институт» (ООО «ШахтНИУИ»),  
г. Шахты, Россия,  
e-mail: Achavkin@mail.ru

**Турук Юрий Владимирович:**

доктор технических наук,  
профессор.

Шахтинский институт (филиал) Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова»,  
г. Шахты, Россия

**Белодедов Андрей Алексеевич:**

доктор технических наук,  
заведующий кафедрой горного дела.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова»,  
г. Новочеркасск, Россия

**Версиров Сергей Олегович:**

доктор технических наук,  
профессор кафедры горного дела.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова»,  
г. Новочеркасск, Россия

**Chavkin Alexander Ivanovich:**

Candidate of Technical Sciences,  
Head of the laboratory.

Limited Liability Company «Shakhty Research and design and engineering Coal Institute» (LLC «Shakhtniui»),  
Shakhty, Russia,  
e-mail: Achavkin@mail.ru

**Turuk Jurij Vladimirovich:**

Doctor of Engineering Sciences,  
Professor,

Shakhty Institute (branch) Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «South Russian State Polytechnic University (NPI) named after M.I. Platov»,  
Shakhty, Russia

**Belodedov Andrey Alekseevich:**

Doctor of Technical Sciences,  
Head of the Mining Department.

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «South Russian State Polytechnic University (NPI) named after M.I. Platov»,  
Novocherkassk, Russia

**Versilov Sergey Olegovich:**

Doctor of Technical Sciences,  
Professor of the Department of Mining.

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «South Russian State Polytechnic University (NPI) named after M.I. Platov»,  
Novocherkassk, Russia

**КРИТЕРИИ АВТОРСТВА / CONTRIBUTION:**

Б.Б. Луганцев — существенный вклад в научно-исследовательскую работу, окончательное утверждение для публикации. А.И. Чавкин — существенный вклад в научно-исследовательскую работу, доработка и исправление рукописи. В.Д. Турук — существенный вклад в научно-исследовательскую работу, ответственность за целостность всех частей рукописи. А.А. Белодедов — существенный вклад в научно-исследовательскую работу, доработка рукописи. С.О. Версиров — существенный вклад в научно-исследовательскую работу, исправление рукописи. / B.B. Lugantsev — significant contribution to research work, final approval for publication. A.I. Chavkin — significant contribution to research work, revision and correction of the manuscript. V.D. Turuk — significant contribution to research work, responsibility for the integrity of all parts of the manuscript. A.A. Belodedov — significant contribution to scientific research, revision of the manuscript. S.O. Versilov — a significant contribution to scientific research, correction of the manuscript.

**КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ / CONFLICT OF INTEREST:**

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов. / The authors declare no conflict of interest.



**УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГОРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ**

ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»  
был создан 3(16) июля 1914 г. в Екатеринбурге.

Факультеты: ГОРНО-МЕХАНИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ (ГМФ),  
ГОРНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ (ГТФ),  
ИНЖЕНЕРНО-ЭКОНОМИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ (ИЭФ), ФАКУЛЬТЕТ ГЕОЛОГИИ И ГЕОФИЗИКИ (ФГГ).

Контакты : +7 (343) 257-25-47, +7 (343) 283-06-06, e-mail: office@ursmu.ru; rector@ursmu.ru, http://www.ursmu.ru/sveden/common



**WWW.N-GN.RU**

## УСТОЙЧИВОСТЬ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ ЗАПОРОЖСКОЙ АТОМНОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ АРТЕЗИАНСКОЙ ВОДЫ ДЛЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА СТАНЦИИ

*В.М. Кузнецов, ООО «Группа компаний ИнтеллектСервис», г. Москва, Россия;*

*В.П. Спиридонов, Академия Государственной противопожарной службы Министерства РФ по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий, г. Москва, Россия;*

*В.В. Спиридонова, «ВНИИГеосистем» ФГБУ «ВНИГНИ», г. Москва, Россия*

**Аннотация:** Дана оценка обеспечения безопасной эксплуатации, водоснабжения, а также безопасности персонала и окружающей среды при эксплуатации Запорожской АЭС. Установлено, что эксплуатация подземных вод для технического водоснабжения АЭС и объектов ее инфраструктуры как при постоянном, так и периодическом режимах водоотбора приведет к формированию депрессионных воронок, размеры которых будут зависеть от величины (расхода) водоотбора, схемы расположения водозаборных сооружений и конкретных гидрогеологических условий месторождения подземных вод. Показана необходимость обеспечения не только прочности грунтов под конструкциями зданий и сооружений АЭС, но и надежного функционирования всех систем, которые осуществляют контроль эксплуатации АЭС. Определена необходимость контроля стабильности геолого-геофизических условий в районе и на площадках размещения АЭС в режиме мониторинга. Мониторинг носит комплексный характер. В его состав входят геотехнические, маркшейдерско-геодезические, гидрогеологические, сейсмологические наблюдения. Прогноз развития депрессионной воронки во времени и пространстве должен выполняться аналитическими методами или моделированием с учетом изменений условий взаимосвязи водоносных горизонтов между собой и компонентами окружающей среды. Выявлено, что продление дальнейшей эксплуатации АЭС - процесс дорогостоящий и небезопасный. Модернизировать старые энергоблоки до современных по безопасности в атомной энергетике не представляется возможным. Энергоблоки Запорожской АЭС не готовы к дальнейшей эксплуатации, поэтому необходимо уже сейчас начать разработку проекта по выводу из эксплуатации (ВЭ) АЭС энергоблоков № 1-4. Результаты исследований могут быть полезными при выполнении прогноза возможного развития карстово-суффозионных процессов под влиянием интенсивного водоотбора подземных вод, организации наблюдения за возможным развитием этих процессов, включив их в состав комплексного мониторинга данного объекта. Это позволит обосновать масштабы и режим рационального водоотбора с учетом требований по охране окружающей среды и особенностей дальнейшей эксплуатации АЭС.

**Ключевые слова:** безопасность АЭС, артезианская вода, проседание грунтов, крены зданий и сооружений АЭС, мониторинг.

**Для цитирования:** Кузнецов В.М., Спиридонов В.П., Спиридонова В.В. Устойчивость зданий и сооружений Запорожской атомной электростанции при использовании артезианской воды для технологического процесса станции // Маркшейдерия и недропользование. 2024. № 1. С. 50-67. DOI: 10.56195/20793332\_2024\_1\_50\_67.

## SUSTAINABILITY OF BUILDINGS AND STRUCTURES ZAPORIZHIA NUCLEAR POWER PLANT WHEN USING ARTESIAN WATER FOR THE TECHNOLOGICAL PROCESS OF THE STATION

*V.M. Kuznetsov, LLC «Group of companies Intellectualservice», Moscow, Russia;*

*V.P. Spiridonov, Academy of the State Fire Service of the Ministry of Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters, Moscow, Russia;*

*V.V. Spiridonova, «VNIIGeosystem» FSBI «VNIGNI», Moscow, Russia*

**Abstract:** The article provides an assessment of ensuring safe operation, water supply, as well as the safety of personnel and the environment during the operation of the Zaporizhia NPP. It has been established that the exploitation of groundwater for the technical water supply of the NPP and its infrastructure facilities, both under constant and periodic drainage regimes, will lead to the formation of depression funnels, the size of which will depend on the magnitude (flow rate) of the water intake, the layout of water intake facilities and specific hydrogeological conditions of the groundwater deposit. It is shown that it is necessary to ensure not only the strength of the

soils under the structures of buildings and structures of nuclear power plants, but also the reliable functioning of all systems that control the nuclear process. The necessity of monitoring the stability of geological and geophysical conditions in the area and at the sites of nuclear power plants in the monitoring mode has been determined. The monitoring is comprehensive. It includes geotechnical, surveying and geodetic, hydrogeological, and seismological observations. The forecast of the development of a depression funnel in time and space should be carried out by analytical methods or modeling, taking into account changes in the conditions of the relationship of aquifers with each other and environmental components. It has been revealed that extending the further operation of the NPP is an expensive and unsafe process. It is not possible to upgrade old power units to modern ones in terms of safety in nuclear energy. The power units of the Zaporizhia NPP are not ready for further operation, therefore, it is necessary to start developing a project for decommissioning power units No. 1-4 of the NPP. The research results can be useful in predicting the possible development of karst-suffusion processes under the influence of intensive groundwater drainage, organizing monitoring of the possible development of these processes, including them in the integrated monitoring of this facility. It will make it possible to justify the scale and regime of rational water extraction, taking into account the requirements for environmental protection and the specifics of further operation of the NPP.

**Keywords:** safety of nuclear power plants, artesian water, subsidence of soils, rolls of buildings and structures of nuclear power plants, monitoring.

**For citation:** For citation: Kuznetsov V.M., Spiridonov V.P., Spiridonova V.V. Sustainability of buildings and structures Zaporizhia nuclear power plant when using artesian water for the technological process of the station. Surveying and subsoil use. 2024;(1): 50-67. (In Russ.). DOI: 10.56195/20793332\_2024\_1\_50\_67.

**Д**ля ознакомления приведем информацию об инцидентах на объектах использования атомной энергии (ОИАЭ), связанных с грунтовыми водами и проседанием грунта.

США. Ядерный регулятор США (NRC) заявил, что начал инспекцию по изучению оседания грунта в различных местах вокруг предприятия Energy Harbor Corp. (ENGH.ПК) атомной электростанции «Дэвис-Бесс» в штате Огайо. Комиссия по ядерному регулированию заявила в пресс-релизе, что определила необходимость «специальной инспекции» после того, как узнала, что сбой в октябре 2022 года в трубопроводе, предназначенном для подачи воды для тушения пожаров, вероятно, был вызван процессом оседания грунта на АЭС в Ок-Харборе, на севере штата Огайо, недалеко от озера Эри.

NRC также сообщил о других сбоях в трубопроводах противопожарной защиты и «многочисленных случаях оседания грунта на объекте». Компания Energy Harbor, оператор единственного реактора мощностью 894 МВт, не сразу ответила на запрос об инцидентах. NRC заявил, что специальная инспекционная группа из пяти человек установит график, связанный с зонами оседания грунта, и оценит действия по оценке, мониторингу или смягчению последствий явления и его потенциального воздействия на оборудование, ключевое для безопасности станции.

В мае 2017 года в Хэнфорде (шт. Вашингтон, округ Колумбия) просел грунт над тоннелями, в которых отстаиваются вагоны с отработавшим ядерным топливом (ОЯТ) и радиоактивными отходами, образовавшимися при производстве плутония.

**Япония.** В 2015 году грунтовые воды перекосили на АЭС «Фукусима-1» стену, защищающую от утечек радиоактивной воды. Защитная стена, которая была возведена на территории японской АЭС «Фукусима-1» для того, чтобы сократить объемы утечек радиоактивной воды в океан, перекосилась примерно на 20 см. Возведенная в конце октября вдоль побережья стальная стена уходит под землю на 30 метров. Причины ее наклона связывают с мощным давлением, которое оказывают на стену постоянно прибывающие грунтовые воды. В конце октября на территории аварийной японской станции была возведена 780-метровая стальная стена, главной

целью которой являлось сокращение утечки грунтовых вод в океан с 400 до 10 тонн в день. Скапливающиеся за стенами грунтовые воды откачивали, очищали от радиоактивных веществ до безопасного уровня и после этого сливали в океан. Сооружение этой протяженной стены началось еще в 2012 году.

**Армения.** Вследствие нерационального использования артезианского бассейна Араратской долины под угрозой оказалась Армянская атомная станция. В артезианском бассейне расположены водозаборные сооружения (каптажи) для охлаждения АЭС, в которых запасы воды сократились вдвое. В бассейне реки Мецамор высохли 120 из 303 артезианских скважин, что создало тяжелые условия и для рыбоводческих хозяйств. Площадь самофонтанирующих скважин, которая в 1984 году составляла 32 700 га, сократилась до 10 700 га, то есть более чем в три раза. Уровень грунтовых вод с 3 метров снизился до 9, в отдельных случаях — до 15 метров [1].

#### Цель исследований

Необходимость обеспечения прочности грунтов под конструкциями зданий и сооружений Запорожской АЭС и надежное функционирование всех систем эксплуатации станции.

#### Методы исследований

Анализ и комплексный мониторинг стабильности геолого-геофизических условий в районе и на площадках размещения АЭС, включая геотехнические, маркшейдерско-геодезические, гидрогеологические, сейсмологические наблюдения. Прогноз развития депрессионной воронки во времени и пространстве выполнялся аналитическими методами или моделированием с учетом изменений условий взаимосвязи водоносных горизонтов между собой и компонентами окружающей среды.

#### Результаты исследований и обсуждение

Дана оценка обеспечения безопасной эксплуатации, водоснабжения, а также безопасности персонала и окружающей среды при эксплуатации Запорожской АЭС.

#### Последствия проседания земной поверхности в результате откачки подземных вод

В 2017 году система мониторинга зафиксировала 181 происшествие, связанное с эрозией поверхности земли (за 2016 г. —

118; динамика — 0,21), из них в России случилось 77 происшествий (за 2016 год — 35; динамика — 0,38). В происшествиях, связанные с эрозией поверхности земли и образующиеся под воздействием как климатических, так и техногенных чрезвычайных ситуаций, включены провалы, обвалы, оползни, размывы береговых линий, овраги, промоины, камнепады и селевые потоки, а также нецелевые процессы разрушения пород под воздействием перепадов температур, выветривания и прочих способов воздействия, основанных на других физических принципах. Кроме того, мониторинг охватывает случаи разрушения ледовых щитов Гренландии и Антарктиды, многолетних льдов Северного Ледовитого океана и горных ледников.

Проседание земной поверхности, вызванное интенсивным отбором подземных вод, является одним из проявлений негативного влияния интенсивной эксплуатации подземных вод на окружающую среду. Как известно, в районах крупных откачек подземных вод формируются обширные понижения пьезометрических уровней (депрессионные воронки), охватывающие часто площади в десятки и сотни квадратных километров.

Понижение пьезометрических уровней подземных вод и изменения пластовых давлений вызывают изменения напряжений в горных породах, скоростей, а иногда и направлений движения подземных вод, что увеличивает интенсивность суффозионных и карстовых процессов. В одних условиях понижения уровней приводят к оседанию поверхности земли, а других — к образованию провалов. Наиболее широко распространены оседания на тех территориях, где подземные воды заключены в хорошо проницаемых песчано-гравелистых породах с небольшой сжимаемостью, которые переслаиваются с глинистыми слабопроницаемыми, но хорошо сжимаемыми отложениями. При откачке снижается напор подземных вод, что увеличивает эффективное давление на скелет грунта и приводит к уплотнению сжимаемых отложений, а как следствие — к оседанию земной поверхности.

В зависимости от характера отложений уплотнение пород может быть или преимущественно упругим, восстанавливающимся при подъеме уровня, или преимущественно пластическим, приводящим к необратимой перестройке зернистой структуры отложений. Водоносные горизонты, сложенные скальными отложениями, практически несжимаемы. Галечники, гравелистые и песчаные породы сжимаются мало, но уплотнение их происходит быстро и имеет упругий характер, т. е. при повышении уровня подземных вод породы в значительной мере разуплотняются. Основная часть оседания поверхности связана с уплотнением слабопроницаемых глинистых отложений. Уменьшение напора в водоносных горизонтах создает гидравлический градиент от перекрывающих глин и других слабопроницаемых пород внутри водоносного горизонта к хорошо проницаемым породам. Увеличение давления в слабопроницаемом пласте происходит сначала в поровой воде и только по мере удаления воды постепенно передается скелету слабопроницаемых пород. Вследствие малой гидравлической проводимости этих пород вертикальное перемещение воды и последующее уменьшение порового давления происходит медленно. Нередки случаи, когда в карбонатных породах, содержащих пресные подземные воды хорошего качества, развиваются карстово-суффозионные процессы.

Механизм этих процессов в упрощенном виде можно представить следующим образом. Карбонатные породы в результате перерывов в осадконакоплении и под воздействием физического и химического выветривания обычно пронизаны на значительную глубину многочисленными полостями и кавернами различных размеров и конфигураций, заполненными в основном рыхлыми отложениями. При продолжительной и интенсивной откачке напорных вод карбонатных отложений происходит значительное увеличение скоростей фильтрации (в десятки и сотни раз). Это приводит сначала к перераспределению рыхлого заполнителя, а затем к его полному выносу. Кровля образовавшихся пустот уже не может выдержать нагрузки вышележащих водонасыщенных песчано-глинистых отложений, что приводит к медленному оседанию земной поверхности.

Оседания земной поверхности и провалы часто приводят к опасным последствиям. Так, оседания земной поверхности могут вызвать подтопление и заболачивание территорий, деформацию автотрасс, железнодорожного полотна, водопроводных труб и других коммуникаций, изменение уклонов русел рек, деформацию промышленных и гражданских сооружений.

А. А. Коноплянцев и Е. Н. Ярцева описывают многочисленные случаи оседания и провалов поверхности, вызванных интенсивной эксплуатацией подземных вод. Оседание земной поверхности широко развито в США [2]. Отмечено, что величины оседаний изменяются от 0,3 м в районе г. Саванна (штат Джорджия) до 9 м в западной части долины Сан-Хоакин (Калифорния). В штате Калифорния общая площадь оседания земной поверхности достигает 18 тыс. км<sup>2</sup>. В долине Сан-Хоакин наблюдается одно из самых значительных изменений окружающей среды, вызванное откачкой подземных вод. Здесь имеется почти 1,5 млн га орошаемых земель, половина которых охвачена оседанием. В этом районе снижение уровней подземных вод в результате интенсивной их эксплуатации достигло нескольких десятков метров, что вызвало просадки грунтов на отдельных участках до 9 м. В Калифорнии зафиксированы трещины проседания протяженностью до 3,0–3,5 км. В результате неравномерных просадок в отдельных местах нарушается эксплуатация каналов, водопроводов, водозаборных скважин, что требует значительных финансовых расходов.

В Сан-Франциско поверхность земли понизилась на 2,4 м, что привело к необходимости сооружения и систематического наращивания специальных дамб, чтобы сдерживать наступление вод залива на сушу. В приморской равнине Лос-Анжелеса уже в течение нескольких десятилетий фиксируются проседания земной поверхности со скоростью 0,7 см/год. Это вызвано комплексным воздействием ряда как антропогенных факторов: откачкой нефти, газа и подземных вод, нагнетанием пресных вод в районах интрузии морских вод, так и влиянием современной неотектоники.

В Мехико оседание земной поверхности в пределах города за последние 70 лет достигло 10,7 м. В результате были повреждены здания, мостовые, водопроводная и канализационная сети. Дворец изящных искусств, расположенный в центре города, опустился более чем на 3 м ниже уровня окружающих улиц. Для того чтобы прекратить оседание, к городу подвели поверхностную воду и сократили откачку подземных вод. В настоящее время разрабатываются специаль-

ные меры по управлению отбором подземных вод и использованием водных ресурсов.

Г. Линд приводит примеры тесного взаимодействия всех компонентов окружающей среды, включая общие водные ресурсы, подземные воды, поверхность земли и др. В частности, им подробно описаны геолого-гидрогеологические условия Венеции, где наблюдается медленное и катастрофическое погружение города в море, вызванное чрезмерным изъятием подземных вод из водоносных пластов в сочетании с влиянием приливов Адриатического моря. Принятые меры были направлены на значительное сокращение откачки подземных вод в районе г. Венеции и использование поверхностных вод реки Силе. И если в период 1952-1968 годов средняя скорость проседания поверхности земли составляла 5-6 мм в год, то в результате уменьшения откачек (число действующих водозаборных скважин было сокращено на 60 %) уровень поверхности земли в Венеции к 1975 года поднялся на 2 см [3].

Аналогичные проблемы характерны для многих крупных приморских городов, интенсивно эксплуатирующих подземные воды. Можно привести и другие примеры влияния интенсивного отбора подземных вод на снижение земной поверхности. Так, по данным Технологического института Индонезии, начиная с 1994 года в результате интенсивной эксплуатации подземных вод почва в г. Джакарта просела местами до 0,5 м. Это привело к подтягиванию соленых морских вод, что вызывает подтопление, а местами и разрушение оснований зданий.

В настоящее время в Мексике, Японии и США известно более 150 районов, где просадки земной поверхности, вызванные интенсивной откачкой подземных вод и разработкой месторождений полезных ископаемых, достигли 10 м.

Даже интенсификация отбора подземных вод в отдельные сезоны года, например летом для орошения, может вызывать просадки рыхлых грунтов. Оседание земной поверхности на территории Аллювиальной равнины (Япония) было обнаружено в 1973 году. В 1980-е и начале 1990-х годов скорость проседания, вызванного снижением напора подземных вод в результате их откачки, достигала в этом районе 2 см в год. В Японии общая площадь территории, опустившейся под влиянием отбора подземных вод ниже уровня моря, достигает 1 200 км<sup>2</sup>. В Токио с 1900 по 1975 год оседание земной поверхности достигло 4,7 м. Принятый в Японии закон о воде имеет целью сократить отбор подземных вод и увеличить использование поверхностных вод. В настоящее время в ряде районов Японии проседание земной поверхности уменьшилось благодаря более рациональному отбору подземных вод и увеличению потребления вод из водохранилищ.

В г. Бангкоке (Таиланд) значительное снижение поверхности земли, обусловленное эксплуатацией подземных вод, отмечается с 1960 года. В настоящее время здесь работают около 15 тысяч водозаборных скважин, отбирающих воду из напорного песчано-гравийного водоносного горизонта, перекрытого глинами.

В Китае в результате интенсивной откачки подземных вод на поверхности земли образовались трещины шириной до 0,5 м.

Просадки земной поверхности, вызванные отбором подземных вод, отмечены также в Малайзии.

В некоторых районах просадки земной поверхности охватывают значительные площади. Так, на Тайване проседание грунтов, вызванное неконтролируемым отбором подземных вод, охватывает территорию в 250 км<sup>2</sup>, а максимальное проседание достигает 2,5 м. Вдоль прибрежных равнин острова фиксируются интрузии морских вод. Проводятся мероприятия по сокращению отбора подземных вод в отдельных районах.

В ряде районов проседание земной поверхности, вызванное интенсивным отбором подземных вод, приводит к разрушению существующих гражданских и промышленных сооружений. Такие случаи известны, например, в г. Калькутта (Индия), где отмечены повреждения зданий, вызванные проседанием поверхности земли со скоростью 1,4 мм/год.

Опасность интрузии морских вод наряду с оседанием земной поверхности во многих приморских районах приводит к необходимости ограничивать отбор подземных вод. Такая опасность отмечена в приморских районах Калифорнии, на островах Зеленого мыса, побережье Мексиканского залива в США, в ряде городов Италии и многих других районах. Интрузия морских вод привела к негативным изменениям качества подземных вод на побережье Израиля. Во многих прибрежных районах Англии существует проблема вторжения соленых вод в водоносные горизонты. Так, на восточном побережье Англии наблюдается вторжение морских вод в водоносный горизонт мела, интенсивно эксплуатируемый для питьевых и промышленных нужд. Специалистами рекомендованы мероприятия по стабилизации отбора воды с целью предотвращения дальнейшего вторжения морских вод.

Интенсивный подток соленых вод в эксплуатируемые водоносные горизонты отмечен на побережье штата Квинсленд (Австралия), где водоотбор почти вдвое превышает современное инфильтрационное питание.

Вероятно, практически единственным способом борьбы с проседанием земной поверхности является сокращение отбора подземных вод из эксплуатируемых горизонтов и введение постоянного мониторинга уровня грунтовых вод и состояния земной поверхности. Только разработка строгих правил контролируемого отбора подземных вод позволяет предотвратить или снизить отрицательные последствия работы водозаборов там, где геолого-гидрогеологические условия способствуют развитию процессов проседания земной поверхности и (или) интрузии морских вод.

Наиболее наглядным примером борьбы с проседанием земной поверхности и внедрением морских вод являются работы, проведенные в штате Техас (США). В г. Хьюстоне за 40 лет интенсивной эксплуатации подземных вод проседание земной поверхности в отдельных районах достигло 4 м, что вызвало затопление значительной территории морскими водами. В 1976 году власти штата Техас приняли меры к сокращению откачки подземных вод в опасных районах и осуществлению ряда мероприятий по искусственному восполнению подземных вод. После этого темпы проседания земной поверхности значительно снизились. Следует подчеркнуть, что Техас является одним из немногих районов мира, где государством проводятся планомерные многолетние исследования (включая стационарные наблюдения, моделирование и прогнозы) по оценке влияния интенсивного отбора подземных вод на проседание земной поверхности.

Образование обширных депрессионных воронок в районах эксплуатации водоносного горизонта Потомак - Маготи, штат Нью-Джерси, США, вызвало интрузию морских вод в береговой зоне, что привело к необходимости сокращения вдвое отбора подземных вод крупными потребителями.

#### **Осадки и крены реакторных отделений АЭС**

В середине 70 годов прошлого века в СССР был взят курс на активное строительство атомных электрических станций (АЭС) с энергоблоками мощностью 1 тысяча МВт с водо-водяными энергетическими реакторами (ВВЭР-1000). Прототипом указанных АЭС стал энергоблок № 5 Нововоронежской атомной станции.

Площадки таких атомных станций выбирались исходя из близости их к планируемым источникам потребления электрической энергии, к мощным источникам технического водоснабжения, развитой базе строительной и промышленной индустрии, приемлемости природных условий, отвечающих требованиям действовавших на момент проектирования нормативных документов. К таким АЭС относятся Южно-Украинская, Калининская, Запорожская, Хмельницкая, Ровенская, Балаковская атомные станции. Среди эксплуатируемых АЭС большинство сооружено на сжимаемых грунтах с различными физико-механическими свойствами и с разными вариантами главных корпусов и других зданий и сооружений энергоблоков. Часть этих энергоблоков сооружалась с заменой грунтов с недостаточной несущей способностью на щебеночные или щебеночно-гравийные подушки разной мощности. Расчеты осадок и кренов зданий реакторных отделений (РО) выполнялись по действовавшим в то время методикам. Однако нормативная база для больше-размерных тяжелонагруженных зданий реакторных отделений с габаритами фундаментных плит диаметром в плане 48 м или квадратом 68 м и более и весом здания от 119 500 т (блок № 5 Нововоронежской, блоки № 1, 2 Калининской АС) до 234 000 т (Балаковская, Запорожская, Ростовская и ряд других АЭС) была несовершенной. Поэтому строительство большинства из таких зданий сопровождалось нерасчетным и непрогнозируемым развитием осадок и особенно кренов. В ряде случаев фактические осадки превысили расчетные в 2-3 раза, а крены — на еще большую величину. Здесь уместно заметить, что фактические крены тем не менее находились в пределах допускаемых действовавшими нормативными документами (НД) значений, а осадки монолитных и жестких сооружений, таких как реакторное отделение (РО), допускалось вообще не нормировать, поскольку они оседают и кренятся вместе с расположенным в нем оборудованием, трубопроводами и другими элементами энергоблока. Проблематичность «больших» в этом плане и неравномерных осадок рассматривается преимущественно не с точки зрения безопасности самого здания РО, а с точки зрения соблюдения очень жестких требований по пространственному положению оборудования реакторной установки (РУ), турбины и других вращающихся агрегатов, а также в целях обеспечения безопасности смежных с РО зданий и строительных конструкций, имеющих гораздо меньшие осадки, чем РО, и технологических коммуникаций, особенно трубопроводов большого диаметра и толщины стенки, связывающих РО с другими объектами атомной станции. Особенности осадок различных объектов и различные допустимые значения безопасности строительства и эксплуатации зданий и оборудо-

вания и привели к значительным трудностям в обеспечении жестких требований на фиксацию оборудования в пространстве.

Эти требования вызваны тем, что все АЭС — это объекты повышенной ядерной, радиационной, пожарной, технической и экологической опасности и ответственности. Безаварийная работа систем регулирования мощности, аварийной защиты ядерного энергоблока, в частности быстрый ввод поглощающих стержней в активную зону или их сброс, возможны при выполнении очень жестких конструктивных требований к оборудованию РУ, исключению перекосов, искривлений и других изменений геометрических размеров. Это важно и для вращающихся механизмов, особенно имеющих большие длины валопровода (цилиндр высокого давления, цилиндр среднего давления, три двухпоточных цилиндра низкого давления, генератор, возбудитель генератора, сочлененные между собой различными муфтами, при общей длине 50 м и более). Отклонения опор подшипников таких валопроводов в плане и высоте на уровне нескольких миллиметров приводит к расцентровке роторов, повышенной вибрации, даже к невозможности безопасной эксплуатации турбоагрегатов [1].

Для реакторной установки ВВЭР-1000 предъявлены главным конструктором следующие требования к фиксации оборудования РУ в пространственном положении. Особенности зданий реакторных отделений с ВВЭР-1000 состоят в том, что они тяжело нагружены и имеют большие размеры, создают большое давление на основание, сооружаются, как правило, и что отмечено ранее, на сжимаемых грунтах, с большим коэффициентом застройки объектами АЭС отведенной территории, не исключая взаимовлияния зданий на их осадки, имеют в два раза и более большие осадки, чем расположенные от них на разных расстояниях другие здания и сооружения, поэтому вопрос ограничения их осадок, кренов и горизонтальных смещений для безопасной эксплуатации оборудования и всей атомной станции имеет важнейшее значение.

В этой части основной заботой многих атомных станций с ВВЭР-1000, в том числе Балаковской АЭС, были проявившиеся в натуре на этапе строительства большие осадки и крены зданий РО, а также большие нерасчетные осадки смежных, вплотную примыкающих к зданиям РО объектов — машзалов и эстакад. Причем крены зданий РО таких АЭС, находясь в пределах или незначительно отличаясь от нормативных значений, предъявляемых к зданиям таких категорий, превосходят допуски и наклоны оборудования РУ в 5-15 раз. Максимальные и средние фактические осадки нескольких АЭС оказались больше указанных в проекте в 2-2,7 раза. Для таких условий можно после завершения строительных нагрузок дожидаться стабилизации осадок и крена и после этого монтировать оборудование, для которого последующие нарастания осадок и изменения крена не приведут к нарушениям предельных параметров его фиксации на монтаже. Однако такой метод ведет к большим задержкам общего завершения строительства (полгода и более) и ввода энергоблоков в эксплуатацию и, соответственно, большим экономическим потерям.

Второй подход базируется на приемлемом по точности прогнозировании величин осадок, направлений и абсолютных изменений крена РО в пространстве и, что очень важно,

во времени (в динамике). Однако это возможно при наличии нормативной базы, позволяющей выполнять указанные прогнозы, адекватные натурным данным. Но нормативная база для этих целей в то время применительно к крупноразмерным тяжело-нагруженным зданиям, таким как РО, была несовершенной. Поэтому положительные результаты такого варианта сооружения АЭС зависели от скрупулезного учета всех или большинства влияющих на неравномерные осадки факторов.

Крены реакторных отделений можно было ликвидировать еще на стадии проектирования, предусмотрев либо прорезку слабых водонасыщенных грунтов сваями длиной 12–23 м, упирающимися концами в малосжимаемые грунты, либо уменьшение удельного давления по подошве фундамента с увеличением ширины квадратного фундамента с 68 до 86 м (из-за значительной толщи слабых подстилающих грунтов).

Оседание, связанное с грунтовыми водами, — это оседание (или затопление) суши в результате нерациональной добычи грунтовых вод. Просадка грунтовых вод, вызванная откачкой, вызывает понижение поверхности грунтовых вод вокруг эксплуатационной скважины. В конечном итоге это может повлиять на большой регион, усложнив и удорожив откачку более глубоких вод. По мере откачки грунтовых вод эффективное напряжение изменяется, ускоряя уплотнение, которое часто необратимо. Таким образом, общий объем илов и глин уменьшается, что приводит к опусканию поверхности. Ущерб на поверхности намного больше, если наблюдается неравномерное оседание или крупномасштабные особенности, такие как воронки и трещины. Уплотнение водоносного горизонта является серьезной проблемой наряду с оседанием грунта, вызванным откачкой воды. Просадка грунта представляет глобальную проблему на безопасности АЭС из-за откачки грунтовых вод без должного научного сопровождения [1].

#### **Запорожская атомная электростанция**

Запорожская атомная электростанция расположена на левом берегу реки Днепр рядом с г. Энергодаром (Российская Федерация, Запорожская область). Это особенно актуально в условиях слабой сейсмичности Восточно-Европейской платформы и Украинского щита в частности.

Предварительный комплексный анализ геолого-геофизических карт и материалов позволил выделить в радиусе 150 км от площадки ЗАЭС одну сейсмоактивную зону возникновения очагов землетрясений (ВОЗ) и 4 потенциальные зоны ВОЗ:

1. Криворожско-Кременчугская зона ВОЗ отождествляется с Криворожско-Кременчугским сеймотектоническим разломом 1-го ранга. Разлом хорошо выражается в геофизических полях, на космоаэрофотоснимках и является одним из крупнейших по протяженности на Украинском щите.

2. Девладовская потенциальная зона ВОЗ отождествляется с Девладовской зоной разломов. Проявляется в поверхности «М» в виде разлома глубокого заложения; в поверхности кристаллического фундамента с амплитудами смещений первые десятки метров; в осадочном чехле.

3. Чертомлынская потенциальная зона ВОЗ. Эта зона в сеймотектоническом отношении связана с центральной частью Чертомлынской зоны разломов, которая не проявляется.

4. Орехово-Павлоградская потенциальная зона ВОЗ в сеймотектоническом отношении связана с центральным фрагментом регионального, мантийного Орехово-Павлоградского разлома.

5. Конкская потенциальная зона ВОЗ отождествляется с фрагментом Конкской раздвиговой зоны разломов, которая слабо проявляется: в поверхности «М», в магнитном поле и поле силы тяжести.

Строительство ЗАЭС началось в 1979 году. Спустя пять лет был введен в эксплуатацию первый энергоблок. Три следующих блока вводились в эксплуатацию ежегодно: второй — в 1985 году, третий — в 1986-м, четвертый — в 1987-м. В 1989 году начал функционировать пятый энергоблок, а шестой — лишь в 1995-м, после отмены моратория на строительство ядерных объектов на Украине, введенного из-за аварии на Чернобыльской АЭС. В мирное время ЗАЭС вырабатывала 40–42 млрд кВт·ч электроэнергии ежегодно. Это составляло примерно 50 % от всей электроэнергии, производимой атомными электростанциями Украины. По числу блоков и установленной мощности это самая крупная АЭС в Европе. Станция включает шесть энергоблоков ВВЭР-1000 суммарной мощностью 6 ГВт [1].

В октябре 2022 года президент РФ В. В. Путин поручил передать Запорожскую АЭС под управление Российской Федерации, о чем было уведомлено руководство МАГАТЭ.

Сегодня Запорожская атомная станция не функционирует на предельных мощностях. Это связано с угрозами безопасности станции. Два реактора находятся в состоянии ремонта. Три реактора — в режиме холодного останова, то есть не вырабатывают ни электроэнергию, ни тепло. Еще один реактор находится в состоянии горячего останова, что позволяет поддерживать генерацию тепла и пара, необходимых для работы целого ряда технологических узлов, в частности парогенератора и турбины.

Учитывая наличие боевых действий в районе расположения АЭС и решений, принимаемых эксплуатирующей организацией по обеспечению водой технологических нужд станции, возникает потребность в оценке технического состояния и обоснования безопасности дальнейшей эксплуатации строительных конструкций АЭС. Особенностью зданий и сооружений современных АЭС с точки зрения строительной науки являются более жесткие требования по деформационным параметрам как всего сооружения, так и отдельных его элементов.

Предельные значения совместной деформации основания и сооружений АЭС устанавливаются исходя из необходимости соблюдения следующих предельных состояний:

- а) максимально допустимые деформации сооружений, которые назначаются из условия работы технологического оборудования;

- б) предельное состояние по прочности, устойчивости и трещиностойкости конструкций, включая общую устойчивость сооружений.

Основание реакторного отделения Запорожской АЭС сложено песками средней плотности и плотными, мелко- и среднезернистыми с прослоями суглинка. Пески подстилаются палеогеновыми глинами. Грунтовые воды расположены в уровне подошвы фундаментов [4].

Фундамент реакторного отделения ВВЭР-1000, конструкция которого применена на АЭС, отличается значи-

тельными размерами и высоким давлением под подошвой фундамента. Серийные унифицированные реакторные отделения АЭС с реакторами типа ВВЭР-1000 представляют собой массивные железобетонные сооружения весом 262 тыс. т с размерами в плане 68 × 68 м и высотой 67 м. Фундамент реакторного отделения представляет собой коробчатую железобетонную конструкцию размерами 68×68 м и высотой 20 м. Оболочка гермозоны представляет собой монолитный железобетонный цилиндр диаметром 45 м, перекрытый куполом. Монолитная нижняя железобетонная плита толщиной 2,5 м заглублена на 7 м. Среднее давление по подошве фундамента составляет 0,55 МПа (5,5 кгс/см<sup>2</sup>). Существующие нормативы не описывают все особенности взаимодействия между фундаментом и грунтовым основанием, чтобы сформировать адекватный базис для нормативов и произвести оценку безопасности и длительное обслуживание конструкции, важной для безопасности, были проведены специальные исследования поведения основания и фундамента [1].

Многолетние натурные наблюдения за осадками и кренами реакторных отделений с реакторами ВВЭР-1000 показали, что на пространственное положение реакторного аппарата оказывают непосредственное влияние деформации грунтового основания. Таким образом, одним из основных механизмов деградации оснований реакторных отделений является процесс неравномерной сжимаемости грунтов в основании фундаментов. Поэтому прогнозирование и управление этим процессом весьма актуальны для управления старением строительных конструкций АЭС.

Согласно действующим нормативным документам, на момент проектирования реакторных отделений Запорожской АЭС, в т. ч. энергоблока № 3, глубина сжимаемой толщи основания фундамента здания РО была принята в пределах 25–30 м. При этом в расчетную зону сжимаемой толщи попадали практически только плотные пески с высокими показателями модуля упругости. Как следствие, более подробные инженерно-геологические изыскания грунтов основания были проведены на глубинах 30...35 м. Однако по окончании строительства и в процессе эксплуатации выявлено, что деформации грунтового основания здания реакторного отделения энергоблока № 3 Запорожской АЭС не стабилизировались и продолжали развиваться практически с постоянной скоростью. Таким образом, на основании обобщения всех проведенных в различные годы инженерно-геологических и инженерно-геодезических изысканий и исследований в настоящий момент выявлены крены и продолжающиеся осадки реакторных сооружений 1-й очереди Запорожской АЭС (особенно РО-1, РО-3), которые вызваны комплексом причин как инженерно-геологического, так и общетехнического свойства. В настоящее время скорость развития осадок фундаментов реакторных отделений Запорожской АЭС составляет соответственно 2,84 мм/год [1].

#### *Использование артезианской воды для технологических нужд Запорожской АЭС*

Все системы охлаждения на ЗАЭС объединены в систему технического водоснабжения. Техническое водоснабжение во многом определяет надежность и экономичность работы АЭС. Капиталовложения в ее сооружение оцениваются на уровне 10 % от стоимости киловатта установленной мощности.

Основными потребителями технической воды на АЭС являются: конденсаторы паровых турбин (основных и вспомогательных); маслоохладители и воздухоохладители турбогенераторов; подшипники насосов и других вспомогательных агрегатов; теплообменники вентиляционных систем; теплообменники доохлаждения продувочной воды парогенератора; теплообменники бассейнов выдержки и перегрузки; теплообменники расхолаживания реактора; теплообменники доохлаждения продувочной воды реактора; теплообменники автономных контуров охлаждения ГЦН; охладители радиоактивных проб воды и пара, отбираемых для анализа; санитарно-бытовые устройства (прачечные, душевые); система водоподготовки добавочной воды для первого и второго контуров; для подпитки тепловой сети.

Наиболее ответственные потребители имеют охлаждение через промежуточный контур. Соотношение давлений потребителей в промежуточном контуре и системе технического водоснабжения должно быть таким, чтобы исключить распространение радиоактивности за пределы станции.

Основными недостатками брызгальных бассейнов являются образование карбонатных отложений на охлаждаемых поверхностях и связанная с этим процессом подшламовая коррозия конструкционных материалов оборудования; образование радиоактивных илов; образование на поверхностях оборудования органических пленок, на которых происходит осаждение взвешенных частиц, усиливающих тенденции к илообразованию; наличие биологического обрастания элементов трубопроводов и оборудования, охлаждаемых водой брызгальных бассейнов, и непосредственно самих брызгальных бассейнов.

В технологических схемах АЭС мощными открытыми источниками тепла являются градирни, водоемы-охладители, брызгательные бассейны. Их эксплуатация, как правило, приводит к изменению микроклиматических характеристик, вызывает потепление водоемов, влияет на процессы жизнедеятельности флоры и фауны прилегающих к АЭС экосистем. Изменение отдельных параметров микроклимата локализуется преимущественно в пределах санитарной защитной зоны ЗАЭС и связано с поступлением в пограничный слой атмосферы значительного количества тепла и влаги.

Тепловое воздействие водоема-охладителя на атмосферу по данным мониторинга фиксируется в течение всего года, достигая высот 250–300 м и более, простираясь на расстоянии до 10 км. В теплый период года влияние водоема на смену температур воздуха незначительно: в малооблачную погоду на расстояниях до 100–200 м отмечается повышение температуры на 1,6 °С, в пасмурную – на 1,1 °С. В холодный период при достаточно высокой влажности воздуха над водоемом образуются туманы, распространяющиеся на побережье, в отдельные дни – на расстояние 2,0–2,5 км от береговой линии. При этом зона ухудшенной видимости (менее 1 км) может отмечаться на расстоянии до 5 км. В зоне туманов наблюдается повышенная влажность воздуха, прекращается инсоляция, возникают гололедно-заморозковые явления, повышается интенсивность коррозионных процессов металлических и бетонных конструкций ЗАЭС. Влияние брызгательных устройств на температуру воздуха максимально в холодный период: в ближайшей стометровой зоне температура воздуха повышается в среднем на 2,0–3,0 °С; на расстояниях 1–2 км – на 2,5–1,0 °С. При этом относительная

влажность воздуха повышается соответственно на 8-10 % и 4-5 %. Охлаждение воды с помощью двух башенных испарительных градирен приводит к потере воды летом на 15 %, зимой — на 1,3 %. Последствиями выброса тепла и влаги градирнями-охладителями являются: формирование пароконденсатных факелов, распространяющихся в холодный период года на расстояние до 2-3 км и более при устойчивой стратификационной атмосфере, а также до 0,5-0,7 км в летний период; «затмение» подстилающей поверхности и снижение в связи с этим на 30-50 % прихода прямой солнечной радиации в ближней к факелам зоне; снижение дальности метеорологической видимости в экстремальных условиях до 2-4 км, а при «застойных» явлениях в холодный период года — менее 0,5 км.

Системы охлаждения ЗАЭС также влияют на гидрохимический и экологический режим прилегающих к площадке водоемов. Так, вода из брызгательных устройств, градирен и водоема-охладителя постоянно испаряется, а соли остаются. Это приводит к увеличению жесткости воды, используемой для охлаждения, что отрицательно влияет на работу оборудования и требует принятия специальных технологических мероприятий. Поэтому для сохранения солевого баланса часть воды из водоема-охладителя постоянно сбрасывается и заменяется свежей днепровской водой. Процесс замещения воды в водоеме-охладителе называется продувкой. Расход продувки меняется в зависимости от времени года и составляет от 6 до 20 м<sup>3</sup>/с. При осуществлении плановых режимов продувки водоема-охладителя ЗАЭС распространение ореолов «теплого пятна» в акватории Каховского водохранилища с превышением температур на 3°C фиксировалось на удалении до 300-500 м от водовыпуска, что соответствует требованиям Правил охраны поверхностных вод от загрязнения сточными водами, согласно которым температура воды в водоемах не должна повышаться по сравнению с естественной температурой более чем на 5°C, с общим повышением не более чем до 28°C летом и 8°C зимой.

Продувка водоема-охладителя ЗАЭС, согласно технологическому регламенту, осуществляется в течение 9 месяцев в году, кроме периода нереста рыбы в Каховском водохранилище: с апреля по июнь, когда перегретые воды, поступающие из скудного канала ЗАЭС, полностью локализируются в водоеме-охладителе. Процесс продувки и качественный состав сбрасываемой из водоема-охладителя ЗАЭС воды, поступающей в Каховское водохранилище, должны постоянно контролироваться комплексным экологическим мониторингом.

Важным обстоятельством является факт, что брызгательные бассейны АЭС являются источниками радиоактивных выбросов, подлежат государственному учету и нормированию как источники выбросов, в связи с этим в соответствии с методикой для них необходимо установление нормативов ПДВ [5].

Брызгательный бассейн системы охлаждения воды Запорожской АЭС содержит водоподводящие трубопроводы и расположенные в бассейне коллекторы с рабочими трубопроводами, на которых установлены разбрызгивающие сопла, которые распыляют воду для охлаждения. Недостатком данного устройства является то, что при опорожнении бассейна для очистки водосборных чаш от ила и других отложений рабочие трубопроводы и коллекторы с разбрызгива-

щими соплами, расположенные в акватории водосборного бассейна, необходимо демонтировать [6].

Для обеспечения работы Запорожской атомной электростанции ГК «Росатом» предложил выход из ситуации с техническим водоснабжением. Из-за подрыва Каховской ГЭС возник риск дефицита воды для АЭС (рис. 1).



Рис. 1. Артезианская скважина, питающая брызгательные бассейны станции  
Fig. 1. Artesian well feeding the station's splash pools

По периметру брызгательного бассейна были пробурены скважины. 11 скважин должны обеспечить снабжение станции водой в объеме порядка 260-270 м<sup>3</sup> в час или 2365200 м<sup>3</sup> в год. Вода из брызгательных чаш систем безопасности используется для отвода тепла от топлива, которое находится на блоках ЗАЭС (рис. 1). По сообщению руководства ЗАЭС, дополнительного объема воды достаточно для обеспечения безопасности станции в случае нештатных ситуаций [7]. Администрация АЭС не предоставила информацию о проекте и согласовании его с контролирующими природоохранными органами РФ, качестве и запасах артезианской воды, а также данные о проводимом инструментальном контроле (расход по каждой скважине, химический состав) и длительности использования этой воды в масштабах станции. Необходимо отметить, что вообще не рассматривались альтернативные схемы водоснабжения АЭС, как, например, использование сухих градирен и систем комбинирования сухого и орошаемого охлаждения типа HEAD (Heller-EGI Advanced Dry/Deluged — усовершенствованная система сухого / орошаемого охлаждения Геллер-ЭГИ), работает с сухим охлаждением весь год. Достоинства и недостатки систем охлаждения технической воды на АЭС приведены в таблице 1 [8].

#### **Артезианская вода. Химический состав и недостатки использования**

Вода, находящаяся в подпочвенном слое между двумя слоями пород, которые не пропускают воду через себя, называется артезианской. Латинское название французской провинции Артуа — Artesium, в этой провинции такие воды использовались с XII века. Собственно, поэтому этот тип природной воды получил общепринятое название — «артезианские воды». Особенность артезианской воды в том, что толща земли создает избыточное давление, позволяющее получать доступ к этим водам без использования насосного оборудования. Грунтовые воды из скважин получают с обязательным использованием насосов, а артезианские воды называют напорными. В случае устройства артезианской

**Достоинства и недостатки систем охлаждения технической воды на атомной электростанции /  
Advantages and disadvantages of process water cooling systems at a nuclear power plant**

| Показатель<br>/ Indicator                                                                                                                                                          | Оборотные системы охлаждения технической воды / Cooling systems for cooling service water |                                                    |                               |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|-------------------------------|
|                                                                                                                                                                                    | Пруд-охладитель / Pond cooler                                                             | Испарительная градирня / Evaporative Cooling Tower | «Сухая» градирня / Dry cooler |
| Отчуждаемая территория в расчете на 1 ГВт(э), км <sup>2</sup>                                                                                                                      | 5-6                                                                                       | 0,1                                                | 0,05                          |
| Безвозвратные ежегодные потери воды при 7 тыс. ч/год использования номинальной мощности в 1 ГВт(э), млн м <sup>3</sup>                                                             | 20                                                                                        | 25                                                 | 0                             |
| Продувка воды из охладителя без химобработки, млн м <sup>3</sup> /год                                                                                                              | 20                                                                                        | 0                                                  | 0                             |
| Продувка воды из охладителя, требующей химобработку, млн м <sup>3</sup> /год                                                                                                       | 0                                                                                         | 20                                                 | 0                             |
| Суммарная подпитка охладителя без химобработки, млн м <sup>3</sup> /год                                                                                                            | 40                                                                                        | 45                                                 | 0                             |
| Влияние водяных паров на парниковый эффект, эквивалентный выбросу CO <sub>2</sub> , млн т/год                                                                                      | 7                                                                                         | 9                                                  | 0                             |
| Выброс в атмосферу патогенных бактерий                                                                                                                                             | Имеется                                                                                   | Имеется                                            | Отсутствует                   |
| Возникновение мутаций почвенных бактерий, не присущих региону размещения, за счет влияния повышенной температуры зимой                                                             | Имеется                                                                                   | Отсутствует                                        | Отсутствует                   |
| Недовыработка электрической мощности по сравнению с использованием прямоточных систем охлаждения из источника неограниченного размера, % N <sub>ном</sub>                          | 2                                                                                         | 3-4                                                | 5-7                           |
| Увеличение удельных капитальных затрат на АЭС по сравнению с АЭС, имеющей прямоточную систему охлаждения от природного источника неограниченного размера на расстоянии 1 км, %/кВт | 3-5                                                                                       | 5-8                                                | 6-9                           |
| Снижение электрической мощности энергоблока, работающего при номинальной мощности реактора, в жаркий месяц года, % N <sub>ном</sub>                                                | 2-3                                                                                       | 4-5                                                | 6-7                           |

скважины необходимо обязательное согласование и регистрация скважины, поскольку вода в недрах считается национальным достоянием государства.

Необходимо понимать, что вопрос терминов всегда спорный. Считается, что грунтовые воды условно подразделяются на поверхностные и глубинные. Также считается, что воды, находящиеся на глубинах залегания до 30 метров от поверхности, чаще всего именно поверхностные, глубже — преимущественно глубинные воды. По химическому составу поверхностные воды имеют большее содержание органических примесей, растворенного кислорода и меньшее содержание солей щелочноземельных и тяжелых металлов в отличие от глубинных грунтовых вод. Глубинным грунтовым водам в большей степени свойственны большая концентрация солей и меньшее содержание растворенного кислорода и органических примесей, могут присутствовать сероводород и примеси других химических неорганических веществ типа радона, соединений бора, фтора и т. п. По химическому составу артезианские воды ближе к глубинным грунтовым водам, так как практически не содержат растворенного кислорода и органических веществ.

Располагаются источники артезианского типа на глубинах от 100 метров до 1 километра. Напорные артезианские водоносные слои могут находиться под несколькими водоносными слоями. Известны скважины, подающие на поверхность воду с 15-го или даже 20-го водоносного горизонта.

К недостаткам использования артезианской воды, кроме особенностей ее извлечения, можно отнести сильную насыщенность этих вод солями. Это неудивительно, по-

скольку артезианские воды находятся в слоях, которым миллионы лет, а за эти сроки вода обязательно сильно насыщается содержимым водоупорных слоев. Именно поэтому к извлеченной артезианской воде практически всегда необходимо применять методы очистки от солей щелочноземельных и тяжелых металлов. Практически всегда необходимо удаление железа и марганца и умягчение, использование которых позволяет избавиться от избытков ионов тяжелых металлов, а также кальция и магния, что предотвратит появление накипи и осадка, а также ржавых подтеков. Обустройство артезианских скважин, проектирование и монтаж системы водоподготовки на них требует немалых финансовых затрат, как и затрат на последующее обслуживание и чистку. Зачастую характеристики примесей таковы, что необходимо использовать несколько ступеней очистки. Особенно это касается ситуаций, когда в воде помимо общераспространенных загрязнений присутствуют редкие трудно извлекаемые примеси.

#### *Инженерно-гидрологическое обоснование использования подземных вод на АЭС*

На АЭС в качестве резервного источника технического водоснабжения в условиях временного дефицита поверхностных водных ресурсов и аварийных ситуаций возможно использование подземных вод. Значение резервного источника технического водоснабжения на подземных водах определяется величиной ресурсов подземных вод, которые могут быть использованы для этой цели [9].

Основанием для использования подземных вод как резервного источника технического водоснабжения является наличие ресурсов подземных вод в достаточном количестве,

а также результаты технико-экономического и экологического сравнения вариантов использования подземных вод с возможными дополнительными вариантами использования поверхностных вод, включая создание дополнительных водохранилищ сезонного регулирования, переброску воды из бассейнов других рек, переход на другие способы охлаждения технической воды. Оценка потребности в подземных водах состоит из оценки величины необходимого резервного водообеспечения и оценки периодичности использования подземных вод. Оценка продолжительности периода использования подземных вод и величины резервного водообеспечения производится на основании результатов расчетов водохозяйственного баланса, показывающих продолжительность периода и величину дефицита поверхностных водных ресурсов. Оценка возможности использования подземных вод состоит из оценки ресурсов подземных вод, которые могут быть использованы для технического водоснабжения, и оценки возможного влияния интенсивного отбора подземных вод в районе АЭС на компоненты окружающей среды. Выделение участков водоносных горизонтов, пригодных для технического водоснабжения, осуществляется на основании материалов поисково-разведочных работ с учетом данных по водохозяйственному использованию поверхностных и подземных вод данной территории, природоохранных и, в частности, водоохранных требований, требований общегосударственных норм и иных специфических требований, характерных для данной территории.

Вопросы изучения и использования подземных вод регламентируются Водным кодексом Российской Федерации и Законом Российской Федерации «О недрах». В соответствии с Законом Российской Федерации «О недрах» и Положением о порядке лицензирования пользования недрами, недра предоставляются в пользование специальным разрешением в виде лицензии. Последняя выдается уполномоченными на то органами государственной власти только на те участки недр, геологическая информация по которым прошла соответствующую государственную экспертизу. При предоставлении недр в пользование для добычи подземных вод такой государственной экспертизе подлежит оценка эксплуатационных запасов подземных вод, являющихся критерием целесообразности и возможности использования подземных вод для тех или иных целей.

Под эксплуатационными запасами подземных вод понимается средний за расчетный период фактический или проектный расход подземных вод, который может быть получен на месторождении (участке) с помощью геолого-технически обоснованных водозаборных сооружений при заданных: режиме, условиях эксплуатации и качестве, удовлетворяющем требованиям целевого использования подземных вод в течение всего расчетного срока водопотребления с учетом природоохранных ограничений. Оценка эксплуатационных запасов подземных вод заключается в определении возможной производительности водозабора при заданном понижении уровня воды в каптажных сооружениях или прогнозе понижения уровней в пределах оцениваемой площади при заданной производительности водозабора. При этом должна быть доказана возможность эксплуатации подземных вод обоснованными в геолого-техническом отношении водозаборными сооружениями при расчетной величине водоотбора в течение определенного срока работы водозаборных сооружений

при условии, что качество подземных вод удовлетворяет заданному назначению в течение всего этого периода, а прогнозируемые изменения различных компонентов природной окружающей среды не выходят за пределы установленных ограничений.

Оценка эксплуатационных запасов подземных вод включает комплекс вопросов, в состав которых входят:

а) оценка обеспеченности эксплуатационных запасов различными балансовыми составляющими (источниками формирования). Эксплуатационные запасы, представляющие собой дебит водозаборных сооружений, формируются за счет питания подземных вод в естественных условиях, сработки емкостных запасов и привлечения поверхностных и подземных вод смежных водоносных систем;

б) расчет производительности водозаборных сооружений и соответствующих понижений уровней подземных вод;

в) расчет взаимодействия водозаборного сооружения с водозаборными сооружениями на других участках в пределах области влияния оцениваемого;

г) прогноз возможных изменений качества подземных вод при их эксплуатации;

д) определение границ зон санитарной охраны водозаборов подземных вод (при оценке эксплуатационных запасов подземных вод для хозяйственно-питьевого водоснабжения);

е) оценка изменений геолого-гидрогеологических условий, определяющих возможное влияние эксплуатации подземных вод на окружающую среду (развитие карстово-суффозионных процессов, угнетение растительности, изменение поверхностного стока рек, осушение болот, проседание земной поверхности и др.);

ж) технико-экономические обоснования использования подземных вод и рациональных схем водозаборных сооружений.

В зависимости от особенностей использования подземных вод, а также особенностей гидрохимической и санитарной обстановки различные вопросы из приведенного перечня могут решаться с разной степенью детальности и достоверности, а отдельные вопросы могут быть полностью исключены.

Ключевым элементом оценки эксплуатационных запасов являются расчеты производительности водозабора. Расчеты всех основных элементов определяются, по существу, расчетами производительности водозаборов и непосредственно связаны с ними. При оценке эксплуатационных запасов подземных вод для технического водоснабжения технико-экономическое обоснование целесообразности их использования является обязательным. В связи с тем что в большинстве случаев потребителю должен быть обеспечен определенный расход воды, на практике расчет производительности водозабора чаще всего заключается в определении расчетной глубины динамических уровней подземных вод и соответствующих им величин понижений при заданном расходе водозабора и сопоставлении прогнозной величины понижения с допустимой. Величина допустимого понижения уровня водозаборных сооружений определяется гидрогеологическими, технико-экономическими и природоохранными факторами. Эксплуатационные запасы могут считаться обеспеченными, если расчетное понижение уровня не превышает допустимое. Если расчетное понижение уровня в скважинах

больше допустимого, то это значит, что либо суммарный дебит водозабора не обеспечен источниками формирования, либо фильтрационные свойства пласта не обеспечивают получение заданного дебита. В этом случае подсчеты запасов должны быть выполнены заново либо применительно к другой схеме водозаборных сооружений, либо с учетом уменьшенного значения суммарной производительности.

В зависимости от гидрогеологических условий и источников формирования эксплуатационных запасов подземных вод оценка запасов проводится либо на неограниченный срок эксплуатации, либо на заранее установленный период, если эксплуатация будет проходить при нестационарном режиме подземных вод. В последнем случае расчетный срок определяется проектной организацией. На практике чаще всего расчетный период принимается равным 25 годам. Этот срок превышает амортизационный период работы водозаборных сооружений и является достаточным либо для проведения переоценки запасов по данным многолетней эксплуатации, либо для изыскания других дополнительных источников водоснабжения рассматриваемого объекта.

Для выполнения гидрогеологических прогнозов при оценке эксплуатационных запасов подземных вод могут применяться следующие методы: гидродинамические, гидравлические, балансовые, гидрогеологических аналогов и экспертных оценок. Выбор метода прогнозирования зависит от сложности геолого-гидрогеологических условий оцениваемого месторождения (участка), степени их изученности, целевого назначения расчетов, наличия опыта эксплуатации действующих водозаборных сооружений. При гидрогеологических прогнозах отдельных элементов оценки запасов могут использоваться как один, так и несколько методов, либо их комбинация. Характеристика методов прогнозирования и особенности их использования в различных гидрогеологических условиях изложены в литературе [10].

Принципы оценки возможного влияния интенсивного отбора подземных вод в районах АЭС на компоненты окружающей среды заключаются в разработке прогнозных оценок и методики контроля влияния интенсивного отбора подземных вод на речной сток; динамики развития воронки депрессии при интенсивном водоотборе и ее регрессии в период восстановления уровней подземных вод; нарушения режима, баланса и взаимосвязи подземных и поверхностных вод; оседания земной поверхности под влиянием интенсивного водоотбора; возможного развития карстово-суффозионных процессов под влиянием интенсивного водоотбора.

Необходимо проведение наблюдений за изменениями в подземных и поверхностных водах, а также других компонентах окружающей среды, вызванных их взаимным влиянием, которые могут вызывать негативные последствия — сокращение речного стока, изменения в режиме и ресурсах подземных вод и их качестве, проседание земной поверхности, изменение режима влаги в корнеобитаемом слое и угнетение растительности, активизацию карстово-суффозионных процессов и др. Эксплуатация подземных вод для технического водоснабжения АЭС и объектов ее инфраструктуры как при постоянном, так и при периодическом режимах водоотбора приводит к формированию депрессионных воронок, размеры которых зависят от величины водоотбора, схемы расположения водозаборных сооружений и кон-

кретных гидрогеологических условий месторождения подземных вод. Прогноз развития депрессионной воронки во времени и пространстве выполняется аналитическими методами или моделированием с учетом изменений условий взаимосвязи водоносных горизонтов между собой и компонентами окружающей среды.

Отбор подземных вод нарушает их режим и баланс. Снижение уровня грунтовых вод, вызванное их эксплуатацией (или эксплуатацией более глубоких водоносных горизонтов, гидравлически связанных с грунтовыми водами), меняет величину их инфильтрационного питания, что определяет естественное восполнение запасов подземных вод. В районах эксплуатации подземных вод, прежде всего в пределах депрессионных воронок, рекомендуется создание специальной наблюдательной сети скважин, используемой для наблюдений и прогноза снижения уровней и изменения качества воды в эксплуатируемом и смежных водоносных горизонтах. Методика наблюдений и методы прогноза определяются видом и разновидностями режима подземных вод в естественных и нарушенных условиях и изложены в литературе [10].

Эксплуатация подземных вод вблизи реки (так называемые водозаборы инфильтрационного типа) резко нарушает и видоизменяет взаимосвязь поверхностных и подземных вод. В тех случаях, когда в естественных условиях подземные воды разгружались в реки, эта разгрузка резко сокращается или прекращается совсем за счет перехвата части подземного стока водозаборными сооружениями. Размеры ущерба речному стоку зависят от дебита водозабора, расстояния его от реки, схемы водозабора (обычно это линейный ряд скважин вдоль реки), фильтрационных свойств эксплуатируемого водоносного горизонта и степени его связи с рекой. Ущерб объему речного стока, вызванный интенсивным отбором подземных вод, может вызвать значительные негативные последствия: ухудшение условий рыбопроизводства и судоходства вследствие сокращения меженного стока, сокращение санитарного стока, осушение и обмеление озер, осушение болот, опустынивание территорий.

На стадиях проектирования и эксплуатации АЭС при наличии крупного сосредоточенного отбора подземных вод следует обратить внимание на возможную опасность активизации карстово-суффозионных процессов и дать качественную оценку возможной опасности этого явления. Для этого необходимо выполнить прогноз возможного развития карстово-суффозионных процессов под влиянием интенсивного водоотбора подземных вод, организовать маркшейдерско-геодезические наблюдения за возможным развитием этих процессов, включив их в состав комплексного мониторинга данного объекта.

#### ***Принципы организации резервного технического водоснабжения на подземных водах***

Принципы организации резервного технического водоснабжения на подземных водах заключаются:

а) в создании обоснованной схемы организации резервного технического водоснабжения на подземных водах, включая рациональную схему водозаборных сооружений и организацию рационального водопользования для конкретных гидрогеологических и технических условий, организацию службы эксплуатации и ремонта;

б) создании системы водозаборных сооружений, использовании рациональных приемов водопользования, проведе-

нии ремонтно-профилактических и восстановительных работ;

в) организации контроля режима подземных вод, а при необходимости — гидрогеологического мониторинга.

Создание рациональной схемы водозаборных сооружений и разработку технологии рационального водопользования для конкретных гидрогеологических и технических условий производят с использованием методов математического моделирования. Организация службы эксплуатации и ремонта системы резервного технического водоснабжения на подземных водах заключается в создании структуры данной службы, обеспечении ее квалифицированными кадрами и материально-техническими средствами, необходимыми для выполнения поставленных задач.

Создание системы водозаборных сооружений, как правило, должно производиться специализированными организациями, имеющими большой опыт создания водозаборных и иных гидрогеологических скважин. Использование рациональных приемов водопользования необходимо для уменьшения непроизводительных потерь подземных вод и снижения материальных затрат при их использовании.

Организация режимных наблюдений за подземными водами включает в себя создание режимной сети гидрогеологических скважин, создание службы наблюдений и ремонтно-профилактических работ, обеспечение ее персоналом и материально-техническими ресурсами, проведение наблюдений за контролируемыми параметрами подземных вод, оформление результатов наблюдений и принятие необходимых решений.

Организация контроля режима подземных вод включает в себя наблюдения за уровнями, температурой и химическим составом подземных и связанных с ними поверхностных вод. Режимная сеть гидрогеологических скважин должна обеспечивать все поставленные задачи как в плане контроля использования и восстановления запасов и качества подземных вод, так и в плане воздействия водозабора резервного техводоснабжения на природную среду. В целях комплексной оценки возможного влияния интенсивного отбора подземных вод на окружающую среду в процессе проектирования АЭС необходимо предусмотреть создание и функционирование гидрогеологического мониторинга, позволяющего проводить постоянные наблюдения за состоянием подземных вод (режимом уровня; изменениями качества, температуры подземных вод; режимом водоотбора) и служащего основой для гидрогеологических расчетов и прогнозов опасного воздействия такого водоотбора на среду. Состав и содержание такого мониторинга определяются его конкретными целями и особенностями гидрогеологических условий района АЭС.

#### ***Предложения по организации мониторинга геолого-геофизических условий размещения АЭС***

После аварии на АЭС «Фукусима-дайити» в России для всех АЭС были выполнены стресс-тесты на устойчивость к внешним воздействиям. На АЭС Украины стресс-тесты на устойчивость к внешним воздействиям проведены в значительно меньших объемах. В России безопасность АЭС от внешних природных и техногенных воздействий регулируется федеральными нормами и правилами в области использования атомной энергии (ФНП), которые являются обязательными при проектировании, сооружении, эксплуатации и выводе из эксплуатации АЭС. ФНП поддерживают-

ся системой руководств по безопасности (РБ), которые имеют рекомендательный характер. ФНП предусматривают контроль стабильности геолого-геофизических условий в районе и на площадках размещения АЭС в режиме мониторинга. Мониторинг геолого-геофизических условий размещения АЭС является неотъемлемой частью системы мониторингов «АЭС — окружающая среда». Актуальность мониторинга геолого-геофизических условий определена и обусловлена их изменением под влиянием естественных и техногенных внешних воздействий в период строительства, эксплуатации и вывода из эксплуатации АЭС. Мониторинг носит комплексный характер. В его состав входят геотехнические, гидрогеологические, сейсмологические наблюдения и наблюдения за современными движениями земной коры (СДЗК).

В системе ФНП России основными нормативными документами, регламентирующими требования к проведению мониторинга внешних природных и техногенных воздействий в районе и на площадке размещения АЭС, являются НП-064-05 [11] и РБ-036-06 [12]. НП-064-05 содержат требования к учету внешних воздействий природного и техногенного происхождения при размещении, проектировании, сооружении, эксплуатации и выводе из эксплуатации (в том числе в случае длительной выдержки под наблюдением) АЭС. НП-064-05 устанавливают номенклатуру процессов, явлений и факторов природного и техногенного происхождения, которые должны выявляться при изысканиях и исследованиях в районе и на площадке размещения АЭС и учитываться при обосновании его устойчивости и безопасности. Для процессов, явлений и факторов техногенного происхождения, природно-техногенного и техногенно-природного происхождения должны разрабатываться сценарии их реализации для выявления их взаимообусловленности и взаимовлияния. При этом в районе и на площадке размещения АЭС должен обеспечиваться мониторинг параметров процессов и явлений природного происхождения, включенных в проектные основы, а также периодический контроль параметров факторов техногенного происхождения, включенных в проектные основы.

Согласно требованиям НП-064-05, при размещении АЭС проводится классификация площадок по степени опасности процессов, явлений и факторов природного и техногенного происхождения.

Установлено три класса площадок:

А — площадка, на которой отсутствуют внешние воздействия I и II степени опасности;

Б — площадка, на которой отсутствуют внешние воздействия I степени опасности;

В — площадка, на которой имеются внешние воздействия I, II и III степени опасности.

Согласно требованиям НП-064-05, если на площадке размещения АЭС возможны процессы и явления природного происхождения I и II степени опасности, системы мониторинга для оценки их параметров должны быть реализованы и функционировать до ввода в эксплуатацию АЭС. Требованиями НП-064-05 предусматривается, что технические средства для мониторинга и периодического контроля параметров процессов, явлений и факторов должны проходить проверки. Частота проверок должна устанавливаться в проектной документации систем мониторинга и периоди-

ческого контроля и быть достаточной для обеспечения гарантий их безотказной работы в период между проверками. Системы мониторинга параметров процессов и явлений природного происхождения должны быть интегрированы в единые государственные системы мониторинга, которые имеются на территории Российской Федерации в районе размещения площадки АЭС.

Цель и задачи мониторинга в районе и на площадке АЭС в конечном счете определяются условием, согласно которому, если в результате наблюдений при эксплуатации АЭС зафиксированы изменения проектных параметров внешних воздействий, принятых в проектных основах, то должны оцениваться последствия влияния этих изменений на устойчивость и безопасность АЭС. В необходимых случаях должны приниматься дополнительные меры по инженерной защите АЭС и/или территории АЭС.

Для выполнения этого условия в соответствии с требованиями пункта 6.22 НП-064-05 на АЭС должны создаваться и актуализироваться базы данных о параметрах процессов, явлений и факторов природного и техногенного происхождения на площадке и в районе размещения АЭС. Руководство по безопасности РБ-036-06 разрабатывалось в развитие требований НП-064-05 и включает в себя рекомендации по методикам практической реализации требований НП-064-05.

#### *Состав и особенности проведения мониторинга в районе и на площадках АЭС*

Процесс включает в себя радиационный, геотехнический, гидрогеологический, сейсмологический мониторинг и мониторинг СДЗК. В настоящее время при активном проявлении климатических изменений, носящих региональный и разнознаковый характер (региональное потепление или региональное похолодание), становится очевидным необходимость комплексного подхода к оценке изменений геологической среды по результатам проводимых на площадке АЭС видов мониторинга [13].

**Радиационный мониторинг.** Контроль мощности дозы гамма-излучения (радиационный фон) в санитарно-защитной зоне и зоне наблюдения АЭС проводится метрологически аттестованными переносными приборами и автоматизированными системами контроля радиационной обстановки (ЕГАСКРО). Основным назначением АСКРО (Росатома РФ) является осуществление непрерывного контроля радиационной обстановки на постах контроля, расположенных на территории санитарно-защитной зоны и зоны наблюдения АЭС, и информационно-аналитическая поддержка противоаварийных структур, руководства АЭС, органов управления и государственной власти различных уровней в случае аварии на АЭС [18].

**Геотехнический мониторинг.** В состав геотехнического мониторинга входят мониторинг осадков и кренов фундаментов зданий и сооружений (далее — ЗиС) и мониторинг физико-механических свойств грунтов оснований ЗиС АЭС. При выполнении геотехнического мониторинга применяются следующие методы: визуально-инструментальные (наблюдения за уровнем подземных вод, состоянием конструкций, в том числе поврежденных, с фиксацией дефектов маяками или аналогичными устройствами, фотофиксация и др.); геодезические (фиксация перемещений марок и др.) с применением нивелиров, теодолитов, тахеометров, сканеров (в том

числе оптических, электронных, лазерных и др.) и навигационных спутниковых систем; тензометрические (фиксация напряжений в основании под подошвой фундамента, пятой сваи, в несущих конструкциях и др.) с применением комплекса датчиков напряжений и деформации; виброметрические (измерение кинематических параметров колебаний: виброперемещений, виброскоростей, виброускорений); геофизические (электромагнитные, сейсмические и др.).

Контролируемыми параметрами мониторинга осадков и кренов фундаментов ЗиС являются нормативные предельно допустимые значения и расчетные проектные значения осадков и кренов фундаментов ЗиС АЭС. На всех без исключения площадках размещения АЭС мониторинг осадков и кренов фундаментов ЗиС проводится для ЗиС первой и второй категории ответственности за радиационную безопасность. Системы мониторинга осадков и кренов фундаментов ЗиС нормированы и строго регулируются федеральными нормативными документами, а также соответствуют рекомендациям Международного агентства по атомной энергии (МАГАТЭ). При анализе результатов геотехнического мониторинга учитываются результаты других видов мониторинга, контролирующих изменения геологической среды.

**Гидрогеологический мониторинг.** В России ОИАЭ размещены в различных климатических зонах с самыми различными гидрогеологическими условиями. Несущая способность грунтов оснований ЗиС ОИАЭ в большой мере зависит от гидрогеологических условий площадки размещения. Наблюдения за режимом грунтовых вод на площадках размещения ОИАЭ проводятся с целью уточнения гидрогеологических условий; контроля гидрохимической устойчивости оснований; контроля агрессивного воздействия грунтовых вод на фундаменты; контроля состояния подземных водонесущих коммуникаций и дренажных систем.

Наблюдения за режимом грунтовых вод осуществляются с помощью контрольных скважин — пьезометров, которые должны быть заложены к началу эксплуатации ОИАЭ. Наблюдения за режимом грунтовых вод включают в себя три вида работ: наблюдения за изменением уровня грунтовых вод; измерения температуры грунтовых вод; определение химического состава. Эти виды работ в режиме мониторинга строго регламентированы, обеспечены нормативными документами и выполняются на площадках размещения ОИАЭ в течение всего жизненного цикла.

**Сейсмологический мониторинг.** На платформенной части Украины известно свыше 30 коровых землетрясений с магнитудой до 4,8–5,3; в эпицентрах в основном — 5–6 баллов. Данные о сейсмическом воздействии на площадку ЗАЭС от этих землетрясений отсутствуют. В радиусе до 200 км от площадки ЗАЭС известно более 15 очагов землетрясений.

Запорожская атомная электростанция реализовала проект сети сейсмологического мониторинга: установила шесть сейсмостанций, которые расположены в 30-километровой зоне энергообъекта: в селах Днепровка, Знаменка, Благовещенка, Добра Надежда и в Никополе. В их скважинах установлены сейсмодатчики. Они регистрируют землетрясения, и каждый день информация поступает на сервер атомной станции. Сеть сейсмологического мониторинга Запорожской АЭС регистрирует любое землетрясение. Это постфукусимское мероприятие в рамках Комплексной (сводной) про-

граммы повышения безопасности энергоблоков Украины. Реализация проекта началась в 2012 году. В опытном режиме система начала работать в 2017 году.

**Мониторинг СДЗК.** Деформации и возможные крены тектонических блоков земной коры должны учитываться при размещении АЭС, т. к. они могут влиять на поведение площадок их размещения. Наблюдения за СДЗК с помощью геодезических методов как наземных, так и с использованием GPS-наблюдений со спутников являются одним из инструментов для выделения геодинамически активных разломов и разломных зон и оценки текущей (настоящей) геодинамической активности территории в целом [13, 15].

Необходимо отметить, что методология работ СДЗК основана на использовании сетей опорных реперов (глубинных и грунтовых), всегда испытывающих воздействие множества факторов (климатических, геологических, гидрогеологических и др.), которые в свою очередь влияют на их устойчивость. Поэтому весьма важно при использовании результатов геодезических наблюдений при обосновании безопасности достоверно выделять геодинамическую составляющую движений. В свою очередь эта составляющая может быть вызвана как эндогенными, так и экзогенными и инженерно-геологическими процессами. Соответственно, необходимо стараться однозначно определить причины СДЗК, поскольку в случае с эндогенными источниками мы имеем дело с активными тектоническими структурами, а в остальных случаях — нет. Тем не менее всегда должен определяться риск, который может быть нанесен безопасной эксплуатации АЭС современными геодинамическими процессами, протекающими в настоящее время.

Наблюдения за СДЗК осуществляются наземными геодезическими методами (в основном за вертикальной составляющей) и космическими средствами (как правило, за горизонтальной составляющей) и в зависимости от масштаба подразделяются на глобальные (в масштабе Земли в целом), региональные (в пределах района размещения объекта) и локальные (на площадке размещения объекта). Проблема заключается в том, что такие наблюдения чаще всего выполняются лишь эпизодически — путем повторных наблюдений через определенные интервалы, лишь в редких случаях непрерывно (перманентно) в режиме мониторинга (но и в случае мониторинга непрерывность наблюдений относительна и сводится лишь к повышению частоты опроса) [17].

Детальные исследования СДЗК геодезическими методами в районах и на площадках размещения АЭС проводятся либо в пределах локальных (ведомственных) геодинамических полигонов, либо по отдельным профилям. По результатам наблюдений за СДЗК к опасным относят разломы, в зонах которых установлен градиент скорости движений  $3 \times 10^{-5}$  в год.

При сохранении постоянства такой скорости вертикальной деформации в течение срока эксплуатации объекта предельный крен может достигать величины  $10^{-3}$ , что сопоставимо с предельной величиной допустимого крена реакторного отделения атомной станции. Такие движения могут быть вызваны как опасными активными разломами, расположение которых недопустимо на площадках размещения АЭС, так и другими геодинамическими процессами (экзогенными, инженерно-геологическими и гидрогеологическими).

Дополнительным компонентом к высокоточному геометрическому нивелированию для анализа скоростей вертикальных движений и решения других задач тектоники и геодезии является выполнение гравиметрических работ. Это связано с тем, что по результатам повторного геометрического нивелирования нельзя судить об относительном вертикальном смещении реперов, так как его причиной может быть изменение гравитационного поля в исследуемом районе Земли.

Аналогично по результатам повторных гравиметрических наблюдений нельзя судить, изменяется ли гравитационное поле, поскольку причиной изменения силы тяжести могут быть смещения измерительных точек по высоте относительно центра масс Земли. Отсюда следует, что при точных работах по исследованию современных вертикальных движений земной коры нельзя не считаться с возможными изменениями гравитационного поля. Для производства гравиметрических работ должна быть создана сеть гравиметрических пунктов. Гравиметрические пункты совмещаются с геодезической сетью — глубинными реперами и пунктами государственной триангуляции и устанавливаются в непосредственной близости от них: порядка 3 м от глубинных реперов и 1–3 м от центров триангуляции. Такие наблюдения в настоящее время ведутся на геодинамических полигонах Ростовской АЭС.

В качестве контролируемых величин при мониторинге рекомендуется рассматривать параметры (максимальные вертикальные и горизонтальные смещения, скорости и градиенты скоростей смещений), учитываемые при размещении площадки АЭС, и параметры, учитываемые в проекте при обеспечении безопасности АЭС, — крены реакторных отделений и допустимые крены зданий и сооружений, важных для безопасности. Оценка характеристик вертикальных движений земной коры на геодинамическом полигоне зависит от продолжительности периода мониторинговых наблюдений: если последовательно обработать наблюдения за 15 лет, а затем за 3 года и, наконец, за год, то определяемые движения оказываются всё хаотичнее. При анализе больших интервалов измерений получаются устойчивые осредненные величины, а при малых интервалах увеличивается влияние случайных отклонений от общей тенденции.

При проведении мониторинговых наблюдений следует особое внимание обращать на выявление долговременных трендовых составляющих СДЗК и тщательно анализировать, выявлять причины интенсивных локальных изменений параметров. СДЗК могут приводить к перекосу и крену площадки и вносить дополнительный вклад в крен (и перекося) ЗИС, возникший вследствие неравномерной осадки и движений грунтов оснований.

Перекося и крен площадки за счет СДЗК могут усугублять суммарный крен, если направление кренов совпадает, или, наоборот, компенсировать, если направления составляющих суммарного крена противоположны. При этом необходимо учитывать влияние сложных инженерно-геологических и гидрогеологических условий территорий размещения АЭС, которые на локальных участках также могут повлиять на увеличение осадки, крена и изгиба фундаментов зданий и сооружений.

Воздействие составляющей крена СДЗК может быть критическим в том случае, если значение составляющей крена

осадки фундамента близко к предельно допустимым значениям (эффект последней капли). Например, в случае Калининской АЭС, где крены реакторных отделений, обусловленные неравномерными осадками (РО-1 = 0,00308; РО-2 = 0,00267), превысили предельно допустимое значение 0,001, «добавка» крена за счет СДЗК может оказаться критической. Такая же ситуация возможна на Балаковской АЭС и на ХОЯТ Курской АЭС. При этом необходимо учитывать техногенную составляющую, влияющую на геодинамическую активность территории размещения АЭС.

### Выводы

1. На основании РД 95.10531-96 на АЭС в качестве резервного источника технического водоснабжения АЭС допускается использование подземных вод в условиях временного дефицита поверхностных водных ресурсов и аварийных ситуаций. Значение резервного источника технического водоснабжения на подземных водах определяется величиной ресурсов подземных вод, которые могут быть использованы для этой цели.

2. Эксплуатация подземных вод для технического водоснабжения АЭС и объектов ее инфраструктуры как при постоянном, так и при периодическом режимах водоотбора приводит к формированию депрессионных воронок, размеры которых зависят от величины водоотбора, схемы расположения водозаборных сооружений и конкретных гидрогеологических условий месторождения подземных вод. Прогноз развития депрессионной воронки во времени и пространстве должен выполняться аналитическими методами или моделированием с учетом изменений условий взаимосвязи водоносных горизонтов между собой и компонентами окружающей среды. Одним из основных механизмов деградации основания реакторного отделения является деформация подстилающих фундамент грунтов. Деформации грунтового основания оказывают непосредственное влияние на положение энергетического реактора. При увеличенном давлении и относительно большом размере фундаментов реакторных отделений ВВЭР-1000 слои грунта деформируются на глубину, сравнимую с величиной фундамента. Осадочная воронка расширяется на значительное расстояние, влияя на соседние сооружения.

3. Просадка грунтовых вод, вызванная откачкой, вызывает понижение поверхности грунтовых вод вокруг эксплуатационной скважины. В конечном итоге это может повлиять на большой регион, усложняя и удорожая откачку более глубоких вод. По мере откачки грунтовых вод эффективное напряжение изменяется, ускоряя уплотнение, которое часто необратимо. Таким образом, общий объем илов и глин уменьшается, что приводит к опусканию поверхности. Ущерб на поверхности намного больше, если наблюдается неравномерное оседание или крупномасштабные особенности, такие как воронки и трещины. Уплотнение водоносного горизонта является серьезной проблемой наряду с оседанием грунта, вызванным откачкой воды. Просадка грунта представляет глобальную проблему на безопасности АЭС из-за откачки грунтовых вод без должного научного сопровождения.

4. Оседание земной поверхности под влиянием интенсивного водоотбора происходит в результате изменения упругого состояния как водоносных, так и водоупорных пород в слоистых осадочных толщах. Расчетные зависимости для

определения возможной величины оседания земной поверхности включают такие показатели, как приращение нагрузки на скелет породы, объемный вес породы до водопонижения и при снижении уровня на заданную величину, коэффициент сжимаемости пород и др. Известные на территории России максимальные значения проседания земной поверхности под влиянием откачки подземных вод не превышают 2-3 мм/год. Поэтому оценку возможного проседания земной поверхности на стадии проектирования АЭС целесообразно проводить только в редких случаях — при крупном длительном водоотборе из слоистой хорошо сжимаемой толщи водовмещающих осадочных пород.

5. Эксплуатация подземных вод вблизи реки Днепр нарушает и видоизменяет взаимосвязь поверхностных и подземных вод. В тех случаях, когда в естественных условиях подземные воды разгружались в реки, эта разгрузка резко сокращается или прекращается совсем за счет перехвата части подземного стока водозаборными сооружениями. Размеры ущерба речному стоку зависят от дебита водозабора, расстояния его от реки, схемы водозабора (обычно это линейный ряд скважин вдоль реки), фильтрационных свойств эксплуатируемого водоносного горизонта и степени его связи с рекой. На стадиях эксплуатации АЭС при наличии крупного сосредоточенного отбора подземных вод следует обратить внимание на возможную опасность активизации карстово-суффозионных процессов и дать качественную оценку возможной опасности этого явления. Для этого необходимо выполнить прогноз возможного развития карстово-суффозионных процессов под влиянием интенсивного водоотбора подземных вод, организовать наблюдения за возможным развитием этих процессов, включив их в состав комплексного мониторинга данного объекта.

6. Федеральные нормы и правила в области использования атомной энергии (ФНП) предусматривают контроль стабильности геолого-геофизических условий в районе и на площадках размещения АЭС в режиме мониторинга. Мониторинг носит комплексный характер. В его состав входят геотехнические, гидрогеологические, сейсмологические наблюдения и наблюдения за современными движениями земной коры (СДЗК).

7. Внедрение автоматизированных структурированных систем мониторинга для проведения маркшейдерско-геодезических инструментальных наблюдений за сдвижением и деформацией земной поверхности и расположенными на ней объектами топливно-энергетического комплекса Российской Федерации (и их последующей эксплуатации на базе новейших технологий, автоматизированных систем и приборов) имеет первостепенное значение, т. к. представляет собой актуальное направление, решение которого позволит своевременно прогнозировать состояние объектов, оповестит об возможной опасной или аварийной ситуации на них, а также чрезвычайных ситуациях, катастрофах и экологических бедствиях, что будет способствовать принятию организационных и технических мер по предупреждению и устранению этих ситуаций и обеспечит надежность и долговременную эксплуатацию зданий и сооружений. Совокупность всех этих технических, технологических решений и исследований, их сопровождающих, является актуальной работой и представляет несомненный как научный, так и практический интерес [15-17].

8. Объективное противоречие между желанием, а часто и необходимостью отобрать из недр побольше подземной воды и возможным негативным влиянием такого водоотбора на различные компоненты окружающей среды должно рассматриваться на основании данных наблюдений комплексного экологического мониторинга, включая анализ многолетнего опыта эксплуатации подземных вод крупными водозаборами. Такое рассмотрение позволит обосновать масштабы и режим рационального водоотбора с учетом требований по охране окружающей среды.

9. Для обеспечения надежного технического водоснабжения необходимо рассмотреть альтернативные схемы водоснабжения АЭС, как, например, использование сухих градиен.

10. Брызгальные бассейны АЭС являются источниками радиоактивных выбросов, которые подлежат государственному учету и нормированию как источники выбросов, в связи с этим для них необходимо установление нормативов ПДВ.

11. Объекты станции объединены во ФГУП «Запорожская АЭС» и находятся в собственности РФ. Оператором является АО «Эксплуатирующая организация Запорожской АЭС», учрежденное АО «Росэнергоатом» (входит в ГК «Росатом»). В настоящее время Запорожская АЭС переживает далеко не лучший период эксплуатации. Построенная в 80-90-х годах прошлого столетия, станция перешагнула проектный срок эксплуатации, составляющий по нормам 30 лет. Сокращение сроков проведения ремонтов на ЗАЭС, а в ряде случаев и полный отказ от их проведения из-за отсутствия финансирования и ЗИПа привели к необратимым последствиям для станции. На ЗАЭС, как, впрочем, и всех АЭС Украины, длительное время шла погоня за увеличением коэффициента использования установленной мощности (КИУМ), как следствие — увеличением выработки электро-

энергии. Еще в 2014 году правительством Украины было принято решение по дальнейшему увеличению выработки электроэнергии на АЭС до 65 %. За счет сокращения времени проведения ремонтной кампании ремонт производился только по факту различного рода дефектов на оборудовании, не велась профилактическая работа, как этого требуют технологические регламенты АЭС. Дальнейшая эксплуатация ЗАЭС и обеспечение ядерной, радиационной и экологической безопасности невозможны без сотрудничества по указанным направлениям с Российской Федерацией, т. к. основные научно-исследовательские и инженерные ресурсы сосредоточены именно здесь.

12. Продление дальнейшей эксплуатации АЭС — процесс дорогостоящий и небезопасный. Модернизировать старые энергоблоки до современных требований нормативной документации по безопасности в атомной энергетике не представляется возможным. Обстрелы территории станции, проблемы с безопасным хранением отработавшего ядерного топлива (в том числе американского) и радиоактивных отходов, непроведение работ, связанных с восстановлением ресурса корпусов ядерных реакторов (отжиг), проблемы с заменой оборудования, выработавшего ресурс (значительная часть оборудования не производится вообще), проблемы с негерметичными парогенераторами, крены и осадки реакторных отделений, проблемы с техническим водоснабжением — вот неполный перечень вопросов, который предстоит решить. На восстановление Каховской ГЭС и стока реки Днепр потребуются десятки лет. Необходимо провести работы по подтверждению квалификации персонала станции. [14].

Учитывая, что построенные по советским проектам энергоблоки Запорожской АЭС не готовы к дальнейшей эксплуатации, необходимо уже сейчас начать разработку проекта по выводу из эксплуатации АЭС энергоблоков № 1-4. ■

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Кузнецов, В.М. Российская и мировая атомная энергетика / В.М. Кузнецов. М.: МГУ. - 2008. - 764 с.
2. Коноплянец, А. А. Оседание поверхности земли в связи с понижением уровня подземных вод / А. А. Коноплянец, Е. Н. Ярцева-Попова. - М.: ВИЭМС, 1983. - 49 с.
3. Линд, Г. Вода и город: пер. с англ. / Г. Линд; пер. В.В. Голосов; ред. В.В. Куприянова. - Л.: Гидрометеиздат, 1984. - 68 с.
4. Седин, В.Л. Оценка технического состояния продление эксплуатации фундаментов защитной оболочки реакторного отделения ВВЭР-1000 / В.Л. Седин, Е.А. Бауск, С.И. Головкин // Вестник ПДАБА К 80-летию Приднепровской государственной академии строительства и архитектуры. - 2010. - № 9. - С. 40-45.
5. Методика разработки и установления нормативов предельно допустимых выбросов радиоактивных веществ в атмосферный воздух, утвержденная приказом Ростехнадзора от 7 ноября 2012 года № 639 (зарегистрирована в Минюсте России 18 января 2013 г. № 26595 [Электронный ресурс]. - URL: <https://meganorm.ru/Data2/1/4293785/4293785584.pdf> (режим доступа: 10.02.2024).
6. Брызгальные бассейны ответственных потребителей АЭС и их тепловой расчет / А.А. Ярхо [и др.] // Электрические станции. - 1995. - № 2. - С. 20-21.
7. На Запорожской АЭС обеспечены дополнительные меры для бесперебойной подачи воды [Электронный ресурс]. - URL: [https://znpp.ru/novosti/detail.php?ELEMENT\\_ID=9807](https://znpp.ru/novosti/detail.php?ELEMENT_ID=9807) (режим доступа: 07.07.2023).
8. Кузнецов, В.М. Сухие градири против парникового эффекта / В.М. Кузнецов. // Независимая газета. - 2008. - № 72 (4319). - С. 22.
9. РД 95.10531-96 Руководство по гидрологическому обоснованию ТЭО и проектов АЭС. Дата введения 1997-02-01 / Государственный научно-исследовательский, проектно-конструкторский и изыскательский институт «Атомэнергопроект», Институт водных проблем Российской академии наук [Электронный ресурс]. - URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200093032> (режим доступа: 10.02.2024).
10. Справочное руководство гидрогеолога: Т. 1 / В. М. Максимов, В. Д. Бабушкин, Н. Н. Веригин [и др.]; под ред. В. М. Максимова. - 3-е изд., перераб. и доп. - Л.: Недра, 1979. - 512 с.
11. Учет внешних воздействий природного и техногенного происхождения на объекты использования атомной энергии. НП-064-05. Введены в действие с 1 мая 2006 г. [Электронный ресурс]. - URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200043834> (режим доступа: 10.02.2024).

12. Мониторинг инженерно-геологических условий размещения объектов ядерного топливного цикла. РБ-036-06. Введены в действие с 1 марта 2007 г. [Электронный ресурс]. - URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200047089/titles> (режим доступа: 10.02.2024).
13. Бугаев, Е.Г. Требования и особенности проведения комплексного геолого-геофизического мониторинга в районе и на площадках размещения объектов использования атомной энергетики (ОИАЭ) / Е.Г. Бугаев, А.С. Гусельцев, Л.М. Фихиева // Труды Пятой научно-технической конференции: к 100-летию организации инструментальных сейсмологических наблюдений на Камчатке / Федеральный исследовательский центр «Единая геофизическая служба Российской академии наук». Обнинск, 2015. - С. 33-37.
14. Росгвардия за год предотвратила хищение имущества с ЗАЭС на сумму свыше 7 млн руб. [Электронный ресурс] // Интерфакс [Сайт]. - URL: <https://www.interfax.ru/russia/935979> (режим доступа: 13.12.2023).
15. Гудков, В.М. Критерии устойчивости горнопромышленных сооружений и зданий. / В.М. Гудков, В.П. Спиридонов // Маркшейдерский вестник. - 2004. - № 2. - С. 68-71.
16. Спиридонов, В.П. Мониторинг деформаций земной поверхности, зданий и сооружений спутниковыми системами / В.П. Спиридонов, Г.Н. Бирюков // Маркшейдерия и недропользование. - 2007. - № 1. - С. 46-52.
17. Спиридонов, В.П. Автоматизированная информационно управляющая система мониторинга, предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций на объектах повышенной опасности Российской Федерации / В.П. Спиридонов, Н.И. Черняк, В.В. Спиридонова // Энергосбережение и водоподготовка. - 2014. - № 3. - С. 60-65.
18. Спиридонов, В.П. Радиационная опасность и чрезвычайные ситуации на объектах атомной промышленности страны / В.П. Спиридонов, В.В. Спиридонова // Технический оппонент. - 2022. - № 1 (8). - С. 28-33.

## REFERENCES

1. Kuznetsov VM. Russia and the World in Nuclear Power Industry. Moscow;2008. (In Russ.).
2. Konoplyantsev AA, Yartseva-Popova EN. Subsidence of the earth's surface in connection with a decrease in the groundwater level. Moscow;1983 (In Russ.).
3. Lind G. Water and the city: translated from English. Leningrad;1984 (In Russ.).
4. Sedin VL, Bausk EA, Golovko SI. Assessment of the technical condition of the extended operation of the foundations of the protective shell of the VVER-1000 reactor compartment // *Bulletin of the PDABA On the 80th anniversary of the Pridneprovian State Academy of Construction and Architecture*. 2010;9:40-45 (In Russ.).
5. Methodology for the development and establishment of standards for maximum permissible emissions of radioactive substances into the atmospheric air, approved by Rostekhnadzor Order No. 639 dated November 07, 2012 (registered with the Ministry of Justice of the Russian Federation on January 18, 2013 No. 26595. Available from: <https://meganorm.ru/Data2/1/4293785/4293785584.pdf> (In Russ.).
6. Yarkho AA et al. Splash pools of responsible consumers of nuclear power plants and their thermal calculation. *Electric stations*. 1995; 2:20-21 (In Russ.).
7. Additional measures for uninterrupted water supply have been provided at the Zaporizhia NPP. Available from: [https://znpp.ru/novosti/detail.php?ELEMENT\\_ID=9807](https://znpp.ru/novosti/detail.php?ELEMENT_ID=9807). (In Russ.).
8. Kuznetsov VM. Dry cooling towers against the greenhouse effect. *Nezavisimaya Gazeta*. 2008;72(4319):22 (In Russ.).
9. RD 95.10531-96 Guidelines for the hydrological justification of feasibility studies and NPP projects Date of introduction 1997-02-01 State Research, Design and Survey Institute Atomenergoproekt, Institute of Water Problems of the Russian Academy of Sciences. Available from: <https://docs.cntd.ru/document/1200093032>. (In Russ.).
10. Maksimov VM, Babushkin VD, Verigin NN et al. Hydrogeologist's reference guide. Vol. 1. 13rd ed., reprint. and additional. Leningrad;1979. (In Russ.).
11. Consideration of external impacts of natural and man-made origin on nuclear energy facilities. NP-064-05. They were put into effect on May 1, 2006. Available from: <https://docs.cntd.ru/document/1200043834> (In Russ.).
12. Monitoring of engineering and geological conditions for the placement of nuclear fuel cycle facilities. RB-036-06. They were put into effect on March 1, 2007. Available from: <https://docs.cntd.ru/document/1200047089/titles> (In Russ.).
13. Bugaev EG, Guseltsev AS, Fihieva LM. Requirements and features of conducting integrated geological and geophysical monitoring in the area and at the sites of nuclear power facilities. *Proceedings of the Fifth Scientific and Technical Conference: to the 100th anniversary of the organization of instrumental seismological observations in Kamchatka*. 2015. Federal Research Center «Unified Geophysical Service of the Russian Academy of Sciences». Obninsk;2015 (In Russ.).
14. Rosgvardiya prevented the theft of property from the NPP in the amount of over 7 million rubles in a year. *Interfax* (dated 12/13/2023). Available from: <https://www.interfax.ru/russia/935979>. (In Russ.).
15. Gudkov VM, Spiridonov VP. Criteria for the sustainability of mining facilities and buildings. *The Surveyor's Bulletin*. 2004;2:68-71 (In Russ.).
16. Spiridonov VP, Biryukov GN. Monitoring of deformations of the Earth's surface, buildings and structures by satellite systems. *Surveying and subsoil use*. 2007;1:46-52 (In Russ.).
17. Spiridonov VP, Chernyak NI, Spiridonova VV. Automated information management system for monitoring, prevention and liquidation of emergency situations at high-risk facilities of the Russian Federation. *Energy Saving and water treatment*. 2014;3:60-65 (In Russ.).
18. Spiridonov VP, Spiridonova VV. Radiation hazard and emergencies at nuclear industry facilities of the country. *Technical opponent*. 2022;1(8):28-33 (In Russ.).

## ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ



**Кузнецов Владимир Михайлович:**  
доктор технических наук,  
профессор.  
ООО «Группа компаний ИнтеллектСервис»,  
г. Москва, Россия,  
e-mail: kuznetsov1956@mail.ru



**Спиридонов Валерий Петрович:**  
кандидат технических наук,  
профессор.  
Академия Государственной противопожарной  
службы Министерства РФ по делам гражданской  
обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации  
последствий стихийных бедствий,  
г. Москва, Россия,  
e-mail: svp-vak@mail.ru



**Спиридонова Валентина Валерьевна:**  
научный сотрудник,  
отдел ГИС и цифровой картографии отделения  
геоинформатики «ВНИИГеосистем» ФГБУ  
«ВНИГНИ»,  
г. Москва, Россия,  
e-mail: v.spiridonova@geosys.ru

## INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

**Kuznetsov Vladimir Mikhailovich:**  
Doctor of Technical Sciences,  
Professor.  
LLC «Group of companies Intellectualservice»,  
Moscow, Russia,  
e-mail: kuznetsov1956@mail.ru

**Spiridonov Valery Petrovich:**  
Candidate of Technical Sciences,  
Professor.  
Academy of the State Fire Service Ministry of the  
Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and  
Elimination of Consequences of Natural Disasters,  
Moscow, Russia,  
e-mail: svp-vak@mail.ru

**Spiridonova Valentina Valerevna:**  
researcher,  
the GIS and Digital Cartography Department of the  
Geoinformatics Department of VNIIGeosystem, VNIIGNI  
Federal State Budgetary Institution,  
Moscow, Russia,  
e-mail: v.spiridonova@geosys.r

## КРИТЕРИИ АВТОРСТВА / CONTRIBUTION:

Авторы заявляют о равном вкладе в работу над статьей. / The authors declare an equal contribution to the work on the article.

## КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ / CONFLICT OF INTEREST:

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов. / The authors declare no conflict of interest.



## ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ МГУ



Геологический факультет МГУ — всемирно известный учебно-научный центр России.  
Хотя датой основания факультета считается 1938 г.,  
минералогия в Московском Университете преподаётся уже более двух столетий.  
На кафедрах и в лабораториях факультета работают ученые с мировым  
именем, талантливая молодежь. Среди наших профессоров — 7 академиков  
и 6 членов-корреспондентов РАН, 18 членов Академии естественных наук РФ.  
Вся деятельность сотрудников факультета направлена на развитие  
геологической науки, образования и культуры — необходимых условий  
экономического и духовного возрождения России.

Контакты : Москва, Ленинские горы, д.1, МГУ имени М.В.Ломоносова,  
геологический факультет  
Телефон:  
+7 (495) 939-2970  
Email:  
dean@geol.msu.ru



# WWW.N-GN.RU

## К ВОПРОСУ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЗНАЧЕНИЙ СЦЕПЛЕНИЯ И УГЛА ВНУТРЕННЕГО ТРЕНИЯ ГОРНЫХ ПОРОД

С.Е. Чирков, А.В. Гришин, К.М. Мурин, П.В. Чирков,  
ООО «Научно-внедренческая компания «Горная геомеханика», Москва, Россия

**Аннотация:** В статье выполнен анализ прочностных показателей горных пород, испытанных при одноосном и объемном напряженных состояниях. По их результатам в поле касательных и нормальных напряжений строились предельные круги напряжений Мора и их огибающая линия. По ее наклону и пересечению с осью касательных напряжений определялись сцепление ( $C$ ) и угол внутреннего трения ( $\varphi$ ). Рассчитанная с использованием значений ( $C$  и  $\varphi$ ) прочность при одноосном сжатии оказалась выше фактической на 20 % и более. Предлагается изменить методику определения сцепления и угла внутреннего трения, определять их не по огибающей предельные круги напряжений Мора линии, а по изменению предельных значений тангенциальных напряжений кругов Мора от нормальных напряжений.

**Ключевые слова:** породы горные, сцепление, внутреннее трение, моделирование, прочность, круги Мора, сжатие, напряжение, эксперимент.

**Для цитирования:** Чирков С.Е., Гришин А.В., Мурин К.М., Чирков П.В. К вопросу определения значений сцепления и угла внутреннего трения горных пород // Маркшейдерия и недропользование. 2024. №1. С. 68-72. DOI: 10.56195/20793332\_2024\_1\_68\_72.

## TO THE QUESTION OF DETERMINING THE VALUES OF ADHESION AND ANGLE OF INTERNAL FRICTION OF ROCK FORMATIONS

S.E. Chirkov, A.V. Grishin, K.M. Murin, P.V. Chirkov,  
LLC Research and Development Company «Mining Geomechanics», Moscow, Russia

**Abstract:** The paper analyses the strength parameters of rocks tested under uniaxial and volumetric stress states. Based on their results, the Mohr stress limit circles and their envelope line were plotted in the field of tangential and normal stresses. According to its slope and intersection with the tangent stress axis, the cohesion ( $C$ ) and the angle of internal friction ( $\varphi$ ) were determined. Calculated, using the values ( $C$  and  $\varphi$ ), strength in uniaxial compression was higher than the actual strength by 20 and more per cent. It is suggested to change the methodology of determination of adhesion and angle of internal friction. It is proposed to determine them not by the envelope of the limiting circles of Mohr stresses line, but by the change of limiting values of tangential stresses of Mohr's circles from normal stresses.

**Keywords:** rock formations, adhesion, internal friction, simulation, strength, Mohr's circles, compression, stress, experiment.

**For citation:** Chirkov S.E., Grishin A.V., Murin K.M., Chirkov P.V. To the question of determining the values of adhesion and angle of internal friction of rock formations. Surveying and subsoil use. 2024;(1): 68-72.(In Russ.). DOI: 10.56195/20793332\_2024\_1\_68\_72.

Эффективное и безопасное освоение недр во многом зависит от качества реализуемого геомеханического сопровождения строительства и эксплуатации горных предприятий, которое в свою очередь предопределяет правильный выбор параметров систем разработки и способов вскрытия месторождений, их соответствия горно-геологическим условиям района проведения горных работ. В рамках цифровизации горнодобывающей отрасли за последние десятилетия на горных предприятиях активно внедряются современные цифровые технологии создания горно-геологических информационных систем, которые первоначально использовались для трехмерного геологического моделирования месторождений и подсчета запасов полезного ископаемого. В последнее время на многих горных предприятиях на основе горно-геологических информационных систем вне-

дряются системы создания геомеханических моделей горных предприятий [1], что, безусловно, повышает качество геомеханического сопровождения освоения недр.

Для правильного выбора параметров системы разработки месторождения проводится их геомеханическая оценка, составляется прогноз развития геомеханических процессов, оценивается степень их влияния на безопасность ведения горных работ и охрану недр. Для проведения таких исследований в практике горного дела все чаще используют численные методы моделирования. Применение численных методов расширяет возможности оценки развития геомеханических процессов за счет моделирования существенно большего количества вариантов решения задач по сравнению с аналитическими методами. В то же время соответствие результатов оценки геомеханических процессов, полу-

ченных численными методами, их фактическим значениям во многом зависит от значений исходных данных, принимаемых граничных условий, а также выбора модели и критерия разрушения моделируемых горных пород. Применение несоответствующих значений и неправильный выбор модели при проведении оценки геомеханических процессов приводит к искаженному результату прогноза их развития. Это в свою очередь может привести к неправильному выбору параметров системы разработки месторождения. Чтобы избежать расхождения между различными численными методами моделирования разрушения горных пород, комиссией по анализу разрушающих деформаций (DDA) Международного общества механики горных пород (ISRM) проводятся специальные исследования с привлечением большого круга специалистов из разных стран [2]. Одними из распространенных критериев, используемых в различных моделях при реализации численных методов наряду с пределом прочности пород на сжатие и растяжение, является сцепление и угол внутреннего трения.

**Целью представленной работы** является уточнение значений исходных данных, используемых для реализации прогноза развития геомеханических процессов за счет применения разработанной методики определения сцепления и угла внутреннего трения горных пород.

#### Методика и результаты исследования

При составлении прогноза развития геомеханических процессов с использованием численных методов применяются различные критерии разрушения горных пород (критерии отказа). Наиболее распространенными принято считать критерий Мора - Кулона (МК), Хука - Брауна (ХБ), Друкера - Прагера (ДП) и др. Справедливо отметить, что наибольшее распространение в практике горного дела получил критерий МК. В последнее время, с конца 1980-х годов, широкое распространение получил критерий отказа ХБ, который наилучшим образом характеризует трещиноватые массивы. Необходимо отметить, что зачастую в настоящее время критерии отказа вводятся с параметрами, которые эмпирически соответствуют данным испытаний, и физический и механический смысл этих параметров часто неизвестен. Например, Хук указывал, что безразмерные параметры критерия Хука - Брауна были определены исключительно экспериментальным путем и не имеют фундаментальной связи с физическими свойствами горных пород. Параметры ХБ примерно аналогичны углу внутреннего трения и сцепления традиционного критерия Мора - Кулона. Однако математически с точки зрения физических и механических свойств не могут быть получены для описания этих двух параметров. Данные параметры необходимо калибровать путем проведения большого числа экспериментальных испытаний, чтобы получить достаточно точную оценку прочности горных пород. Практика применения критериев разрушения в горном деле показывает, что прогнозируемая прочность по теоретическим критериям (например, критерию Гриффита) обычно не очень хорошо связывается с данными испытаний [3, 4].

Наиболее полной и достоверной прочностной характеристикой горной породы в горном деле принято считать паспорт прочности — огибающую линию предельных кругов напряжений Мора [5-7]. Но в то же время, как показывает практика, для повышения сходимости прочностных показате-

лей МК с фактическими значениями применяют эмпирические коэффициенты (коэффициент прочности) [3].

Паспорт прочности МК — огибающая линия предельных кругов напряжений Мора. В области сжимающих напряжений это прямая (1 на рисунке 1) или слабовыпуклая линия в координатах тангенциальных и сжимающих напряжений.

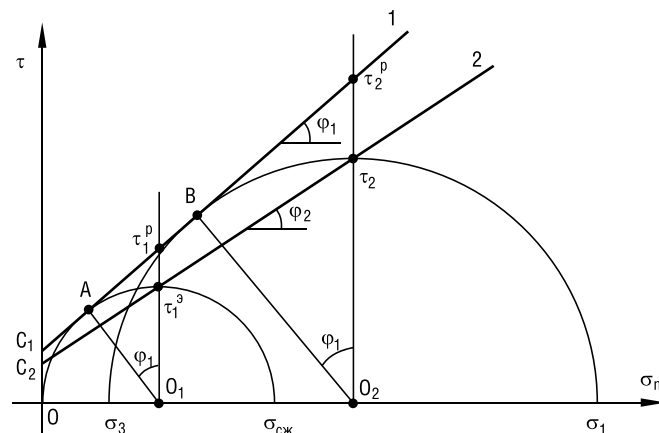


Рис. 1. Паспорт прочности горной породы, построенный по критерию Мора - Кулона

Fig. 1. The rock strength passport, built according to the Mohr - Coulomb criterion

Для получения такой зависимости образцы горных пород необходимо испытать при одноосном и объемном напряженном состоянии по ГОСТ 21153.8-88 [8] или в соответствии с похожими методиками, изложенными в «желтой книге» ISRM [9]. По точке пересечения прямолинейной огибающей кругов Мора с осью тангенциальных напряжений определяется сцепление  $C$ , а по углу ее наклона к оси нормальных сжимающих напряжений — угол внутреннего трения  $\varphi$ . По уравнению огибающей линии рекомендуется определять прочность при любых нормальных напряжениях.

$$\tau = C + \sigma_n \times \operatorname{tg} \varphi^0, \quad (1)$$

где  $\sigma_n = \sigma_{сж} / 2$  при одноосном сжатии и  $\sigma_n = (\sigma_1 + \sigma_2) / 2$  при объемном сжатии.

По физическому смыслу огибающая предельные круги напряжений Мора линия, делит пространство  $(\tau - \sigma_n)$  на две части: допредельное и запредельное состояние, а предельные значения  $\tau_1^p$  и  $\tau_2^p$  должны быть на линии предельного состояния. Это возможно, если прямолинейная огибающая кругов Мора в точке касания с предельным кругом Мора  $A$  и  $B$  отклонится от прямой и пойдет по этому кругу до предельного значения  $\tau_1^p$  и  $\tau_2^p$ , а рассчитываемые по уравнению прямой (1) значения  $\tau_1^p$  и  $\tau_2^p$  будут больше фактических на величину  $(\tau_1^p - \tau_1^p)$  при одноосном сжатии и на величину  $(\tau_2^p - \tau_2^p)$  при объемном сжатии.

Результаты части выполненных расчетов приведены в таблице 1 (параметр с индексом «1» — рассчитаны авторами статьи, параметры с индексом «2» взяты из справочника [10]). Такие расчеты можно назвать проверкой на достоверность определения сцепления и угла внутреннего трения. Экспериментальные данные были получены при проведении соответствующих испытаний горных пород

в лаборатории НВК «Горгеомех», а для более широкого анализа взяты из справочника [10], в котором собран большой объем экспериментальных данных о физических свойствах горных пород. При этом мы не изменяли единиц измерения прочности, так как отклонения ее расчетных значений от экспериментальных оценивали не только в  $\text{кг/см}^2$ , но и в процентах.

Следует заметить, что в справочнике [10] указано, что сцепление и угол внутреннего трения определялись тремя методами: по паспорту прочности, на специальном приборе в стабилometре и в наклонных матрицах. Более достоверным считается метод определения  $C$  и  $\varphi$  по испытаниям образцов горных пород в стабилometре. Аналогичным методом определялись искомые значения и в лаборатории НВК «Горгео-

Таблица 1 / Table 1

**Физические свойства горных пород месторождений горно-химического сырья /**  
**Physical properties of rocks of deposits of mining and chemical raw materials**

| Порода                                                                  | C <sub>1</sub> | C <sub>2</sub> | φ <sup>0</sup> <sub>1</sub> | φ <sup>0</sup> <sub>2</sub> | σ <sub>сж</sub> <sup>3</sup> (C <sub>1</sub> ; φ <sup>0</sup> <sub>1</sub> ) | σ <sub>сж</sub> <sup>3</sup> (C <sub>2</sub> ; φ <sup>0</sup> <sub>2</sub> ) | σ <sub>сж</sub> <sup>p</sup> (C <sub>1</sub> ; φ <sup>0</sup> <sub>1</sub> ) | σ <sub>сж</sub> <sup>p</sup> (C <sub>2</sub> ; φ <sup>0</sup> <sub>2</sub> ) | Отклонение         |       |
|-------------------------------------------------------------------------|----------------|----------------|-----------------------------|-----------------------------|------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------|--------------------|-------|
|                                                                         |                |                |                             |                             |                                                                              |                                                                              |                                                                              |                                                                              | кг/см <sup>2</sup> | %     |
| Месторождение руд черных металлов<br>Михайловское месторождение КМА     |                |                |                             |                             |                                                                              |                                                                              |                                                                              |                                                                              |                    |       |
| Кварциты выщелоченные                                                   | 200            | 186            | 29                          | 26                          | 720                                                                          | 720                                                                          | 788                                                                          | 720                                                                          | +68                | +10,8 |
| Руда карбонатная                                                        | 450            | 420            | 28                          | 26                          | 1 620                                                                        | 1620                                                                         | 1 774                                                                        | 1620                                                                         | +154               | +9,5  |
| Соколовско-Сарбайское месторождение                                     |                |                |                             |                             |                                                                              |                                                                              |                                                                              |                                                                              |                    |       |
| Альбитофир                                                              | 285            | 233            | 29                          | 26                          | 900                                                                          | 900                                                                          | 1 088                                                                        | 900                                                                          | +488               | +21   |
| Туф альбитофировый                                                      | 500            | 395            | 31                          | 27                          | 1 610                                                                        | 1610                                                                         | 1 966                                                                        | 1619                                                                         | +356               | +22   |
| Месторождения руд цветных и редких металлов<br>Галнахское месторождение |                |                |                             |                             |                                                                              |                                                                              |                                                                              |                                                                              |                    |       |
| Ангидрит                                                                | 400            | 275            | 35                          | 30                          | 1 300                                                                        | 1300                                                                         | 1 710                                                                        | 1300                                                                         | +410               | +31   |
| Габбро-диорит                                                           | 720            | 551            | 32                          | 28                          | 2 270                                                                        | 2270                                                                         | 2 984                                                                        | 2270                                                                         | +714               | +31   |
| Цителъсопельское месторождение                                          |                |                |                             |                             |                                                                              |                                                                              |                                                                              |                                                                              |                    |       |
| Альбитофиры кварцевые                                                   | 390            | 354            | 25                          | 23                          | 1 230                                                                        | 1230                                                                         | 1 354                                                                        | 1230                                                                         | +124               | +10   |
| Кварциты вторичные                                                      | 180            | 169            | 28                          | 26                          | 660                                                                          | 660                                                                          | 710                                                                          | 660                                                                          | +50                | +8    |
| Туфы крупнообломочные                                                   | 120            | 107            | 23                          | 22                          | 360                                                                          | 360                                                                          | 391                                                                          | 360                                                                          | +31                | +11   |
| Коашвинское месторождение (Кольский полуостров)                         |                |                |                             |                             |                                                                              |                                                                              |                                                                              |                                                                              |                    |       |
| Ийолит                                                                  | 690            | 666            | 29                          | 26                          | 2 600                                                                        | 2600                                                                         | 2 820                                                                        | 2600                                                                         | +220               | +8.5  |
| Апатито-нефелиновая руда                                                | 420            | 408            | 31                          | 27                          | 1 650                                                                        | 1650                                                                         | 1 832                                                                        | 1650                                                                         | +162               | +11   |
| Мельтейгит                                                              | 720            | 643            | 32                          | 28                          | 2 750                                                                        | 2750                                                                         | 3 160                                                                        | 2750                                                                         | +410               | +15   |
| Уртит                                                                   | 550            | 500            | 29                          | 26                          | 1 950                                                                        | 1950                                                                         | 2 180                                                                        | 1950                                                                         | +230               | +12   |
| Ювиты                                                                   | 580            | 528            | 31                          | 27                          | 2 150                                                                        | 2150                                                                         | 2 452                                                                        | 2150                                                                         | +302               | +14   |
| Кукисвумчоррское месторождение                                          |                |                |                             |                             |                                                                              |                                                                              |                                                                              |                                                                              |                    |       |
| Ийолит-уртиты                                                           | 520            | 491            | 30                          | 27                          | 2 000                                                                        | 2000                                                                         | 2 194                                                                        | 2000                                                                         | +194               | +9,7  |
| Мелиньиты                                                               | 630            | 565            | 30                          | 27                          | 2 300                                                                        | 2300                                                                         | 2 588                                                                        | 2300                                                                         | +288               | +12   |
| Месторождения угля и сланца<br>Донбасс. Луганская область               |                |                |                             |                             |                                                                              |                                                                              |                                                                              |                                                                              |                    |       |
| № 4-2 бис. Песчаник<br>среднезернистый                                  | 245            | 209            | 42                          | 34                          | 1 285                                                                        | 1285                                                                         | 1 588                                                                        | 1285                                                                         | +303               | +24   |
| Им. Ильича. Сланец глинистый                                            | 217            | 117            | 32                          | 28                          | 500                                                                          | 500                                                                          | 734                                                                          | 500                                                                          | +234               | +47   |
| 10 = 10 бис, Н = 163 м Алевролит                                        | 334            | 289            | 39                          | 32                          | 1 545                                                                        | 1545                                                                         | 1 934                                                                        | 1545                                                                         | +373               | +24   |
| «Красная Звезда». Алевролит                                             | 56             | 65             | 42                          | 34                          | 400                                                                          | 400                                                                          | 472                                                                          | 400                                                                          | +72                | +18   |
| Песчаник, Н = 215 м                                                     | 118            | 98             | 35                          | 30                          | 465                                                                          | 465                                                                          | 561                                                                          | 465                                                                          | +96                | +21   |
| Шахты Кузбасса                                                          |                |                |                             |                             |                                                                              |                                                                              |                                                                              |                                                                              |                    |       |
| «Березовская». Песчаник, Н = 200 м                                      | 265            | 253            | 43                          | 34                          | 1 550                                                                        | 1550                                                                         | 1 918                                                                        | 1550                                                                         | +424               | +27   |
| «Шушталепская». Алевролит                                               | 180            | 99             | 42                          | 34                          | 605                                                                          | 605                                                                          | 864                                                                          | 605                                                                          | +259               | +43   |
| Им. Ворошилова. Алевролит, Н = 170 м                                    | 82             | 56             | 45                          | 35                          | 375                                                                          | 375                                                                          | 528                                                                          | 375                                                                          | +153               | +41   |
| «Пионерская». Аргиллит, Н = 203 м                                       | 140            | 69             | 45                          | 35                          | 460                                                                          | 460                                                                          | 740                                                                          | 460                                                                          | +280               | +61   |
| «Западная». Песчаник, Н = 203 м                                         | 150            | 95             | 41                          | 34                          | 580                                                                          | 580                                                                          | 804                                                                          | 580                                                                          | +224               | +39   |

мех». В таблице использованы только экспериментальные результаты по определению  $C$  и  $\varphi_2$ , полученные при испытаниях в стабилометре.

Обычно считается, что основой определения прочностных свойств горных пород, да и других материалов, в условиях различных напряженных состояний является теория прочности Мора. Более правильно называть ее теорией Кулона - Мора или Мора - Кулона. Кулон объяснял увеличение прочности с увеличением объемного сжатия «внутренним трением». Поэтому угол внутреннего трения — это показатель Кулона, и определять его следует по зависимости изменения прочности от нормальных напряжений (2 на рисунке 1), а не по наклону огибающей предельные круги напряжений Мора. С этой целью по параметрам ( $C_1$ ) и ( $\varphi_1$ ) огибающих предельные круги напряжений, показанных в верхней строчке таблицы, строились круги напряжений для условий объемного сжатия, которые касались огибающей. По этим предельным кругам напряжений Мора определялись значения максимальных касательных напряжений  $\tau_2$ , и по формуле (2) определялись значения угла внутреннего трения  $\varphi_2^0$ . По формуле (1) с углом ( $\varphi_2^0$ ) определялось сцепление ( $C$ ).

$$\varphi_2^0 = \arctg(\tau_2 - \tau_1) / (O_2 - O_1), \quad (2)$$

где  $\tau_2 = (\sigma_1 - \sigma_3) / 2$ ;  $\tau_1 = \sigma_{сж} / 2$ ;  $O_2 = (\sigma_1 + \sigma_3) / 2$ ;  $O_1 = \sigma_{сж} / 2$ .

Новые достоверные значения сцепления и угла внутреннего трения показаны в таблице 1 во второй строчке цифр. В этом случае расчетные значения прочности совпадали с фактической прочностью, что свидетельствует о правильности выдвигаемого предположения.

### Заключение

В рамках проведенных исследований были выполнены лабораторные эксперименты по изучению физико-механических свойств и проанализированы прочностные показатели горных пород, полученные при одноосном и объемном напряженных состояниях.

В соответствии с принятыми подходами были определены значения сцепления ( $C$ ) и угла внутреннего трения ( $\varphi$ ). Рассчитанная с использованием полученных значений ( $C$  и  $\varphi$ ) прочность при одноосном сжатии оказалась выше фактической на 20 % и более.

Показано, что если изменить методику определения сцепления и угла внутреннего трения, то расхождения расчетных и фактических величин прочности горных пород можно избежать. Для этого искомые значения необходимо определять не по огибающей предельные круги напряжений Мора линии, а по изменению предельных значений тангенциальных напряжений кругов Мора от нормальных напряжений. В этом случае расчетная прочность горных пород совпадает с ее фактическими значениями.

Полученные результаты должны положительным образом сказаться на повышении точности прогнозных значений развития геомеханических процессов, поскольку сцепление и угол внутреннего трения являются одними из основных исходных данных при численных методах моделирования.

Авторы статьи просят специалистов в области механики горных пород мнение по изложенному вопросу, а также замечания и предложения направлять в НВК «Горгеомех», по адресу e-mail: info@gorgeomex.ru. ■

### ЛИТЕРАТУРА

1. Бирючев, И.В. Геомеханическая модель рудника: Часть 1: Создание / И.В. Бирючев, А.Б. Макаров, А.А. Усов // Горный журнал. - 2020. - № 1. - С. 42-48.
2. A benchmark study of different numerical methods for pre-dicting rock failure / Yi-Ming Li, Gao-Feng Zhao, Yuyong Jiao [et al.] // International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences. - 2023. - Vol. 166. - P. 1365-1609.
3. van den Bogert, P. Why Mohr-circle analyses may underestimate the risk of fault reactivation in depleting reservoirs / P. van den Bogert, R. van Eijs // International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences. - 2020. - Vol. 136, № 6. - P. 104502.
4. Yu, H. A generalized power-law criterion for rocks based on Mohr failure theory. / H. Yu, K. Ng, E. Campbell // International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences. - 2020. Vol. 128. - article ID 104274.
5. Борщ-Компониец, В.И. Практическая механика горных пород / В.И. Борщ-Компониец. - М.: Горная книга, 2013. - 322 с.
6. Баклашов, И.В. Геомеханика: Учебник для вузов: В 2 т. / И.В. Баклашов. - М.: Издательство Московского государственного горного университета, 2004. - Т. 1: Основы геомеханики. - 208 с.
7. Виттке, В. Механика скальных пород / В. Виттке. - М.: Недра, 1990. - 439 с.
8. ГОСТ 21153.8-88 Породы горные. Метод определения предела прочности при объемном сжатии [Электронный ресурс]. - URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200023978> (режим доступа: 12.02.2024).
9. The ISRM Suggested Methods for Rock Characterization, Testing and Monitoring: 2007-2014 [Electronic resource]. - URL: [https://www.researchgate.net/publication/321615383\\_The\\_ISRM\\_Suggested\\_Methods\\_for\\_Rock\\_Characterization\\_Testing\\_and\\_Monitoring\\_2007-2014](https://www.researchgate.net/publication/321615383_The_ISRM_Suggested_Methods_for_Rock_Characterization_Testing_and_Monitoring_2007-2014) (access mode: 12.02.2024).
10. Ржевский, В.В. Справочник (кадастр) физических свойств горных пород / В.В. Ржевский, М. М. Протодяконов; под ред. Н. В. Мельникова. - М., Недра, 1975. - 279 с.
11. Dynamic Mohr - Coulomb and Hoek - Brown strength criteria of sandstone at high strain rates / Xuefeng Si, Fengqiang Gong, Song Luo [et al.] // International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences. - 2019. - Vol. 115. - P. 48-59.
12. Турчанинов, И.А. Основы механики горных пород / И.А. Турчанинов, М.А. Иофис, Э.В. Каспарьян. - Л.: Недра, 1977. 503 с.

## REFERENCES

1. Biryuchev IV, Makarov AB, Usov AA. Geomechanical model of a mine. Part 1. Creation. *Gornyy zhurnal*. 2020;1:42-48 (In Russ.).
2. Yi-Ming Li, Gao-Feng Zhao, Yuyong Jiao et al. A benchmark study of different numerical methods for pre-dicting rock failure. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*. 2023;166:1365-1609.
3. van den Bogert P, van Eijs R. Why Mohr-circle analyses may underestimate the risk of fault reactivation in depleting reservoirs. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*. 2020;136(6):104502.
4. Hua Yu, Kam Ng, Erin Campbell A generalised power-law criterion for rocks based on Mohr failure theory. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*. 2020;128:104274.
5. Borshch-Komponyets V.I. Practical mechanics of rocks. Moscow; 2013 (In Russ.).
6. Baklashov I.V. Geomechanics: Textbook for universities. In 2t. Moscow; 2004 (In Russ.).
7. Wittke W. Rock Mechanics: Per. with German. M.; 1990. (In Russ.).
8. Government standard 21153.8-88 Rocks. Method for determination of triaxial compressive strength. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200023978> (In Russ.).
9. The ISRM Suggested Methods for Rock Characterisation, Testing and Monitoring: 2007-2014. URL: <https://www.researchgate.net/publication/321615383> The ISRM Suggested Methods for Rock Characterization Testing and Monitoring 2007-2014.
10. Rzhetskii VV, Protodyakonov MM. Reference book (cadastre) of physical properties of rocks. Edited by Melnikov N.V. Moscow; 1975 (In Russ.).
11. Xuefeng Si, Fengqiang Gong, Song Luo Dynamic Mohr - Coulomb and Hoek - Brown strength criteria of sandstone at high strain rates. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*. 2019;115:48-59.
12. Turchaninov IA, Iofis MA, Kasparian EV. Fundamentals of rock mechanics. Leningrad; 1977 (In Russ.).

## ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

**Чирков Сергей Ефимович:**

профессор,  
доктор технических наук,  
главный научный сотрудник,  
действительный член Академии горных наук,  
ООО НВК «Горгеомех».  
Москва, Россия

**Гришин Александр Викторович:**

доцент,  
кандидат технических наук,  
генеральный директор,  
консультант по геомеханике,  
ООО НВК «Горгеомех».  
Москва, Россия,  
e-mail: [info@gorgeomeh.ru](mailto:info@gorgeomeh.ru)

**Мурин Кирилл Михайлович:**

технический директор,  
ООО НВК «Горгеомех»,  
Москва, Россия

**Чирков Павел Владимирович:**

научный сотрудник,  
Лаборатория ФМС ГПИМ,  
ООО НВК «Горгеомех».  
Москва, Россия

## INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

**Chirkov Sergey Efimovich:**

Professor,  
Doctor of Technical Sciences,  
Chief Researcher,  
Full member of the Academy of Mining Sciences,  
LLC R&D company «Gorgeomeh»,  
Moscow, Russia

**Grishin Alexander Viktorovich:**

Associate Professor,  
Candidate of Technical Sciences,  
General Director,  
Consultant in geomechanics,  
LLC R&D company «Gorgeomeh»,  
Moscow, Russia,  
e-mail: [info@gorgeomeh.ru](mailto:info@gorgeomeh.ru)

**Murin Kirill Mikhailovich:**

Technical Director,  
LLC R&D company «Gorgeomeh»,  
Moscow, Russia

**Chirkov Pavel Vladimirovich:**

research associate,  
FMS GP&M Laboratory,  
LLC R&D company «Gorgeomeh»,  
Moscow, Russia

**КРИТЕРИИ АВТОРСТВА / CONTRIBUTION:**

Авторы заявляют о равном вкладе в работу над статьей. / The authors declare an equal contribution to the work on the article.

**КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ / CONFLICT OF INTEREST:**

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов. / The authors declare no conflict of interest.

## ОБОСНОВАНИЕ МОДЕЛИ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ МАССИВА МЕРЗЛЫХ ГОРНЫХ ПОРОД

В.Л. Трушко, Е.К. Баева,

Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II, г. Санкт-Петербург, Россия

**Аннотация:** В статье приведены результаты исследований изменения физико-механических свойств мерзлых горных пород от внешних факторов и параметров нагружения. Определены природные факторы, оказывающие наибольшее влияние на механическое поведение мерзлых горных пород. Представлены зависимости прочностных и деформационных свойств мерзлых горных пород от температуры, скорости приложения нагрузки, влажности и льдистости. Выполнен анализ применяемых геомеханических моделей для описания процесса деформирования мерзлых горных пород с учетом воздействия природной среды. Обобщены зависимости между напряжением и деформацией, особенности и ограничения рассмотренных геомеханических моделей мерзлых горных пород. Дана оценка перспективности использования разработанных геомеханических моделей и предложены направления их развития для расчета и проектирования инженерных сооружений в Арктической зоне.

**Ключевые слова:** мерзлые породы, геомеханические модели, напряженно-деформированное состояние, физико-механические свойства, параметры.

**Для цитирования:** Трушко В.Л., Баева Е.К. Обоснование модели напряженно-деформированного состояния массива мерзлых горных пород // Маркшейдерия и недропользование. 2024. №1. С. 73-79. DOI: 10.56195/20793332\_2024\_1\_73\_79.

## SUBSTANTIATION OF THE CONSTITUTIVE MODEL OF FROZEN GROUND

V.L. Trushko, E.K. Baeva,

Empress Catherine II St. Petersburg Mining University, St. Petersburg, Russia

**Abstract:** The article examines the results of research into changes in physical and mechanical properties of frozen rocks from external factors and loading parameters. The environmental parameters that have the greatest influence on the mechanical behaviour of frozen rocks have been determined. The strength and deformation properties of frozen rocks at different temperature, loading conditions, moisture and ice content are presented. The constitutive models used to describe the deformation process of frozen rocks taking into account the impact of the natural environment are analysed. Dependences between stress and deformation, features and limitations of the considered constitutive models of frozen rocks are described. The prospective use of the developed constitutive models is assessed and the directions of their development for calculation and design of engineering structures in the Arctic zone are proposed.

**Keywords:** Frozen ground, constitutive models, stress-strain state, physical-mechanical properties, parameters.

**For citation:** Trushko V.L., Baeva E.K. Substantiation of the constitutive model of frozen ground. Surveying and subsoil use. 2024; (1): 73-79. (In Russ.). DOI: 10.56195/20793332\_2024\_1\_73\_79.

Мерзлые породы занимают значительную часть территории Российской Федерации. Площадь их распространения около 11 млн. кв. км [1], что составляет примерно 65 % территории страны (рис. 1). Строительство инженерных сооружений в регионах распространения мерзлых пород обладает рядом особенностей, связанных с механическим поведением мерзлых пород. Примерами негативного влияния мерзлых пород являются разрушение склонов [2, 3], деформации зданий и строительных конструкций [4], просадки оснований [5, 6], деформации нефтегазопроводов [7, 8] и другие виды разрушений инженерных сооружений. Рассмотренные примеры иллюстрируют влияние процессов заморзания и оттаивания пучинистых горных пород на здания и сооружения в зоне многолетней мерзлоты и подтверждают актуальность проводимых исследований с условиями изменения климата.

Целью исследования является анализ существующих геомеханических моделей мерзлых горных пород и обоснование перспективных направлений их развития для повышения точности расчетов инженерных сооружений в Арктической зоне. Для этого обобщены знания о физико-механических свойствах мерзлых пород, рассмотрены и проанализированы параметры геомеханических моделей.

### Методы и материалы исследований

Выполнено научное обобщение опубликованных результатов исследований физико-механических свойств мерзлых горных пород и разработанных геомеханических моделей, описывающих напряженно-деформированное состояние (НДС) массива в зоне многолетней мерзлоты. Проведен анализ подходов к построению геомеханических моделей с учетом влияния внешней среды и изменения физико-механических свойств горных пород в криолитозоне. Выявлены

факторы, наиболее сильно влияющие на изменение НДС породного массива в зоне многолетней мерзлоты при строительстве инженерных сооружений, и определены их параметры.



Рис. 1. Карта распространения криолитозоны РФ [9] /  
Fig. 1. Map of cryolithozone distribution in the Russian Federation [9]

#### Результаты исследований и их обсуждение

Мерзлые горные породы являются сложной многокомпонентной системой, в состав которой входят твердые частицы, лед, незамерзшая вода и воздух. Механическое поведение мерзлых горных пород имеет особенности из-за наличия льда и пленок незамерзшей воды [10]. Влажность, температура, напряженное состояние и засоленность мерзлых пород взаимно влияют на изменение их механического поведения [11], причем эти факторы взаимосвязаны и сочетаются.

Особое влияние на свойства мерзлых горных пород оказывают температура, цементирующее действие льда и скорость деформации [12, 13]. Отмечаются трудности при опи-

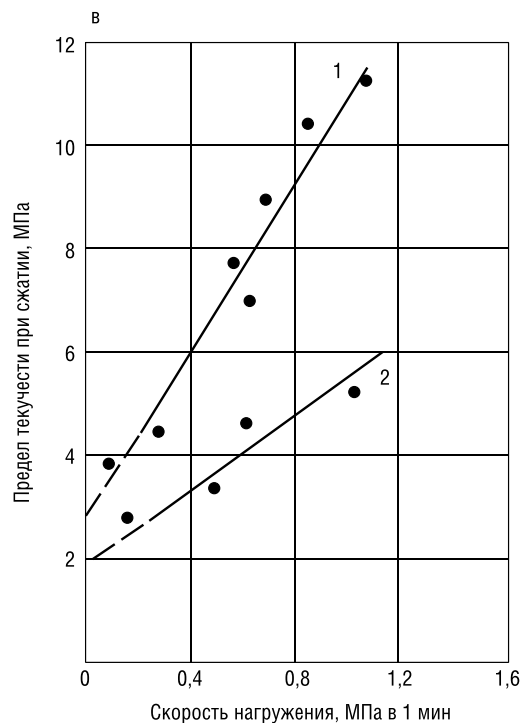
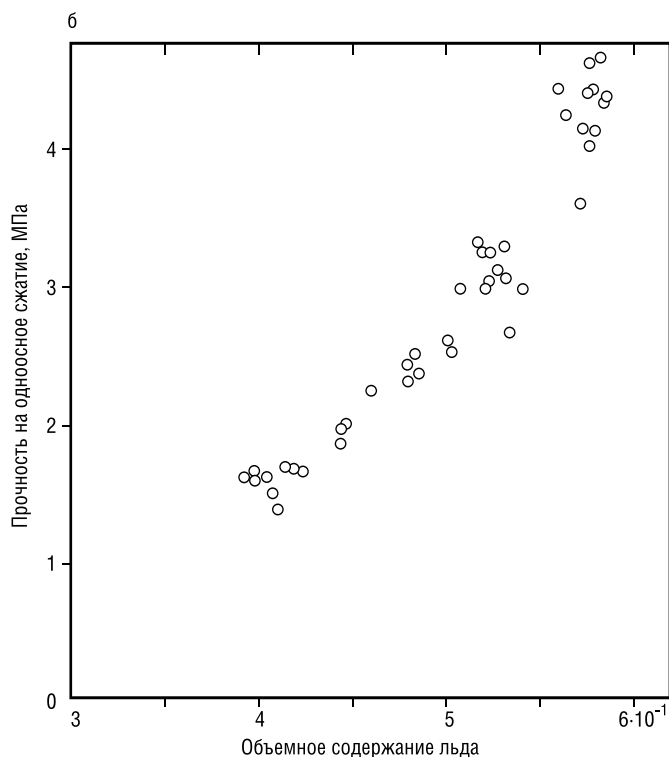
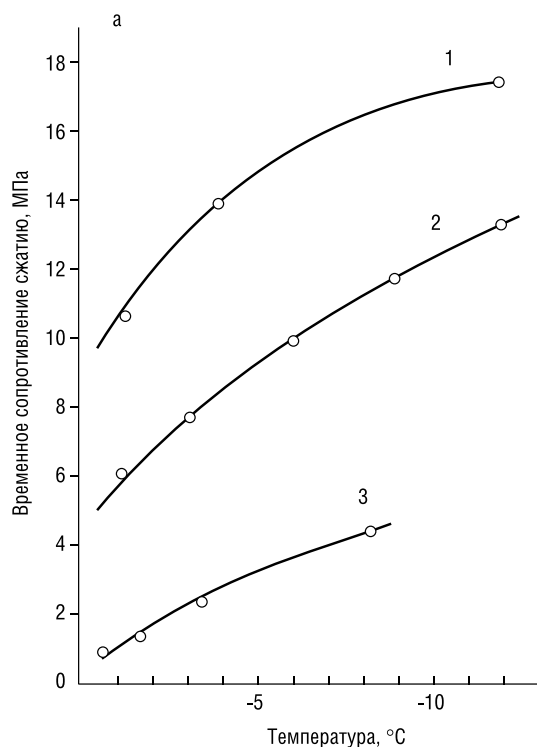


Рис. 2. Характерное влияние на свойства мерзлых горных пород: а - зависимость временного сопротивления сжатию мерзлых горных пород от температуры: 1 - песок; 2 - суглинок; 3 - глина [15]; б - зависимость между сжимающим напряжением и объемом льда на единицу объема породы [17]; в - зависимость предела текучести мерзлых горных пород при сжатии от скорости приложения нагрузки: 1 - песок при  $T = -20^\circ\text{C}$ ,  $W_c = 17\%$ ; 2 - глина при  $T = -20^\circ\text{C}$ ,  $W_c = 32\%$  [15] /

Fig. 2. a - Strength parameters of frozen rocks at different temperature: 1 - sand; 2 - loam; 3 - clay [15]; б - Compressive strength for frozen rock at different ice content [17]; в - Yield strength of frozen rocks at different loading conditions: 1 - sand at  $T = -20^\circ\text{C}$ ,  $W_c = 17\%$ ; 2 - clay at  $T = -20^\circ\text{C}$ ,  $W_c = 32\%$  [15]

Таблица 1 / Table 1

## Сравнение параметров геомеханических моделей / The comparison of constitutive models parameters

| Модель / Model              | Зависимость между напряжением и деформацией / Relationship between stress and strain                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | Параметры / Parameters                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | Учет изменения температуры / Consideration of temperature changes | Учет изменения свойств горных пород / Consideration of changes in rock properties |
|-----------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|
| Вялова С.С. [22]            | $\sigma = A\varepsilon^m$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | $\sigma$ - напряжение;<br>$\varepsilon$ - деформация;<br>$A$ и $m$ - параметры материала                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Нет                                                               | Нет                                                                               |
| Li S. [24]                  | $\sigma_1 = E\varepsilon_1 e^{-\left(\frac{F}{F_0}\right)^\beta}$ $F = E\varepsilon_1(1 + \sin\varphi)$ $F_0 = (\beta F_p)^\beta$ $\beta = -\frac{1}{\ln \frac{\sigma_p}{E\varepsilon_p}}$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | $\sigma_1$ - напряжение;<br>$\varepsilon_1$ - деформация;<br>$E$ - модуль упругости;<br>$\varphi$ - угол внутреннего трения;<br>$\varepsilon_p$ - деформация, при которой напряжение равно пиковому напряжению $\varepsilon_p$ ;<br>$\beta$ - параметр Вейбулла                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | Да                                                                | Нет                                                                               |
| Cai C. [23]                 | $\sigma_1 = E(T)\varepsilon_1 + f(\varepsilon_1, \dot{\varepsilon}_1)g(\dot{\varepsilon}_1)h(T),$ $E(T) = E_1 + E_2T,$ $f(\varepsilon_1, \dot{\varepsilon}_1)g(\dot{\varepsilon}_1)h(T) = \left[ \alpha_1 \left( \frac{\dot{\varepsilon}_1}{\dot{\varepsilon}_1^0} \right)^{\alpha_2} \frac{\varepsilon_1}{a + b\varepsilon_1} + \left( 1 - \alpha_1 \left( \frac{\dot{\varepsilon}_1}{\dot{\varepsilon}_1^0} \right)^{\alpha_2} \right) \frac{(a + d_1\varepsilon_1)}{(a + d_2\varepsilon_1)^2} \varepsilon_1 \right]$ $\cdot \left( \frac{\dot{\varepsilon}_1}{\dot{\varepsilon}_1^0} \right)^{m_1 - m_2} \left( \frac{\dot{\varepsilon}_1}{\dot{\varepsilon}_1^0} \right)^{m_3} (h_1 + h_2 T )$ | $\sigma_1$ - напряжение;<br>$E$ - модуль упругости;<br>$T$ - температура;<br>$\varepsilon_1$ - деформация;<br>$f, g, h$ - коэффициенты, учитывающие влияние деформации, скорости нагружения и температуры на поведение деформации;<br>$\dot{\varepsilon}_1$ - скорость деформации;<br>$a, b, \alpha_1, \alpha_2, d_1, d_2, m_1, m_2, m_3, h_1, h_2$ - параметры материала;<br>$\dot{\varepsilon}_1^0$ - начальная скорость деформации                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | Да                                                                | Нет данных                                                                        |
| Sun K. [25]                 | $\left\{ \frac{d\varepsilon_v}{d\varepsilon_s} \right\} = [D^{ep}] \left\{ \frac{dp}{dq} \right\}$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | $d\varepsilon_v$ - приращение полной объемной деформации;<br>$d\varepsilon_s$ - приращение полной сдвиговой деформации;<br>$D^{ep}$ - упругопластическая матрица;<br>$dp$ - приращение среднего напряжений;<br>$dq$ - приращение напряжения сдвига                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | Нет                                                               | Да                                                                                |
| Lai Y. [26]                 | $\sigma = E\varepsilon \exp \left[ -\frac{1}{\beta} \left( \frac{\varepsilon}{\varepsilon_{\max}} \right)^\beta \right]$ $\beta = \frac{1}{\ln \frac{E\varepsilon_{\max}}{\sigma_{\max}}}$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | $\sigma$ - напряжение;<br>$E$ - модуль упругости;<br>$\varepsilon$ - деформация;<br>$\sigma_{\max}$ - максимальные напряжения, $\varepsilon_{\max}$ - соответствующая им деформация                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | Да                                                                | Да                                                                                |
| Ghoreishian Amiri S.A. [27] | $d\varepsilon = d\varepsilon^{me} + d\varepsilon^{se} + d\varepsilon^{mp} + d\varepsilon^{sp}$ $d\varepsilon^{se} = \frac{\kappa_s}{3(1+e)(S+p_{at})} I$ $d\varepsilon^{mp} = d\lambda_1 \frac{\partial Q_1}{\partial \lambda^*}$ $d\varepsilon^{sp} = -d\lambda_2 \frac{\partial F_2}{\partial S} I$ $Q_1 = \left[ p^* - \frac{(1+\gamma s_i)p_y^* - (1-\gamma s_i)k_t S}{2} \right]^2 + \left( \frac{q}{M} \right)^2$                                                                                                                                                                                                                                                                            | $d\varepsilon$ - приращение деформаций; $d\varepsilon^{me}$ , $d\varepsilon^{mp}$ - упругая и пластическая части деформации, обусловленные изменением напряжений в твердой фазе, соответственно; $d\varepsilon^{se}$ , $d\varepsilon^{sp}$ - упругая и пластическая части деформации, обусловленные влагопереносом, соответственно; $\kappa_s$ - коэффициент сжимаемости; $e$ - коэффициент пустотности; $S$ - функция влагопереноса; $p_{at}$ - атмосферное давление; $I$ - единичный тензор; $\lambda_1, \lambda_2$ - пластические множители; $Q_1$ - функция пластического потенциала; $\sigma^*$ - тензор напряжений твердой фазы; $F_2$ - поверхность текучести; $p^*$ - среднее напряжение твердой фазы; $\gamma$ - параметр материала; $s_i$ - льдистость; $k_t$ - параметр, описывающий увеличение сцепления | Нет                                                               | Да                                                                                |

сании зависимости прочности от температуры, связанные с непрерывным изменением фазового состава мерзлых горных пород [14]. Обычно прочность мерзлых пород возрастает с понижением температуры [15, 16]. Главным образом это происходит за счет уменьшения содержания незамерзшей воды, увеличения льдоцементационного сцепления и упрочнения льда.

Характерное влияние на свойства мерзлых горных пород представлено на рис. 2.

Прочность мерзлых горных пород увеличивается нелинейно с возрастанием содержания льда на единицу объема горной породы (рис. 2б). Рост прочности наблюдается до достижения оптимального значения полной влажности, после достижения пика прочность уменьшается с ростом содержания льда из-за потери контакта между частицами горных пород [15, 18].

Эффект влияния скорости деформации заключается в увеличении прочности мерзлых горных пород и изменении вида разрушения образцов от пластического к хрупкому с ростом скорости деформации (рис. 2в).

Таким образом, при изучении НДС массива мерзлых пород необходимо учитывать изменчивость их физико-механических свойств при изменении температуры и других факторов, а также особенности минерального состава. Знание особенностей поведения мерзлых пород позволяет оценить потенциальные риски в условиях изменяющегося климата.

В настоящее время для определения НДС массива мерзлых горных пород, как и для немерзлых пород, используются различные численные модели, основанные на теориях: упругости, пластичности, механике разрушения и др. [19–21]. В таблице 1 представлено сравнение некоторых геомеханических моделей мерзлых горных пород.

Ранние исследования моделей мерзлых горных пород в основном были сосредоточены на аппроксимации экспериментальных данных с использованием теории упругости. Значительный вклад в реологическую основу механики мерзлых горных пород внес Вялов С.С., им получена эмпирическая степенная зависимость напряжения от деформации мерзлой горной породы, основанная на результатах испытаний на одноосное сжатие [22]. Однако она не учитывает температуру, скорость деформации, влажность и свойства пород.

Дальнейшее развитие эмпирических моделей позволило описать зависимость напряжения от деформации при различных температурах и скоростях нагружения. К примеру, упругопластическая модель [23], которая учитывает скорость нагружения и температурный эффект, однако не учитывает время приложения нагрузки.

К настоящему времени на основе механики сплошных сред и разрушения твердых тел, изучающей закономерности зарождения и роста трещин, были построены некоторые модели для мерзлых горных пород:

- ✧ модель [24], основанная на критерии разрушения Кулона-Мора, учитывает изменение температуры и позволяет моделировать деформационное размягчение

мерзлой породы. В качестве переменных повреждений определяются линейная деформация и прочность;

- ✧ модель упругопластического разрушения мерзлой породы [25], основанная на трехосных испытаниях мерзлого песка на сжатие при различном давлении. Модель способна описывать процессы упрочнения/размягчения и дилатансии мерзлых пород при изменении давления, а также учитывает засоленность горной породы.
- ✧ упругопластическая модель с двумя поверхностями текучести для засоленного мерзлого песка [26]. Эта модель учитывает дилатансию и влияние засоленности на зависимость между напряжением и деформацией. При этом в ней не учитывается влияние изменения температуры.

В настоящее время при создании моделей мерзлых пород учитывается изменение термодинамических свойств и фазового состояния массива. Упругопластическая модель [27], описывающая НДС насыщенных мерзлых пород, позволяет учитывать мерзлое и талое состояние пород, сегрегацию льда и явление ослабления прочности вследствие плавления под давлением. Для определения НДС горных пород при положительных температурах в модели используется модифицированная модель Cam-Clay [28].

#### Предложения по направлению будущих исследований

Планируется развитие подходов к построению геомеханических моделей, основанных на экспериментальных данных исследований физико-механических свойств горных пород в криолитозоне с учетом влияния арктической природной среды.

#### Выводы

Деформационно-прочностные характеристики сезонно промерзающих горных пород зависят от многих факторов. Среди них вид твердых частиц скелета, текстура и структура, гранулометрический состав, содержание льда, количество незамерзшей воды и солей, органических веществ, а также температура, время, скорость и траектория нагружения, начальное напряженное состояние и уровень напряжений. Влияние каждого из перечисленных факторов не является независимым.

На основе анализа рассмотренных моделей мерзлых пород, можно сделать вывод, что процесс развивался от простых упругих моделей до упругопластических, вязкоупругих и вязкопластических моделей, а также моделей на основе механики разрушения твердых тел. Разработанные модели описывают сложное поведение мерзлых пород чаще всего на основе эмпирических данных и имеется ограниченное количество моделей, учитывающих совместное влияние температуры, времени, скорости нагружения и свойств мерзлых горных пород.

Перспективным направлением развития геомеханических моделей для повышения точности расчетов является выявление закономерностей взаимовлияния природных факторов и изменения прочностно-деформационных свойств мерзлых горных пород на основе результатов экспериментальных исследований. ■

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Аренс В. Ж., Колин К. К., Сурин С. Д. Экологическая безопасность России и перспективы использования подземных резервуаров в вечной мерзлоте // Стратегические приоритеты. - 2020. - №. 1-2. - С. 74-82.

2. Zhao M. et al. Experimental research on the deformation and failure characteristics of coarse-grained soil slopes in seasonal frozen region along Sichuan-Tibet Railway // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. - IOP Publishing, 2020. - Vol. 455. - №. 1. - P. 012135. DOI: 10.1088/1755-1315/455/1/012135.
3. Шполянская Н.А. Особенности открытой разработки месторождений в криолитозоне в условиях континентального климата // Инженерная геология. - 2020. - Т. 15. - №. 3. - С. 42-55. DOI: 10.25296/1993-5056-2020-15-3-42-52.
4. Васильев Г.Г., Джалябов А.А., Леонович И.А. Анализ причин возникновения деформаций инженерных сооружений объектов газового комплекса в криолитозоне // Записки Горного института. - 2021. - Т. 249. - С. 377-385. DOI: 10.31897/PMI.2021.3.6.
5. Гилев Н.Г. и др. Геотехнический мониторинг объектов нефтегазодобычи в криолитозоне // Фундаменты. - 2021. - №. 4. - С. 34-36.
6. Череповицын А.Е., Липина С.А., Евсеева О.О. Инновационный подход к освоению минерально-сырьевого потенциала арктической зоны РФ // Записки Горного института. - 2018. - Т. 232. - С. 438-444. DOI: 10.31897/pmi.2018.4.438.
7. Li H. et al. Review of the state of the art: interactions between a buried pipeline and frozen soil // Cold regions science and Technology. - 2019. - Vol. 157. - P. 171-186. DOI: 10.1016/j.coldregions.2018.10.014.
8. Шаммазов И.А., Сидоркин Д.И., Батыров А.М. Обеспечение устойчивости надземных магистральных трубопроводов в районах сплошного распространения многолетнемерзлых пород // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. - 2022. - Т. 333. - №. 12. - С. 200-207.
9. Вечная мерзлота [Электронный ресурс] URL: <https://www.nornickel.ru/sustainability/climate-change/permafrost/>.
10. Andersland O.B., Ladanyi B. Frozen ground engineering. - John Wiley & Sons, 2003.
11. Teng Y.C. et al. A review of the research on thermo-hydro-mechanical coupling for the frozen soil // Geofluids. - 2022. - Vol. 2022. DOI: 10.1155/2022/8274137.
12. Kadivar M., Manahiloh K.N. Revisiting parameters that dictate the mechanical behavior of frozen soils // Cold Regions Science and Technology. - 2019. - Vol. 163. - P. 34-43. DOI: 10.1016/j.coldregions.2019.04.005.
13. Овчинников В.П. и др. Напряжения в строительных объектах при деформировании мерзлых и пластичных горных пород // Вестник Ассоциации буровых подрядчиков. - 2016. - №. 3. - С. 29-35.
14. Старостин Е.Г., Кравцова О.Н., Таппырова Н.И. Модели равновесия фаз воды в мерзлых горных породах // Природные ресурсы Арктики и Субарктики. - 2017. - №. 2 (86). - С. 41-47.
15. Цытович Н.А. Механика мерзлых грунтов. - М.: 1973.
16. Бровка А.Г. и др. Влияние низкой температуры на теплофизические и прочностные характеристики мерзлых грунтов // Инженерно-геологические задачи современности и методы их решения. - 2017. - С. 186-191.
17. Sayles F.H., Carbee D.L. Strength of frozen silt as a function of ice content and dry unit weight // Engineering Geology. - 1981. - Vol. 18. - №1-4. - P. 55-66. DOI: 10.1016/0013-7952(81)90046-6.
18. Геворкян С.Г., Дорошин В.В., Аксёнов В.И. Некоторые результаты экспериментального определения вида зависимости прочностных свойств мерзлых мелких и пылеватых песков от их суммарной влажности (льдистости) и температуры // Вестник НИЦ Строительство. - 2019. - №. 1. - С. 25-34.
19. Миронов В.А., Зюзин Б.Ф., Фадеев В.В. Основные закономерности деформирования мерзлых органоминеральных грунтов в условиях трехосного сжатия // Труды Инсторфа. - 2016. - №. 13. - С. 12-20.
20. Карасев М.А., Петрушин В.В., Рысин А.И. Применение метода конечно-дискретных элементов для описания механики поведения соляных пород на макроструктурном уровне // Горный информационно-аналитический бюллетень. - 2023. - №. 4. - С. 48-66. DOI: 10.25018/0236\_1493\_2023\_4\_0\_48.
21. Протосеня А. Г., Иовлев Г.А. Прогноз напряженно-деформируемого состояния в окрестности подземного сооружения в нелинейно-деформируемых грунтовых массивах // Известия Тульского государственного университета. Науки о земле. - 2020. - №. 2. - С. 215-228.
22. Вялов С.С. Гмошинский В.Г., Городецкий С.Э и др. Прочность и ползучесть мерзлых грунтов и расчеты ледогрунтовых ограждений. М. - АН СССР, 1962. 255 с.
23. Cai C. et al. Uniaxial tests on frozen loess and its constitutive model // Chinese Journal of Geotechnical Engineering. - 2017. - Vol. 39. - P. 879-887. DOI: 10.11779/CJGE201705012.
24. Li S. et al. An improved statistical damage constitutive model for warm frozen clay based on Mohr-Coulomb criterion // Cold Regions Science and Technology. - 2009. - Vol. 57. - №. 2-3. - P. 154-159. DOI: 10.1016/j.coldregions.2009.02.010.
25. Sun K. et al. An elastoplastic damage constitutive model for frozen soil based on the super/subloading yield surfaces // Computers and Geotechnics. - 2020. - Vol. 128. - P. 103842. DOI: 10.1016/j.compgeo.2020.103842.
26. Lai Y., Liao M., Hu K. A constitutive model of frozen saline sandy soil based on energy dissipation theory // International Journal of Plasticity. - 2016. - Vol. 78. - P. 84-113. DOI: 10.1016/j.ijplas.2015.10.008.
27. Ghoreishian Amiri S. A. et al. Constitutive model for rate-independent behavior of saturated frozen soils // Canadian Geotechnical Journal. - 2016. - Vol. 53. - №. 10. - P. 1646-1657. DOI: 10.1139/cgj-2015-0467.
28. Roscoe K.H., Burland J.B. On the generalized stressstrain behavior of wet clay // Engineering Plasticity / Eds. J. Heyman, F.A. Leckie. - Cambridge University Press, 1968. - P. 535-609.

## REFERENCES

1. Ahrens V. J., Kolin K. K., Surin S. D. Environmental safety of Russia and prospects for using underground reservoirs in permafrost // Strategic priorities. - 2020. - №. 1-2. - P. 74-82.
2. Zhao M. et al. Experimental research on the deformation and failure characteristics of coarse-grained soil slopes in seasonal frozen region along Sichuan-Tibet Railway // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. - IOP Publishing, 2020. - Vol. 455. - №. 1. - P. 012135. DOI: 10.1088/1755-1315/455/1/012135.

3. Shpolyanskaya N.A. Specific features of opencast mining in the cryolithic zone under continental climate conditions // Engineering geology world. - 2020. - Vol. 15. - №. 3. - P. 42-55. DOI: 10.25296/1993-5056-2020-15-3-42-52.
4. Vasiliev G.G., Dzhaliyabov A.A., Leonovich I.A. Analysis of the causes of engineering structures deformations at gas industry facilities in the permafrost zone // Journal of Mining Institute. - 2021. - Vol. 249. - P. 377-385. DOI: 10.31897/PMI.2021.3.6.
5. Gilev N.G. et al. Geotechnical monitoring of oil and gas production facilities in the cryolithozone // Foundations. - 2021. - №. 4. - P. 34-36.
6. Cherepovitsyn A.E., Lipina S.A., Evseeva O.O. (2018). Innovative approach to the development of mineral raw materials of the Arctic zone of the Russian Federation // Journal of Mining Institute. - 2018. - Vol. 232. - P. 438-444. DOI: 10.31897/pmi.2018.4.438.
7. Li H. et al. Review of the state of the art: interactions between a buried pipeline and frozen soil // Cold regions science and Technology. - 2019. - Vol. 157. - P. 171-186. DOI: 10.1016/j.coldregions.2018.10.014.
8. Shammazov I.A., Sidorkin D.I., Batyrov A.M. Ensuring the stability of aboveground trunk pipelines in areas of continuous permafrost distribution // Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering. - 2022. - Vol. 333. - №. 12. - P. 200-207.
9. Permafrost URL: <https://www.nornickel.ru/sustainability/climate-change/permafrost/>.
10. Andersland O.B., Ladanyi B. Frozen ground engineering. - John Wiley & Sons, 2003.
11. Teng Y.C. et al. A review of the research on thermo-hydro-mechanical coupling for the frozen soil // Geofluids. - 2022. - Vol. 2022. DOI: 10.1155/2022/8274137.
12. Kadivar M., Manahiloh K.N. Revisiting parameters that dictate the mechanical behavior of frozen soils // Cold Regions Science and Technology. - 2019. - Vol. 163. - P. 34-43. DOI: 10.1016/j.coldregions.2019.04.005.
13. Ovchinnikov V.P. et al. Stresses in facilities resulting from deformation of frozen and plastic rocks // Bulletin of the Association of Drilling Contractors. - 2016. - №. 3. - P. 29-35.
14. Starostin E.G., Kravtsova O.N., Tappyrova N.I. The Models of Water Phases Equilibrium in Frozen Rocks // Arctic and Subarctic natural resources. - 2017. - №. 2 (86). - C. 41-47.
15. Tsytovich N.A. Mechanics of frozen soils. - M.: 1973.
16. Brovka A.G. et al. Influence of low temperature on thermophysical and strength characteristics of frozen soils // Engineering and geological problems of our time and methods of their solution. - 2017. - P. 186-191.
17. Sayles F.H., Carbee D.L. Strength of frozen silt as a function of ice content and dry unit weight // Engineering Geology. - 1981. - Vol. 18. - №1-4. - P. 55-66. DOI: 10.1016/0013-7952(81)90046-6.
18. Gevorkyan S., Doroshin V., Aksenov V. Some results of experimental determination of the kind of dependence of strength properties of frozen fine and silty sands from their total moisture (the ice content) and temperature // Bulletin of Science and Research Center of Construction. - 2019. - №1. - P. 25-34.
19. Mironov V.A., Zyuzin B.F., Fadeev V.V. The main regularities of deformation of frozen organic and mineral soils in the conditions of triaxial compression // Trudy Instorfa. - 2016. - №. 13. - P. 12-20.
20. Karasev M.A., Petrushin V.V., Rysin A.I. The hybrid finite/discrete element method in description of macrostructural of salt rocks // MIAB. Mining Inf. Anal. Bull. 2023;(4):48-66. DOI: 10.25018/0236\_1493\_2023\_4\_0\_48.
21. Protosenya A.G., Iovlev G.A. Stress-strain state prediction surrounding underground structure, constructed in nonlinear deformed medium-soft soils. - 2020. - №. 2. - C. 215-228.
22. Vyalov S.S. et al. Strength and Creep of Frozen Soils and Calculations of Ice-Ground Barriers // Izdatel'stvo AN SSSR, Moscow. - 1962. 255 p.
23. Cai C. et al. Uniaxial tests on frozen loess and its constitutive model // Chinese Journal of Geotechnical Engineering. - 2017. - Vol. 39. - P. 879-887. DOI: 10.1177/CJGE201705012.
24. Li S. et al. An improved statistical damage constitutive model for warm frozen clay based on Mohr-Coulomb criterion // Cold Regions Science and Technology. - 2009. - Vol. 57. - №. 2-3. - P. 154-159. DOI: 10.1016/j.coldregions.2009.02.010.
25. Sun K. et al. An elastoplastic damage constitutive model for frozen soil based on the super/subloading yield surfaces // Computers and Geotechnics. - 2020. - Vol. 128. - P. 103842. DOI: 10.1016/j.compgeo.2020.103842.
26. Lai Y., Liao M., Hu K. A constitutive model of frozen saline sandy soil based on energy dissipation theory // International Journal of Plasticity. - 2016. - Vol. 78. - P. 84-113. DOI: 10.1016/j.ijplas.2015.10.008.
27. Ghoreishian Amiri S. A. et al. Constitutive model for rate-independent behavior of saturated frozen soils // Canadian Geotechnical Journal. - 2016. - Vol. 53. - №. 10. - P. 1646-1657. DOI: 10.1139/cgj-2015-0467.
28. Roscoe K.H., Burland J.B. On the generalized stressstrain behavior of wet clay // Engineering Plasticity / Eds. J. Heyman, F.A. Leckie. - Cambridge University Press, 1968. - P. 535-609.

## ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ



**Трушко Владимир Леонидович:**  
 доктор технических наук,  
 профессор,  
 Санкт-Петербургский горный университет,  
 г. Санкт-Петербург, Россия,  
 e-mail: [Trushko\\_VL@pers.spmi.ru](mailto:Trushko_VL@pers.spmi.ru),  
<http://orcid.org/0000-0002-9742-1076>

## INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

**Trushko Vladimir Leonidovich:**  
 Ph.D.,  
 Professor,  
 St. Petersburg Mining University,  
 St. Petersburg, Russia,  
 e-mail: [Trushko\\_VL@pers.spmi.ru](mailto:Trushko_VL@pers.spmi.ru),  
<http://orcid.org/0000-0002-9742-1076>



**Баева Елена Константиновна:**  
аспирант,  
Санкт-Петербургский горный университет,  
г. Санкт-Петербург, Россия,  
e-mail: loka2708@rambler.ru,  
<https://orcid.org/0000-0003-4213-6849>

**Baeva Elena Konstantinovna:**  
postgraduate student,  
St. Petersburg Mining University,  
St. Petersburg, Russia,  
e-mail: loka2708@rambler.ru,  
<https://orcid.org/0000-0003-4213-6849>

#### КРИТЕРИИ АВТОРСТВА / CONTRIBUTION:

Трушко В.Л. — постановка задачи исследования, редакция текстового и графического материала статьи. Баева Е.К. — обзор литературных источников, оформление результатов анализа, написание текста статьи / Trushko V.L. — research problem statement, text and graphic material editing. Baeva E.K. — literature review, formalizing the analysis results, writing the article.

#### КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ / CONFLICT OF INTEREST:

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов. / The authors declare no conflict of interest.



## ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Императорский Томский университет был основан в 1878 году – первым на территории Сибири и Дальнего Востока. Сегодня Томский государственный университет – ведущий классический университет исследовательского типа, признанный центр науки, образования и инноваций. Он входит в топ-300 ведущих университетов мира по рейтингу QS (272 место в мире и 4 среди российских вузов), в Золотую лигу Round University Ranking (в тройке лучших вузов РФ).

Годом рождения ГГФ считается 1933-й, когда в ТГУ был организован геолого-почвенно-географический факультет, но при этом подготовка геологов и географов в университете началась в 1917 году на естественном (геолого-географическом) отделении физмата, параллельно с ТТИ (сейчас Томский политехнический университет). А это значит, что Томский Государственный Университет занимается обучением высококлассных специалистов уже больше 100 лет.

Сегодня факультет готовит профессиональных геологов, географов, гидрологов, метеорологов, природопользователей, геоэкологов, деятельность которых основана на использовании всей совокупности знаний, накопленных человечеством, и является базой мировоззренческих наук о Земле.

В 2008 году учёные Геолого-географического факультета открыли новый род динозавров — сибиротитан (Sibirotitan), длина которого могла достигать 20 метров, а вес 50 тонн.

Специалисты геолого-географического факультета ТГУ совместно с коллегами из Карлетонского университета (Канада) составляют детальные карты фрагментов поверхности Венеры.

Сотрудниками кафедры минералогии и геохимии в 2014 году открыты новые минералы: ферро-педрисит и россовскинт.

Адрес: 634050, Томск, пр.Ленина 36, ауд. 128;  
телефоны: 8 (3822) 529-772;  
e-mail: pk@mail.tsu.ru





## WWW.N-GN.RU

## ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА КЛАССИФИКАЦИИ ДАННЫХ ЛАЗЕРНОГО СКАНИРОВАНИЯ ДЛЯ ПРЕОДОЛЕНИЯ ИЗБЫТОЧНОСТИ

*В.Н. Гусев, А.А. Филиппов,*

*Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II, г. Санкт-Петербург, Россия*

**Аннотация:** Приведены результаты анализа существующих методик для классификации маркшейдерско-геодезических данных, в частности данных лазерного сканирования. В настоящее время применяются различные программные решения для моделирования объектов подземной разработки, карьеров, а также объектов нефтедобычи. Существуют алгоритмы для решения конкретных задач, связанных с этапами моделирования, однако большинство из них создаются как универсальные инструменты. Проведена оценка существующих программных алгоритмов для решения задачи классификации. В условиях горной промышленности адаптация существующих алгоритмов позволила бы значительно ускорить и упростить процессы актуализации маркшейдерско-геодезической информации, что в свою очередь косвенно повлияет на скорость и качество отработки месторождения в целом. Результаты исследований могут быть полезны при работе с данными лазерного сканирования и выбора оптимальных решений.

**Ключевые слова:** программные решения для моделирования, адаптация алгоритмов для маркшейдерских съемок, маркшейдерско-геодезические измерения.

**Для цитирования:** Гусев В.Н., Филиппов А.А. Оптимизация процесса классификации данных лазерного сканирования для преодоления избыточности // Маркшейдерия и недропользование. 2024. № 1. С. 80-89. DOI: 10.56195/20793332\_2024\_1\_80\_89.

## OPTIMIZING THE DATA CLASSIFICATION PROCESS IN LASER SCANNING TO OVERCOME REDUNDANCY

*V.N. Gusev, A.A. Filippov,*

*St. Petersburg Mining University of Empress Catherine II, St. Petersburg, Russia*

**Abstract:** The article presents the results of analyzing existing methodologies for classifying mine surveying and geodetic data, particularly laser scanning data. Various software solutions are currently employed for modeling underground development, quarries, and oil extraction facilities. While there are algorithms designed to address specific tasks related to modeling stages, the majority of them are created as versatile tools. An evaluation of existing software algorithms for classification tasks has been conducted. In the mining industry, adapting these algorithms would significantly expedite and simplify the processes of updating mine surveying and geodetic information, indirectly impacting the overall speed and quality of deposit development. The research findings can be valuable for working with laser scanning data and selecting optimal solutions.

**Keywords:** software solutions for modeling, adaptation of algorithms for surveying surveys, surveying and geodetic measurements.

**For citation:** Gusev V.N., Filippov A.A. Optimizing the data classification process in laser scanning to overcome redundancy. Surveying and subsoil use. 2024;1:80-89.(In Russ.). DOI: 10.56195/20793332\_2024\_1\_80\_89.

Аппаратно-программный комплекс для производства маркшейдерско-геодезических работ на сегодняшний день представлен перечнем из беспилотных летательных аппаратов (БЛА), лазерно-сканирующих систем (ЛСС), спутниковых систем для производства методов дистанционного зондирования, а также электронными нивелирами, тахеометрами и ГНСС оборудованием. Все они предоставляют данные измерений в электронном виде с целью дальнейшей обработки на ЭВМ.

Предоставляемые данные из современного маркшейдерско-геодезического оборудования имеют в себе большое количество информации для решения любого рода задач за счет своей избыточности, как в случае с результатами ла-

зерного сканирования или же данными со снимков дистанционного зондирования.

С точки зрения точности и потенциала решаемых задач данный факт можно расценивать как положительный. Однако для обработки и использования всей получаемой информации с современных аппаратных комплексов специалисту необходимы инструменты и программные решения для использования всего спектра данных.

Развитие программного обеспечения для анализа, интерпретации и обработки данных маркшейдерско-геодезических измерений на данный момент является наиболее актуальным направлением, поскольку дает возможность для получения новой более детализированной информации

об объекте съемки. Алгоритмы, встроенные в программное обеспечение, открывают новые возможности для применения уже имеющихся данных маркшейдерских съемок.

Несмотря на наличие программных алгоритмов для обработки и интерпретации данных маркшейдерских съемок, существует проблема качества самих данных. Одним из решений может стать развитие съемочных систем и оборудования, но нельзя исключать природные факторы, такие как тени, пыль, засветы на снимках и т. д. Как пример, для специалиста не составит труда определить контур трещины на стене подрабатываемого здания даже при наличии теней и других различных факторов. Однако не исключается и человеческий фактор ошибки, в результате которого могут быть приняты неверные производственные решения [1]. Алгоритмы, разработанные на основе нейронных сетей, позволяют производить обработку исходной информации с ЛСС с наибольшей эффективностью за счет способности к самообучению. Такие алгоритмы способны не только первично обрабатывать информацию, но и определять различные объекты и зоны воздействия в зависимости от предоставляемых данных [2].

Что касается горной промышленности, область программирования нуждается в развитии, поскольку спектр инструментов для наблюдения за состоянием объекта горных работ и контроля сопутствующих процессов производства постоянно растет и развивается [3-5]. На сегодняшний день большое распространение получили ЛСС, потенциал использования которых можно расширить при помощи программных продуктов и интеграции нейронных сетей [6-8].

По своей сути, имеющиеся данные о месторождениях полезных ископаемых (ПИ) содержат в себе всю необходимую информацию для выявления закономерностей между деятельностью при разработке и состоянием массива, но для их обработки потребуются большие человеческие ресурсы. Инструменты в виде программных алгоритмов и нейронных сетей для структурирования и анализа имеющихся данных позволят оптимизировать изучение закономерностей в массиве. В свою очередь возможности программных алгоритмов для увеличения спектра решаемых задач уже существующими маркшейдерскими приборами также поспособствуют процессу изучения закономерностей между деятельностью человека и состоянием массива.

На сегодняшний день единственным способом для наблюдения за напряженно-деформационным состоянием в массиве при подземной разработке являются наблюдательные станции. Над объектом разработки на начальных этапах создаются системы наблюдательных станций, представляющие собой профильные линии, пересекающие друг друга и покрывающие область, требующую охраны от геомеханических воздействий.

На некоторых месторождениях, где не предусмотрена закладка выработанного пространства, создаются наблюдательные станции в самих выработках, однако эта особенность встречается крайне редко и в горном деле ограничивается поверхностными наблюдениями.

Параметров, влияющих на состояние массива при разработке месторождений, — большое множество [9, 10], за счет чего присутствует неопределенность во взаимоотношении процессов, происходящих в массиве, и результатов этих процессов на поверхности. Факторы, зависящие от системы раз-

работки, этапов состояния горной выработки, начиная от проходки и заканчивая закладкой выработанного пространства или же установкой постоянной крепи, оказывают большое влияние на состояние массива в определенный момент времени, их моделирование способствует выявлению закономерностей [11].

Поскольку существует факт отставания между деформационными процессами в глубине массива и на поверхности, необходимы исследования в данной области [12, 13]. Определение такого параметра позволит выявить закономерность для определения деформаций в любой точке массива в любой момент времени, соотнося их с положением горных работ.

Опыт, накопленный за годы разработки большого числа подземных рудников, позволяет структурировать данные и найти новые закономерности, однако самым важным является качество данных и их объем с целью дальнейшего анализа и обработки современными алгоритмами.

Алгоритмы и нейронные сети работают по принципу качества предоставляемых данных, чем обширнее и точнее имеющаяся в доступе у нейронной сети информация об объекте изучения, тем эффективнее работа самих алгоритмов [14, 15].

В области маркшейдерского дела необходима не только интеграция систем для анализа существующих данных о мониторинговых наблюдениях на объектах добычи, но и развитие областей получения новых данных о состоянии массива в различных точках.

Большой прорыв производится в области мониторинга и актуализации состояния объектов открытой разработки [16, 17]. Связано это с условиями окружающей среды и возможностью получения большого объема данных из имеющихся средств съемки. Из-за специфики при съемке объектов открытой разработки можно захватывать большие участки для последующего анализа. Также отсутствует ограничение пространства, в связи с чем возможно применение беспилотных летательных аппаратов с методами лазерного сканирования [18], фотограмметрии [19, 20] и дистанционного зондирования [21-23]. При открытой разработке месторождений чаще всего объекты строительства относятся к площадным в отличие от подземных шахт и рудников. Оптимизация и автоматизация съемочных процессов и повышение информативности съемок горных выработок является важной задачей при подземной разработке.

Объекты подземного строительства разрушают горный массив частично, в связи с чем влияние каждой выработки имеет собственное значение на напряженно-деформированное состояние массива в целом. Нужно отметить, что неопределенность в параметрах самого массива играет большую роль, поскольку геологические нарушения оказывают непосредственное влияние на моделирование состояния горных пород, делая его нелинейным [24, 25].

Выявление закономерностей в распределении деформационных процессов в разрабатываемом массиве прямым образом отражается на экономической эффективности рудника. Возникновение аварий на производстве в результате дестабилизации массива горных пород, безопасность персонала, зависящая от предотвращения инцидентов по типу горных ударов, вывалов и т. д., связаны со своевременными мерами по стабилизации состояния массива горных пород.

Прогнозирование и ликвидация подобных инцидентов имеют большое значение и на объектах открытой разработки. Выявление аномалий в деформационных процессах бортов карьера является основой для сохранения работоспособности такого рода объектов.

Развивая системы по сбору информации, а также алгоритмы по её дальнейшей обработке и интерпретации, напрямую можно воздействовать на параметры эффективности и безопасности отработки как подземных, так и открытых объектов добычи.

## Материал и методы

### Классификация

Процесс разделения объектов или данных на различные категории или классы в соответствии с определенными характеристиками или правилами, называемый классификацией, играет значительную роль в современном мире, поскольку позволяет структурировать и организовать информацию, улучшить эффективность обработки данных, принимать обоснованные решения и автоматизировать процессы в различных областях деятельности.

Классификация играет важную роль в горном деле и может быть применена в таких аспектах отрасли, как:

1. *Геологическое исследование.* Классификация горных пород и минералов является основой геологического исследования. Геологи классифицируют и описывают различные типы пород и минералов для определения их свойств, состава и потенциальной ценности. Это позволяет определить месторождения полезных ископаемых, проводить оценку их запасов и планировать добычу.

2. *Разработка горных работ.* Классификация горных пород и условий разработки является важной задачей при проектировании и планировании горных работ. Она помогает инженерам и горнякам понять характеристики горной массы, определить оптимальные методы добычи и оценить риски, связанные с геотехнической стабильностью и безопасностью работ.

3. *Обработка и обогащение руды.* Классификация руды по ее физическим и химическим свойствам играет важную роль в процессе обработки и обогащения. Различные методы классификации применяются для сортировки и разделения руды на различные фракции в зависимости от содержания ценных компонентов. Это позволяет повысить эффективность извлечения полезных ископаемых и оптимизировать процесс обогащения.

Классификация в горном деле имеет большое значение: систематизирует и организует информацию о горных материалах, их свойствах и условиях эксплуатации. Это способствует эффективному планированию и принятию обоснованных решений, оптимизации процессов добычи и обработки ресурсов, а также повышает безопасность и устойчивость горнодобывающих операций.

Однако недостаточная информативность маркшейдерских съемок в подземном руднике или карьере может иметь негативные последствия (и влиять на безопасность и эффективность работы):

1. *Неправильное планирование и проектирование.* Маркшейдерские съемки предоставляют информацию о геометрии и расположении горных выработок, рудных залежей, геологических структур и других факторов, влияющих на разработку и добычу полезных ископаемых. Если съемки

не обладают достаточной информативностью, возможны ошибки в планировании и проектировании горных выработок, что может привести к неправильному выбору методов добычи, недооценке ресурсов или возникновению нежелательных геотехнических проблем.

2. *Увеличение риска аварийных ситуаций.* Маркшейдерские съемки играют важную роль в обеспечении безопасности подземных работ. Недостаточная информативность съемок может привести к неправильной оценке геологических условий, геотехнической стабильности и других факторов, связанных с безопасностью. Это повлечет за собой увеличение риска возникновения оползней, обвалов, затоплений или других аварийных ситуаций, которые могут угрожать жизням и здоровью работников.

3. *Потери ресурсов и времени.* Недостаточная информативность маркшейдерских съемок может привести к потере ресурсов и времени при проведении работ. Кроме того, неправильные или недостаточно точные съемки могут привести к неправильному выбору направления разработки, неэффективному использованию оборудования и перерасходу материалов. Это повлечет за собой дополнительные затраты, задержки в работе и нежелательные перерывы в производстве.

4. *Ограничение возможностей планирования и оптимизации.* Маркшейдерские съемки являются основой для планирования и оптимизации подземных работ. Недостаточная информативность съемок может ограничить возможности анализа и моделирования горных условий, что затруднит принятие обоснованных решений и оптимизацию процессов добычи и разработки.

В целом недостаточная информативность маркшейдерских съемок может привести к ошибкам в планировании, безопасности и эффективности работы подземного рудника или карьера. Точные и достоверные съемки играют ключевую роль в обеспечении безопасности, оптимизации процессов и устойчивого развития горнодобывающей деятельности.

### Перспективы внедрения классифицированной модели подземного рудника

Представьте себе, что у нас есть полностью отсканированная модель всего подземного рудника, включая информацию о расположении систем выработок, оборудовании и объектах внутри них. Эта информация предоставляет невероятные возможности для специалистов и горных инженеров для улучшения и оптимизации работы всего предприятия.

Приведем три примера, как эта информация может быть использована:

1. *Виртуальное моделирование и симуляция.* Используя отсканированную модель рудника, специалисты могут создать виртуальные модели и проводить симуляции различных сценариев добычи. Это позволяет проводить виртуальные испытания и анализировать влияние изменений в проектной форме выработок, размещении оборудования и оптимизации процессов на производительность и эффективность работы. Такие симуляции помогут определить оптимальные стратегии разработки и улучшить процессы на предприятии.

2. *Мониторинг и управление оборудованием.* Отсканированная модель рудника может использоваться для мониторинга и управления оборудованием в режиме реального вре-

мени. С помощью сенсоров и IT-технологий специалисты могут отслеживать положение и состояние оборудования, а также предсказывать потенциальные сбои или проблемы. Это позволяет предпринимать превентивные меры, планировать техническое обслуживание и оптимизировать использование оборудования, что приводит к снижению простоев и повышению эффективности работы.

3. *Автоматизация и роботизация.* Отсканированная модель рудника предоставляет информацию о физической среде и препятствиях, с которыми сталкиваются роботы и автоматизированные системы. Это позволяет специалистам разрабатывать и применять инновационные решения в области автоматизации и роботизации в горном деле. Например, автономные роботы могут использоваться для инспекции, обследования и обслуживания выработок, а также для выполнения опасных и рутинных задач. Это повышает безопасность работников, улучшает производительность и снижает затраты на человеческий труд.

Все эти примеры демонстрируют потенциал отсканированной модели подземного рудника для инноваций и оптимизации работы предприятия. Они позволяют специалистам принимать осознанные решения, повышать эффективность и снижать риски, что в итоге приводит к улучшению результатов и устойчивому развитию горнодобывающей отрасли.

#### *Перспективы отказа от внедрения классифицированной модели подземного рудника*

Если у горных инженеров и специалистов нет доступа к полностью отсканированной модели рудника, они лишаются ряда возможностей, отсутствие которых может негативно сказываться на работе подземного рудника.

Речь идет о таких моментах, как:

1. *Ограниченная видимость и понимание геологической среды.* Отсутствием достаточной информации о структуре горных пород, геологических разломах, рудных залежах и других важных факторах объясняются затруднения в принятии обоснованных решений по планированию и оптимизации добычи, а также возможные непредвиденные проблемы с геотехнической стабильностью и безопасностью.

2. *Отсутствие возможности проводить виртуальное моделирование и симуляции.* Виртуальное моделирование и симуляции являются мощными инструментами для оптимизации процессов и принятия решений. Без модели рудника специалисты не могут проводить виртуальные испытания различных сценариев добычи, оценивать влияние изменений в дизайне выработок или оптимизации процессов. Это может привести к потере возможностей улучшить производительность, эффективность и безопасность работы.

3. *Ограниченная возможность мониторинга и управления оборудованием.* Отсканированная модель рудника позволяет мониторить и управлять оборудованием в режиме реального времени. Без такой модели специалисты могут столкнуться с ограничениями в отслеживании положения и состояния оборудования, а также в прогнозировании возможных проблем. Это затрудняет планирование технического обслуживания, повышение эффективности и снижение рисков аварийных ситуаций.

4. *Увеличение вероятности ошибок и неэффективности.* Отсутствие подробной модели рудника может привести к большей вероятности ошибок и неэффективности в планировании, проектировании и выполнении работ. Горные ин-

женеры могут не иметь полной информации о расположении систем выработок, препятствиях, объектах внутри выработок и других факторах, которые влияют на работу. Это приводит к неправильному выбору методов добычи, недооценке ресурсов, увеличению затрат и времени на работы.

В целом отсутствие полностью отсканированной модели рудника ограничивает способности горных инженеров и специалистов, что может негативно сказываться на безопасности, эффективности и результативности работы подземного рудника.

#### *Существующие методы обработки данных лазерного сканирования*

Маркшейдер является инженерным звеном, предоставляющим актуальную информацию о состоянии объекта производства. Внедрение алгоритмов для повышения точности отображения данных об объекте строительства, интерпретации информации для решения и визуализации тех или иных производственных процессов позволит повысить эффективность внедрения нейронных сетей, а также способствует развитию их точности в принятии решений.

В библиотеках CGAL представлены инструменты для моделирования деформационных процессов (рис. 1). Алгоритмы деформации поверхностной сетки вычисляют новые положения вершин поверхностной сетки при позиционных ограничениях некоторых ее вершин, не требуя какой-либо дополнительной структуры, кроме самой поверхностной сетки [26].

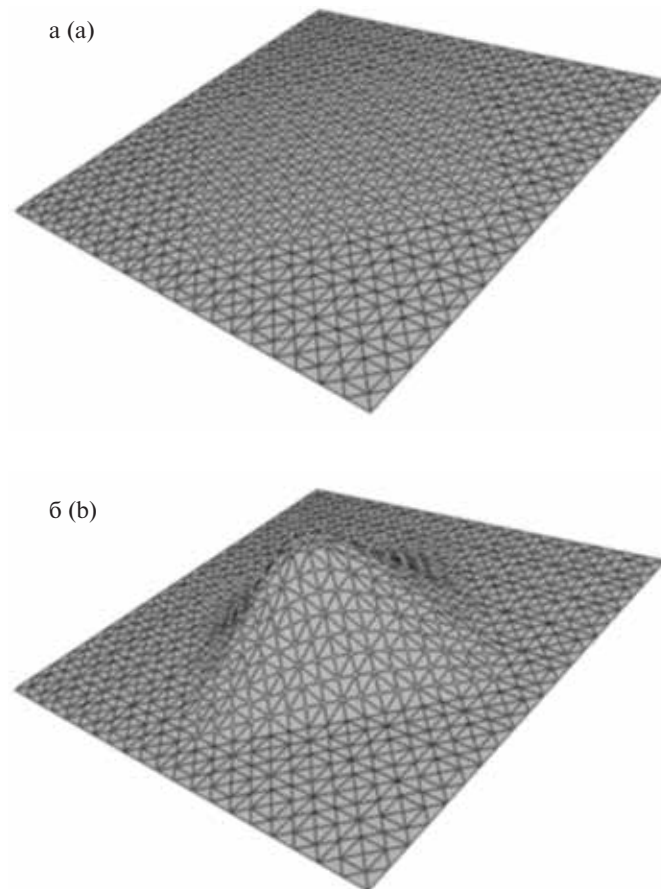


Рис. 1. Деформирование поверхности: а - поверхность; б - деформированная поверхность

Fig.1. Surface deformation: a - surface; b - deformed surface

Алгоритм по созданию каркасов из поверхностей представлен на рисунке 2.

Скелеты — это эффективные абстракции формы, используемые при сегментации, сопоставлении форм, реконструкции, виртуальной навигации и т. д. Алгоритм реализации скелета средней кривизны извлекает скелет кривой из триангулированной поверхностной сетки без границ путем итеративного сжатия входной триангулированной поверхностной сетки [27]. Данный алгоритм как никогда кстати может быть применим к работам, направленным на проверку соблюдения проектных направлений выработок и конфигураций подземных рудников.

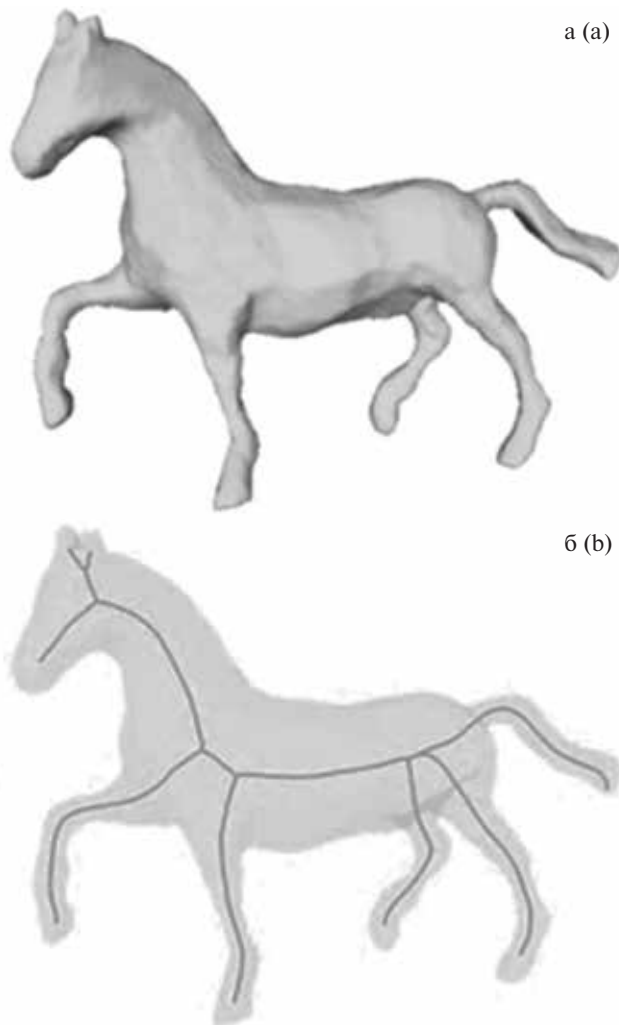


Рис. 2. Создание каркаса: а - поверхность; б - скелет  
Fig. 2. Frame construction: a - mesh; b - skeleton

Алгоритмы классификации объектов основаны на вычислении местных особенностей. Эти функции могут использовать преимущества общих структур данных, которые предварительно вычисляются и хранятся отдельно. Как эти функции, так и лежащие в их основе структуры данных зависят от типа данных, которые необходимо классифицировать. CGAL предоставляет структуры данных для классификации наборов точек, сеток поверхностей и кластеров.

Ограничивающие объемы, полученные методом упрощения данных точек до простых объектов, могут быть использованы для получения простых приближений сложных объектов (рис. 3).

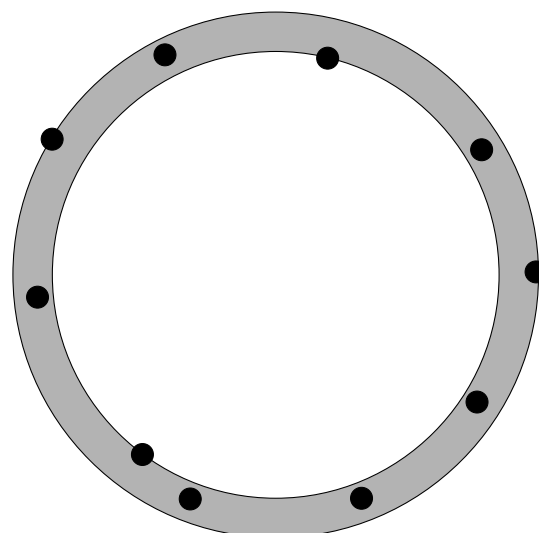


Рис. 3. Использование алгоритма ограничивающих объемов  
Fig. 3. Application of bounding volume algorithm

На практике иерархии ограничивающих объемов часто используются поверх простых ограничивающих объемов для более точного приближения сложных объектов. Ограничивающие объемы также часто применяются для извлечения геометрических свойств объектов. Ширина кольцевого объекта является хорошей мерой для этого свойства [28].

Алгоритм суммы Минковского представляет собой анализ движения объекта заданной площади по известной траектории (рис. 4).

Основной особенностью данного алгоритма является определение возможности беспрепятственного движения объекта по заданной траектории. Такой сценарий движения возникает при планировании движения объекта, когда ширина объекта равна проходу, который ему необходимо преодолеть. Для решения данной задачи хотя бы один многогранник (препятствие или объект) должен быть смоделирован как открытое множество, тогда сумма Минковского также будет открытым множеством, а тесные переходы будут возникать как грани, линии или вершины, которые в отличие от окружающего их объема не входят в результирующее множество точек.

Сам объект может быть представлен различными видами, например поверхностью, гранями, вершинами. Все грани объекта должны быть выпуклыми, невыпуклые грани игнорируются алгоритмом. Алгоритм предусматривает операцию скольжения, которая позволяет использовать траекторию движения и тело объекта для построения сложных фигур, вычисления объема. Данная операция применима для определения проходимости различной техники в условиях подземной разработки и строительства [29].

Алгоритм реконструкции поверхности реализует метод реконструкции поверхности, который принимает в качестве входных данных наборы точек с ориентированными нормальными (рис. 5). Входные точки не должны содержать выбросов и незначительного шума. Сетка выходной поверхности генерируется путем извлечения изоповерхности этой функции с помощью генератора сетки поверхности CGAL или, возможно, с помощью любого другого алгоритма конструирования поверхности [30].

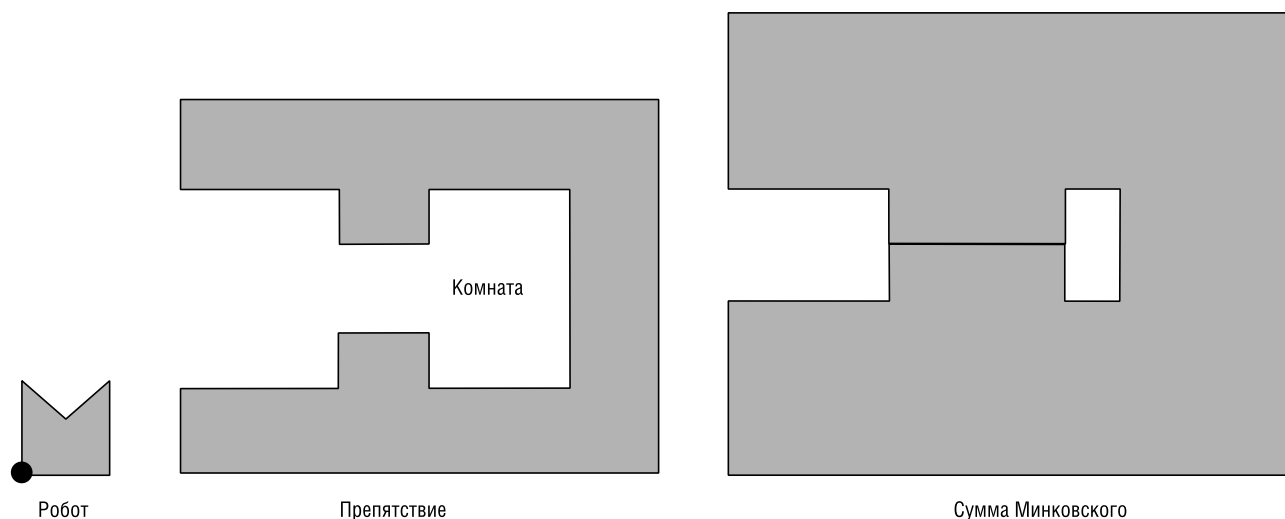


Рис. 4. Принцип работы суммы Минковского: а - начальная фигура; б - результат операции суммы Минковского

Fig. 4. Operation principle of Minkowski Sum: a - initial figure; b - the result of the operation Minkowski Sum

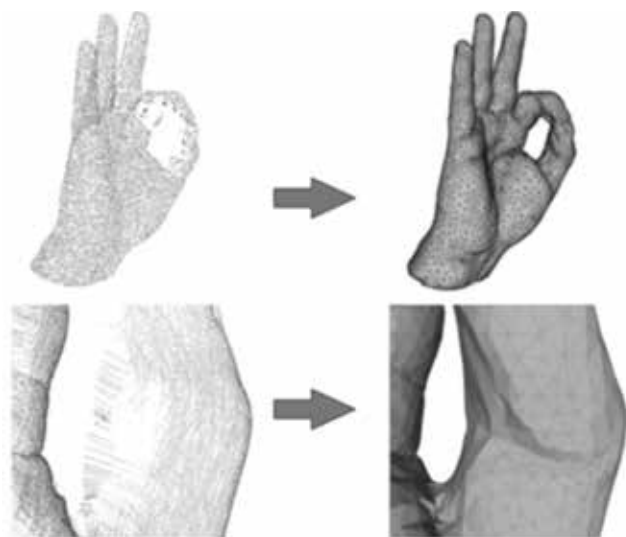


Рис. 5. Реконструкция поверхности: а - набор точек с ориентированными нормальными; б - поверхность, построенная на основе набора точек с ориентированными нормальными

Fig.5. Surface reconstruction: a - a set of points with oriented normals; b - a surface based on a set of points with oriented normals

Алгоритм упрощения поверхностей объектов реализует основанный на гипотезе и выборе метод восстановления кусочно-плоских объектов из облаков точек. Метод принимает в качестве входных данных неупорядоченный набор точек, отобранный из кусочно-плоского объекта. На выходе получается компактная и водонепроницаемая поверхностная сетка, интерполирующая набор входных точек. Метод предполагает, что все необходимые основные плоскости предоставлены или могут быть извлечены из набора входных точек.

Алгоритм, представленный в этом пакете, предназначен для создания упрощенных и водонепроницаемых поверхностных сеток. Он может восстанавливать четкие черты объектов и обрабатывать большое количество шума и выбросов, дополняя другие методы восстановления поверхности.

Алгоритм реконструкции поверхности Делоне использует ранее выбранные треугольники для выбора нового треугольника с целью продвижения фронта.

На каждом шаге продвижения (рис. 6) выбирается наиболее правдоподобный треугольник, причем такой, чтобы выбранные треугольники создавали ориентируемую многообразную триангулированную поверхность [31].

Что касается алгоритма сегментации, сначала применяется мягкая кластеризация к фасетам, используя соответствующие значения SDF. Окончательная сегментация затем получается с помощью алгоритма разрезания графа, учитывающего особенности поверхности вместе с результатом мягкой кластеризации [32].

Этот пакет предлагает вычисление значений SDF и результата сегментации сетки в качестве независимых функций. Это позволяет альтернативную реализацию SDF напрямую подключать к алгоритму сегментации, а также повторно использовать значения SDF несколько раз с различными параметрами для алгоритма сегментации.

Интеграция нейронных сетей доступна и для результатов лазерного сканирования.

Сами точки лазерного сканирования без использования специализированных алгоритмов выявления признаков не являются дескрипторами данных для дальнейшей обработки, так как содержат не увязанные данные по отношению к другим точкам (координаты, интенсивность).

Авторы статьи, используя существующие алгоритмы для выявления признаков у точек лазерного сканирования [33], сумели закодировать информацию для алгоритмов машинного обучения.

Данная информация в дальнейшем была применена для алгоритма «случайный лес», способствующего выявлению болтов анкерной крепи.

Стоит отметить детальную съемку местности, выполняемую маркшейдерским отделом, которая является аналогом представленного выше метода, но имеет в себе ошибку человеческого фактора, а также большой объем временных затрат. Недостатком данного метода является пренебрежение различными нюансами, относящимися к объекту (объектам) съемки, и документирование только ключевых аспектов ситуации. Данный способ съемки исключает избыточность данных, что в дальнейшем препятствует применению нейронных сетей для обучения и выяв-

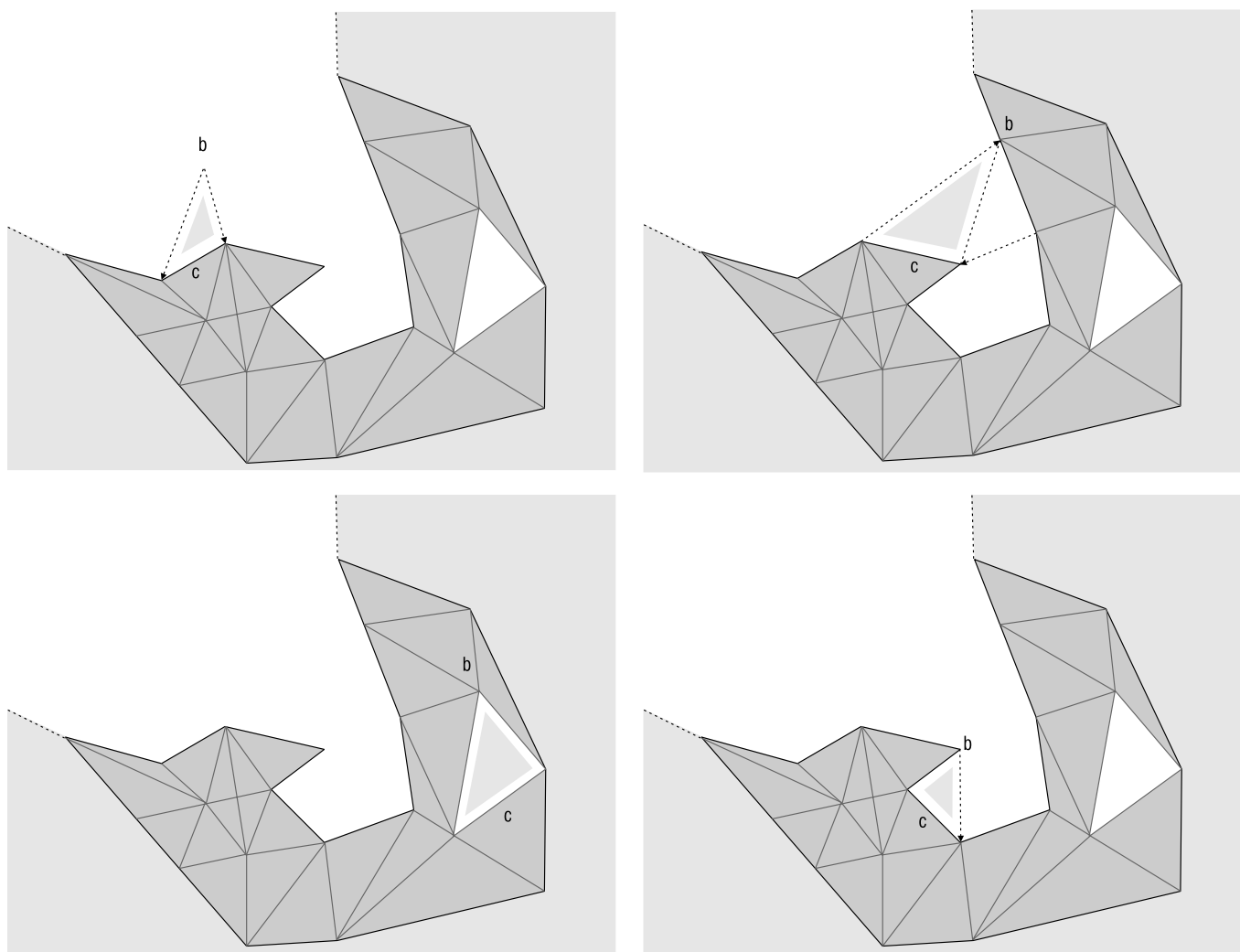


Рис. 6. Возможные варианты реконструкции поверхности  
Fig. 6. Surface reconstruction

ления аспектов природных закономерностей в массиве обрабатываемых пород.

#### **Предлагаемые методы обработки данных лазерного сканирования**

Необходимо отметить, что в статье описывается метод обработки показателей, представляющих собой саму горную выработку. В условиях решения данной задачи это необходимо, поскольку болты анкерной крепи находятся непосредственно в стенках выработки.

В большинстве своем горная выработка содержит большое количество инфраструктурных объектов, относящихся к областям электрификации, вентиляции и безопасности выработки, а также горные машины и сопутствующее оборудование.

Все эти объекты также имеют важное значение для стабильной работы рудника и горного предприятия в целом. На сегодняшний день в задачи маркшейдерского отдела не входит съемка и какое-либо документирование расположения инфраструктурных объектов. Область маркшейдера ограничена добычей полезных ископаемых и безопасностью объекта горных работ, исключением является область строительства метрополитена.

Как уже говорилось ранее, качество результатов, предоставляемых нейронными сетями и алгоритмами машин-

ного обучения, напрямую зависит от исходных данных и их информативности. Существующие методы представляют собой загрузку всего облака точек без какой-либо предобработки. В связи с этим решением в обучающие данные попадает большое количество информации, не относящейся к интересующим нас объектам классификации, что в целом увеличивает время обучения модели и усложняет процесс.

#### **Заключение**

Существующие универсальные алгоритмы для анализа изображений и результатов съемок не адаптированы для объектов горного производства. Уже разработанные наборы алгоритмов частично внедрены в область горного дела, однако объем получаемых данных из результатов маркшейдерских съемок содержит много избыточной информации, которую можно использовать для оптимизации процессов моделирования месторождений и выявления неизученных физических закономерностей.

Адаптация уже существующих алгоритмов из библиотек и интеграция нейронных сетей позволит оптимизировать процессы производства для месторождений открытой и подземной добычи. Выявленные закономерности и разработанные для их выявления методы автоматизированной обработки и интерпретации результатов маркшейдерско-

геодезических съемок и мониторинговых наблюдений помогут не только увеличить эффективность разработки месторождения, но и косвенно повлияют на безопасность объектов разработки.

Существующие примеры интеграции таких алгоритмов в обработку результатов различных съемочных систем требуют дополнительных исследований и уточнений для повышения эффективности разрабатываемых алгоритмов и поиска закономерностей.

### Выводы

1. В статье приведены результаты исследований существующих универсальных алгоритмов для анализа изображений и результатов съемок. Уже разработанные наборы алгоритмов частично внедрены в область горного дела, однако объем получаемой информации из результатов маркшейдерских съемок содержит в себе большой объем избыточной информации, которую можно использовать для оптимизации

процессов моделирования месторождений и выявления неизученных физических закономерностей.

2. Установлено, что адаптация уже существующих алгоритмов из библиотек и интеграция нейронных сетей позволит оптимизировать процессы производства для месторождений открытой и подземной добычи. Выявленные закономерности и разработанные для их выявления методы автоматизированной обработки и интерпретации результатов маркшейдерско-геодезических съемок и мониторинговых наблюдений помогут не только увеличить эффективность разработки месторождения, но и косвенно повлияют на безопасность объектов разработки.

3. Результаты исследований могут быть полезными при обработке данных лазерного сканирования и их классифицировании. Выбор оптимальных решений позволит извлечь больший объем полезной информации для дальнейшего анализа и использования данных в производственных процессах. ■

### ЛИТЕРАТУРА

1. Li, S. Image-Based Concrete Crack Detection Using Convolutional Neural Network and Exhaustive Search Technique / S. Li, X. Zhao // *Advances in Civil Engineering*. - 2019. - Vol. 2019. - P. 1-10.
2. Evaluating and Predicting the Stability of Roadways in Tunnelling and Underground Space Using Artificial Neural Network-Based Particle Swarm Optimization / X. Zhang, H. Nguyen, X.-N. Bui [et al.] // *Tunnelling and Underground Space Technology*. - 2020. - Vol. 103. - P. 1-15.
3. Kim, H. Self-driving algorithm and location estimation method for small environmental monitoring robot in underground mines / H. Kim, Y. Choi // *CMES - Computer Modeling in Engineering and Sciences*. - 2021. - Vol. 127, № 3. - P. 943-964.
4. Выстрчил, М.Г. Методика определения погрешностей сегментированных GRID моделей открытых горных выработок, построенных по результатам аэрофотосъемки с беспилотного воздушного судна / М. Г. Выстрчил, В. Н. Гусев, А. К. Сухов // *Записки Горного института*. - 2023. - Т. 262. - С. 562-570.
5. Quality analysis of digital photogrammetric models obtained in low light conditions / M. G. Vystrechil, A. K. Sukhov, S. U. Novozhenin [et al.] // *Journal of Physics Conference Series*. - 2020. - Vol. 1661. - P. 012089.
6. Automatic classification of urban ground elements from mobile laser scanning data / J. Balado, L. Diaz-Vilarino, P. Arias [et al.] // *Automation in Construction*. - 2018. - Vol. 86. - P. 226-239.
7. Bassier, M. Classification of sensor independent point cloud data of building objects using random forests / M. Bassier, B. van Genechten, M. Vergauwen // *Journal of Building Engineering*. - 2019. - Vol. 21. - P. 468-477.
8. Blomley, R. Classification of airborne laser scanning data using geometric multi-scale features and different neighbourhood types / R. Blomley, B. Jutzi, M. Weinmann // *ISPRS Annals of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. - 2016. - Vol. III-3. - P. 169-176.
9. Soil-tunnel interaction modelling for shield tunnels considering shearing dislocation in longitudinal joints / H. N. Wu, S. L. Shen, J. Yang [et al.] // *Tunnelling and Underground Space Technology*. - 2018. - Vol. 78. - P. 168-177.
10. Inventory of Landslides Triggered by Hurricane Matthews in Guantanamo, Cuba. / G. B. Pospehiov, Y. Savon, R. Delgado [et al.] // *Geography, environment, sustainability*. - 2023. - Vol. 16, № 1. - P. 55-63.
11. A prediction model for surface deformation caused by underground mining based on spatio-temporal associations / M. Ren, G. Cheng, W. Zhu [et al.] // *Geomatics, Natural Hazards and Risk*. - 2022. - Vol. 13, № 1. - P. 94-122.
12. Breiman, L. Random Forests / L. Breiman // *Machine Learning*. - 2001. - Vol. 45. - P. 5-32.
13. Проблема оценки влияния горных работ на объекты наземной инфраструктуры / Е.М. Волохов, В.К. Кожухарова, И.А. Бритвин [и др.] // *Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал)*. - 2023. - № 8. - С. 72-93.
14. Neaupane, K.M. Prediction of tunneling-induced ground movement with the multi-layer perceptron / K.M. Neaupane, N.R. Adhikari // *Tunnelling and Underground Space Technology*. - 2006. - Vol. 21, № 2. - P. 151-159.
15. Accuracy assessment of mine walls' surface models derived from terrestrial laser scanning / N.Q. Long, M.M. Buczek, L.P. Hien [et al.] // *International Journal of Coal Science and Technology*. - 2018. - Vol. 5, № 3. - P. 328-338.
16. Кузин, А.А. Выделение оползнеопасных территорий на основе методов нейронных сетей / А.А. Кузин // *Записки горного университета*. - 2013. - № 204. - С. 46-51.
17. Создание растров высокой информативности по данным лазерного сканирования и аэрофотосъемки / В.А. Вальков, К.П. Виноградов, Е.О. Валькова, М.Г. Мустафин // *Геодезия и картография*. - 2022. - № 11. - С. 40-49.
18. A practical methodology for generating high-resolution 3D models of open-pit slopes using UAVs: Flight path planning and optimization / R. Battulwar, G. Winkelmaier, J. Valencia [et al.] // *Remote Sensing*. - 2020. - Vol. 12, № 14. - P. 2283.
19. Weidner, L. Classifying rock slope materials in photogrammetric point clouds using robust color and geometric features / L. Weidner, G. Walton, A. Krajnovich. // *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*. - 2021. - Vol. 176. - P. 15-29.
20. Machine learning-based classification of rock discontinuity trace: SMOTE oversampling integrated with GBT ensemble learning / J. Chen, H. Huang, A. G. Cohn [et al.] // *International Journal of Mining Science and Technology*. - 2021. - Vol. 32, № 2. - P. 309-322.

21. Airborne/uav multisensor surveys enhance the geological mapping and 3d model of a pseudoskarn deposit in ploumanac'h, french brittany / G. Martelet, E. Gloaguen [et al.] // *Minerals*. - 2021. - Vol. 11, № 11. - P. 1259.
22. Zarychta, R. Progress in the reconstruction of terrain relief before extraction of rock materials-The case of Liban Quarry, Poland / R. Zarychta, A. Zarychta, K. Bzdega // *Remote Sensing*. - 2020. - Vol. 12, № 10. - P. 1548.
23. Continuum analysis of the structurally controlled displacements for large-scale underground caverns in bedded rock masses / A. Li, Y. Liu, F. Dai [et al.] // *Tunnelling and Underground Space Technology*. - 2020. - Vol. 97. - P. 103288.
24. Monitoring, modelling and prediction of segmental lining deformation and ground settlement of an EPB tunnel in different soils / B. Mu, X. Xie, X. Li [et al.] // *Tunnelling and Underground Space Technology*. - 2021. - Vol. 113. - P. 103870.
25. Xing, Y. Effect of rock mass and discontinuity mechanical properties and delayed rock supporting on tunnel stability in an underground mine / Y. Xing, P. H. S. W. Kulatilake, L. A. Sandbak // *Engineering Geology*. - 2018. - Vol. 238. - P. 62-75.
26. CGAL 5.6 - Triangulated Surface Mesh Deformation: User Manual - URL: [https://doc.cgal.org/latest/Surface\\_mesh\\_deformation/index.html](https://doc.cgal.org/latest/Surface_mesh_deformation/index.html).
27. CGAL 5.6 - Triangulated Surface Mesh Skeletonization: User Manual - URL: [https://doc.cgal.org/latest/Surface\\_mesh\\_skeletonization/index.html](https://doc.cgal.org/latest/Surface_mesh_skeletonization/index.html).
28. CGAL 5.6 - Bounding Volumes: User Manual - URL: [https://doc.cgal.org/latest/Bounding\\_volumes/index.html](https://doc.cgal.org/latest/Bounding_volumes/index.html).
29. CGAL 5.6 - 3D Minkowski Sum of Polyhedra: User Manual - URL: [https://doc.cgal.org/latest/Minkowski\\_sum\\_3/index.html](https://doc.cgal.org/latest/Minkowski_sum_3/index.html).
30. CGAL 5.6 - Poisson Surface Reconstruction: User Manual - URL: [https://doc.cgal.org/latest/Poisson\\_surface\\_reconstruction\\_3/index.html](https://doc.cgal.org/latest/Poisson_surface_reconstruction_3/index.html).
31. CGAL 5.6 - Polygonal Surface Reconstruction: User Manual - URL: [https://doc.cgal.org/latest/Polygonal\\_surface\\_reconstruction/index.html](https://doc.cgal.org/latest/Polygonal_surface_reconstruction/index.html).
32. CGAL 5.6 - Advancing Front Surface Reconstruction: User Manual - URL: [https://doc.cgal.org/latest/Advancing\\_front\\_surface\\_reconstruction/index.html](https://doc.cgal.org/latest/Advancing_front_surface_reconstruction/index.html).
33. Gallwey, J. A machine learning approach for the detection of supporting rock bolts from laser scan data in an underground mine / J. Gallwey, M. Eyre, J. Coggan // *Tunnelling and Underground Space Technology*. - 2021. - Vol. 107. - P. 103656.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Li, S. Image-Based Concrete Crack Detection Using Convolutional Neural Network and Exhaustive Search Technique / S. Li, X. Zhao // *Advances in Civil Engineering*. - 2019. - Vol. 2019. - P. 1-10.
2. Evaluating and Predicting the Stability of Roadways in Tunnelling and Underground Space Using Artificial Neural Network-Based Particle Swarm Optimization / X. Zhang, H. Nguyen, X.-N. Bui [et al.] // *Tunnelling and Underground Space Technology*. - 2020. - Vol. 103. - P. 1-15.
3. Kim, H. Self-driving algorithm and location estimation method for small environmental monitoring robot in underground mines / H. Kim, Y. Choi // *CMES - Computer Modeling in Engineering and Sciences*. - 2021. - Vol. 127, № 3. - P. 943-964.
4. Vystrchil MG, Gusev VN, Sukhov AK. Methodology for determining errors of segmented GRID models of open mine workings based on unmanned aerial vehicle aerial photography results // *Notes of the Mining Institute*. 2023;262:562-570. (In Russ.)
5. Vystrchil MG, Sukhov AK, Novozhenin SY. Quality analysis of digital photogrammetric models obtained in low light conditions. *Journal of Physics Conference Series*. 2020;1661:012089.
6. Automatic classification of urban ground elements from mobile laser scanning data / J. Balado, L. Diaz-Vilarino, P. Arias [et al.] // *Automation in Construction*. - 2018. - Vol. 86. - P. 226-239.
7. Bassier, M. Classification of sensor independent point cloud data of building objects using random forests / M. Bassier, B. van Genechten, M. Vergauwen // *Journal of Building Engineering*. - 2019. - Vol. 21. - P. 468-477.
8. Blomley, R. Classification of airborne laser scanning data using geometric multi-scale features and different neighbourhood types / R. Blomley, B. Jutzi, M. Weinmann // *ISPRS Annals of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. - 2016. - Vol. III-3. - P. 169-176.
9. Soil-tunnel interaction modelling for shield tunnels considering shearing dislocation in longitudinal joints / H. N. Wu, S. L. Shen, J. Yang [et al.] // *Tunnelling and Underground Space Technology*. - 2018. - Vol. 78. - P. 168-177.
10. Inventory of Landslides Triggered by Hurricane Matthews in Guantanamo, Cuba. / G. B. Pospheov, Y. Savon, R. Delgado [et al.] // *Geography, environment, sustainability*. - 2023. - Vol. 16, № 1. - P. 55-63.
11. A prediction model for surface deformation caused by underground mining based on spatio-temporal associations / M. Ren, G. Cheng, W. Zhu [et al.] // *Geomatics, Natural Hazards and Risk*. - 2022. - Vol. 13, № 1. - P. 94-122.
12. Breiman, L. Random Forests / L. Breiman // *Machine Learning*. - 2001. - Vol. 45. - P. 5-32.
13. Volokhov EM, Kozhukharova VK, Britvin IA et al. The problem of assessing the impact of mining operations on surface infrastructure objects. *Mining Information-Analytical Bulletin (scientific and technical journal)*. 2023;8:72-93. (In Russ.)
14. Neaupane, K.M. Prediction of tunneling-induced ground movement with the multi-layer perceptron / K.M. Neaupane, N.R. Adhikari // *Tunnelling and Underground Space Technology*. - 2006. - Vol. 21, № 2. - P. 151-159.
15. Accuracy assessment of mine walls' surface models derived from terrestrial laser scanning / N.Q. Long, M.M. Buczek, L.P. Hien [et al.] // *International Journal of Coal Science and Technology*. - 2018. - Vol. 5, № 3. - P. 328-338.
16. Kuzin AA. Identification of landslide-prone areas based on neural network methods. *Notes of the Mining University*. 2013;204:46-51. (In Russ.)
17. Valkov VA, Vinogradov KP, Valkova EO et al. Creation of high-informative raster data from laser scanning and aerial photography *Geodesy and Cartography*. 2022;11:40-49. (In Russ.)
18. A practical methodology for generating high-resolution 3D models of open-pit slopes using UAVs: Flight path planning and optimization / R. Battulwar, G. Winkelmaier, J. Valencia [et al.] // *Remote Sensing*. - 2020. - Vol. 12, № 14. - P. 2283.
19. Weidner, L. Classifying rock slope materials in photogrammetric point clouds using robust color and geometric features / L. Weidner, G. Walton, A. Krajnovich. // *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*. - 2021. - Vol. 176. - P. 15-29.
20. Machine learning-based classification of rock discontinuity trace: SMOTE oversampling integrated with GBT ensemble learning / J. Chen, H. Huang, A. G. Cohn [et al.] // *International Journal of Mining Science and Technology*. - 2021. - Vol. 32, № 2. - P. 309-322.

21. Airborne/uav multisensor surveys enhance the geological mapping and 3d model of a pseudoskarn deposit in ploumanac'h, french brittany / G. Martelet, E. Gloaguen [et al.] // *Minerals*. - 2021. - Vol. 11, № 11. - P. 1259.
22. Zarychta, R. Progress in the reconstruction of terrain relief before extraction of rock materials-The case of Liban Quarry, Poland / R. Zarychta, A. Zarychta, K. Bzdega // *Remote Sensing*. - 2020. - Vol. 12, № 10. - P. 1548.
23. Continuum analysis of the structurally controlled displacements for large-scale underground caverns in bedded rock masses / A. Li, Y. Liu, F. Dai [et al.] // *Tunnelling and Underground Space Technology*. - 2020. - Vol. 97. - P. 103288.
24. Monitoring, modelling and prediction of segmental lining deformation and ground settlement of an EPB tunnel in different soils / B. Mu, X. Xie, X. Li [et al.] // *Tunnelling and Underground Space Technology*. - 2021. - Vol. 113. - P. 103870.
25. Xing, Y. Effect of rock mass and discontinuity mechanical properties and delayed rock supporting on tunnel stability in an underground mine / Y. Xing, P. H. S. W. Kulatilake, L. A. Sandbak // *Engineering Geology*. - 2018. - Vol. 238. - P. 62-75.
26. CGAL 5.6 - Triangulated Surface Mesh Deformation: User Manual - URL: [https://doc.cgal.org/latest/Surface\\_mesh\\_deformation/index.html](https://doc.cgal.org/latest/Surface_mesh_deformation/index.html).
27. CGAL 5.6 - Triangulated Surface Mesh Skeletonization: User Manual - URL: [https://doc.cgal.org/latest/Surface\\_mesh\\_skeletonization/index.html](https://doc.cgal.org/latest/Surface_mesh_skeletonization/index.html).
28. CGAL 5.6 - Bounding Volumes: User Manual - URL: [https://doc.cgal.org/latest/Bounding\\_volumes/index.html](https://doc.cgal.org/latest/Bounding_volumes/index.html).
29. CGAL 5.6 - 3D Minkowski Sum of Polyhedra: User Manual - URL: [https://doc.cgal.org/latest/Minkowski\\_sum\\_3/index.html](https://doc.cgal.org/latest/Minkowski_sum_3/index.html).
30. CGAL 5.6 - Poisson Surface Reconstruction: User Manual - URL: [https://doc.cgal.org/latest/Poisson\\_surface\\_reconstruction\\_3/index.html](https://doc.cgal.org/latest/Poisson_surface_reconstruction_3/index.html).
31. CGAL 5.6 - Polygonal Surface Reconstruction: User Manual - URL: [https://doc.cgal.org/latest/Polygonal\\_surface\\_reconstruction/index.html](https://doc.cgal.org/latest/Polygonal_surface_reconstruction/index.html).
32. CGAL 5.6 - Advancing Front Surface Reconstruction: User Manual - URL: [https://doc.cgal.org/latest/Advancing\\_front\\_surface\\_reconstruction/index.html](https://doc.cgal.org/latest/Advancing_front_surface_reconstruction/index.html).
33. Gallwey, J. A machine learning approach for the detection of supporting rock bolts from laser scan data in an underground mine / J. Gallwey, M. Eyre, J. Coggan // *Tunnelling and Underground Space Technology*. - 2021. - Vol. 107. - P. 103656.

## ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

### **Гусев Владимир Николаевич:**

доктор технических наук,  
заведующий кафедрой Маркшейдерского дела,  
ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский горный университет  
императрицы Екатерины II»,  
г. Санкт-Петербург, Россия,  
e-mail: kmd@spmi.ru

### **Филиппов Антон Александрович:**

аспирант,  
кафедра маркшейдерского дела,  
ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский горный университет  
императрицы Екатерины II»,  
г. Санкт-Петербург, Россия,  
e-mail: antoniofl@mail.ru

## INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

### **Gusev Vladimir Nikolaevich:**

Doctor of Technical Sciences,  
Head of the Department of Surveying,  
St. Petersburg Mining University of Empress Catherine II,  
St. Petersburg, Russia,  
e-mail: kmd@spmi.ru

### **Filipov Anton Alexandrovich:**

post-graduate student,  
the Department of Surveying,  
St. Petersburg Mining University of Empress Catherine II,  
St. Petersburg, Russia,  
e-mail: antoniofl@mail.ru

### **КРИТЕРИИ АВТОРСТВА / CONTRIBUTION:**

Авторы заявляют о равном вкладе в работу над статьей. / The authors declare an equal contribution to the work on the article.

### **КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ / CONFLICT OF INTEREST:**

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов. / The authors declare no conflict of interest.



## МАГНИТОГОРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМ. Г. И. НОСОВА

Магнитогорский государственный технический университет им. Г. И. Носова – один из крупнейших многопрофильных вузов страны, в котором обучается более девяти тысяч студентов и работает около двух тысяч преподавателей и сотрудников.

**Институты, факультеты, кафедры**

- Институт металлургии, машиностроения и материаловедения
- Институт горного дела и транспорта
- Институт энергетики и автоматизированных систем
- Институт дополнительного профессионального образования и кадрового инжиниринга МГТУ «Горизонт»
- Проектная школа

Контакты : единый контакт-центр: +7 800 100 1934, e-mail: mgtu@magtu.ru; приемная комиссия: +7 3519 33 09 39, e-mail: priem@magtu.ru




## WWW.N-GN.RU

# АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ СПОСОБОВ ПРИКЛАДНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СВЕРТОЧНЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ В ГОРНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

*И.В. Артемов, М.Б. Носырев,  
Уральский государственный горный университет, Екатеринбург, Россия*

**Аннотация:** Сверточные нейронные сети являются одним из наиболее широко используемых методов машинного обучения в сфере обнаружения и классификации объектов на изображениях. Они могут быть применены для широкого класса задач, в том числе и в сфере горной промышленности. В статье проанализированы некоторые знаковые примеры того, как сверточные сети могут упрощать и увеличивать качество выполнения задач, связанных с горнодобывающей отраслью.

**Ключевые слова:** горная промышленность, обнаружение месторождений, обнаружение объектов, нейронные сети, машинное обучение, автоматическая классификация ископаемых.

**Благодарности:** Коллектив авторов выражает благодарность преподавательскому и руководящему составу Уральского государственного горного университета.

**Для цитирования:** Артемов И. В., Носырев М. Б. Анализ современных способов прикладного использования сверточных нейронных сетей в горной промышленности // Маркшейдерия и недропользование. 2024. №1. С. 90-94. DOI: 10.56195/20793332\_2024\_1\_90\_94.

## ANALYSIS OF MODERN ENGINEERING APPLICATIONS OF CONVOLUTIONAL NEURAL NETWORKS IN MINING INDUSTRY

*I.V. Artemov, M.B. Nosyrev,  
Ural State Mining University, Yekaterinburg, Russia*

**Abstract:** Currently there are a lot of image recognition tasks, that are being successfully solved by the use of different types of neural networks. In its turn, the leading type of neural networks architecture for mentioned tasks class is convolutional neural network (CNN).

Convolutional neural networks consist of multiple layers with small sets of neurons. Each of the neurons represents a small part of the original image. Combining all sets of neurons in a layer gives us a complete representation of the image. Other layers repeat this algorithm, but work with the same image presented in a different way, allowing the system as a whole to «learn» what the picture ultimately consists of. For example, each of the convolution layers can be responsible for highlighting certain features in the image (contour lines, flat areas, sharp edges).

**Research results.** In this article we present a classification of groups, that reflect main directions of neural networks usage in mining industry. Different examples of implemented real-world use-cases were presented. Some important CNN-algorithm alterations were mentioned and explained.

**Conclusion.** As we can see, many major mining process stages are positively affected by the usage of convolutional neural network. Machine learning algorithms help to find illegal deposits, maintain security and stability while mining and mineral processing goes on. Neural networks are being successfully trained by researchers to work with satellite map pictures, mineral surface photos and plots of signals from various engineering equipment.

It is worth mentioning, that many researchers work for solving similar industry problems, but every time they have to slightly (or drastically) change CNN algorithm details to complete the tasks for the certain material type or certain GIS object type.

**Resume.** The high growth rate of popularity of neural networks in the mining industry was made possible due to many factors. For example, the accumulation of large amounts of digital data (satellite images, dependency graphs, photo and video materials from real-world objects) has made the process of selecting materials for CNN training and testing easier and more efficient.

**Keywords:** mining industry, mineral deposits detection, object detection, neural networks, machine learning, automatic fossil classification.

**Acknowledgment:** The team of authors expresses gratitude to the teaching and management staff of the Ural State Mining University.

**For citation:** : Artemov I.V., Nosyrev M.B. Analysis of modern engineering applications of convolutional neural networks in mining industry. Surveying and subsoil use. 2024;(1):90-94.(In Russ.). DOI: 10.56195/20793332\_2024\_1\_90\_94.

**В** настоящее время множество задач распознавания изображений успешно решаются с использованием различных видов нейронных сетей. В свою очередь лидирующим типом архитектуры построения сетей для данного класса задач является сверточная нейронная сеть (Convolutional Neural Network или CNN).

Сверточные нейронные сети состоят из нескольких слоев с небольшими наборами нейронов. Каждый из нейронов представляет небольшую часть исходного изображения. Объединение всех наборов нейронов на слое в результате дает полное представление изображения. Другие слои повторяют этот алгоритм, но работают с тем же изображением, представленным (описанным) другим способом, позволяя системе в целом изучать то, из чего в итоге состоит картинка.

К примеру, каждый из слоев свертки может отвечать для выделения определенных признаков в изображении (линий-контуров, плоских участков, резких краев). В обобщенном виде функция свертки исходного изображения  $X$  с ядром свертки  $g$  (матрица коэффициентов размером  $2K+1$  на  $2L+1$ ) может быть записана так:

$$(X \times g)[m, n] = \sum_{k=-K}^K \sum_{l=-L}^L f[m-k, n-l] \times g[k+K, l+L].$$

История применения CNN в машинном обучении началась в ранних 1980-х, но только в 2010-х исследователи смогли добиться по-настоящему высоких результатов в решении задач распознавания изображений, что во многом связано с возможностью использования высокопроизводительных видеоадаптеров для тренировки и запуска CNN. Нарастание объема баз данных с готовыми наборами изображений для тренировки и тестирования нейронных сетей также позволили улучшить ситуацию.

Как результат, сверточные нейронные сети стали успешно помогать людям в решении все большего многообразия прикладных задач.

#### Цель исследований

Выделить и описать области горнодобывающей промышленности, которые наиболее сильно были оптимизированы благодаря применению сверточных нейронных сетей за последние несколько лет. Частично обобщить имеющийся опыт по успешному прикладному применению нейронных сетей в данной отрасли.

#### Материал и методы исследований

В данной работе были найдены и проанализированы относительно новые публикации по горнодобывающей тематике, в которых делался акцент на полезном эффекте от применения нейронных сетей в данной отрасли. Предпочтение отдавалось материалам, в которых описывалась конкретная разновидность нейросетевых алгоритмов — сверточные нейронные сети (как один из основных модулей, применяющийся в современном компьютерном зрении).

В результате удалось выделить несколько логических групп применений CNN в горном деле: многие авторы находят нейросети полезными при анализе карт, обработке фотоматериалов о добываемых породах, а также при навигации техники на местах добычи.

#### Результаты исследований

##### *Сверточные сети для обнаружения объектов горной промышленности на карте*

Нейронные сети часто используются для обработки данных геоинформационных систем (ГИС) [1-3]. Обнаружение

и анализ геообъектов, относящихся к горнодобывающей отрасли, также успешно осуществляются с помощью этого инструмента.

Например, авторы [4] успешно использовали сверточную нейронную сеть для обнаружения заброшенных шахт, использовавшихся для добычи золота в I-III веках нашей эры. Алгоритм был натренирован таким образом, чтобы анализировать снимки с дронов и обнаруживать элементы ландшафта, которые в прошлые века с большой вероятностью размещались неподалеку от всех шахт. Из-за высокой угрозы обрушения поиск таких объектов является важной задачей.

Авторы [5] представляют систему, в которой CNN используется для обнаружения нелегально разрабатываемых угольных шахт открытого типа. Система анализирует спутниковые снимки из открытого источника Sentinel-2 (для подготовки обучающих данных был использован тот же источник). В качестве особенности своего алгоритма авторы называют присутствие второго сверточного слоя. В работе [6] также описан процесс поиска угольных шахт (не обязательно нелегальных) на спутниковых снимках, но найденные объекты анализируются с точки зрения плотности их размещения для последующей оценки интенсивности выбросов СН4 (метана) в атмосферу.

Похожие цели преследуют авторы [7], обнаруживая при помощи сверточной сети кустарные места разработки полезных ископаемых на территории Западной Африки. Здесь подробно рассказано о методе подбора обучающих изображений, были проанализированы снимки 6 миллионов гектаров на протяжении четырех лет, с разбиением по 1 году.

В упомянутых выше работах основным источником данных для обучения нейросети и итогового анализа являются спутниковые снимки. В работе [8] предложен концептуально иной подход к георазведке с применением искусственного интеллекта — нейросеть анализирует аномалии в графике напряженности электрического поля на местности и тем самым прогнозирует вероятность присутствия в грунте углеводородных залежей.

В работе [9] используется модифицированная нейронная сеть (используется термин «semisupervised» — «частично контролируемая») для построения приближенной трехмерной модели скважины на основе небольшого числа входных параметров (географические координаты, толщина верхних слоев грунта, модели уже просчитанных близлежащих скважин).

##### *Нейронные сети для анализа качества и определения типов добываемых пород*

CNN отлично подходят для анализа фотоматериалов, в большом объеме получаемых при контроле качества добытых пород, а также при начальном изучении месторождений.

К примеру, в работе [10] описана методология разработки и применения сверточной сети, способной анализировать изображения срезов породы и логически отделять области с углем от областей с обыкновенной каменной текстурой. Авторы отмечают, что лучшие результаты показала модель, у которой был искусственно устранен эффект перетренировки (к значениям слишком высоких весовых коэффициентов применялась специальная функция модификации их стоимости).

Улучшение уже функционировавшей на то время системы автоматизации задач нефтегазовой и рудной отраслей

под названием DeepCore реализовали авторы [11]. Сверточная сеть, подключенная к ПО, ускорила процесс распознавания конкретного вида добытой породы примерно в 20 раз. Основное ускорение было достигнуто за счет обучения с аугментацией (т. е. для обучения нейронной сети используются не только реальные данные, но и алгоритмически модифицированные изображения).

В работе [12] описывается достаточно большой перечень производственных моментов цикла «Mine to Mill» (M2M, «от добычи до обработки» — подход к совместной работе специалистов разных этапов добычи пород), в которых успешно использовано машинное обучение. К примеру, нейронные сети помогают анализировать размер гранул материалов (гранулометрия) для автоматического выявления нежелательных крупных фракций материалов. Одна из систем производственных систем имеет возможность распознавания металлических осколков, возникающих при износе добывающего оборудования, на производственную линию.

Авторы [13] приводят результаты применения CNN в задачах построения литологических моделей горных пород, т. е. автоматического создания трехмерной карты с контурами разных типов пород на анализируемом участке недр. Результатом работы нейросети является модель месторождения, состоящая из элементарных блоков. Об успешном создании подобной системы, составляющей «атомарную» модель распределения полезных ископаемых на участках рудного тела, говорится и в работе [14].

В работе [15] авторы используют нейронную сеть для анализа состояния резервуаров с нефтью (в работе «резервуаром» называется «капсула» из каменной породы, которая и составляет нефтяное месторождение). В качестве показателей для анализа и обучения использовалась насыщенность хранимого вещества, пористость материала стенок, тип материала стенок (анализировались две породы: песчаник и известковая глина).

#### **Сверточные сети для анализа безопасности добычи и транспортировки**

Достаточно много работ посвящено еще одному популярному применению CNN — анализу закономерностей и аномалий во временных рядах.

Так, в работе [16] в общем виде описывается принцип анализа большого количества сигналов тревоги, поступающих от горного оборудования в единицу времени. Нейронная сеть может в целом оценивать состояние оборудования по потоку сигналов, а также прогнозировать вероятное состояние техники в последующие моменты времени. Об улучшенной методике (Process Mining) анализа потока событий при помощи сверточной нейронной сети также говорят авторы [17].

Работа [18] посвящена прогнозированию вероятных микросейсмических явлений в глубоких шахтах (система мониторинга «геостресса»). CNN изучает формы фронтов сейсмических волн (после их визуализации измеряющим прибором) и на основе собранных данных предсказывает возникновение микроударов. В работе [19] также изучается

возможность анализа сейсмических явлений, порожденных процессом добычи полезных ископаемых, посредством CNN. Нейросеть работала с данными, предоставляемыми Сейсмической сетью Южной Калифорнии (SCSN), а затем дополнительно обучалась на сейсмических данных от другого источника.

В работе [20] приводятся данные об успешной разработке нейросетевого алгоритма, позволяющего спрогнозировать состояние магистрального газопровода (вероятный объем повреждений от коррозии) в зависимости от значений нескольких показателей: расстояния до компрессорной станции, уровня кислотности среды грунта и др.

#### **Сверточные сети для навигации подземной и наземной техники**

Применение CNN не ограничивается анализом статичных цифровых изображений и графиков. Современные аппаратные компоненты вполне позволяют сверточным сетям осуществлять обработку видеопотока. Это, в свою очередь, позволяет обнаруживать объекты на видеозаписях, получаемых с регистраторов, устанавливаемых на подвижной георазведывательной и горнодобывающей технике.

В работе [21] приводятся сведения об алгоритме, основанном на CNN, который помогает процессу навигации миниатюрных летательных аппаратов при их перемещении в подземных шахтах (метод был испытан на настоящих подземных объектах в Швеции). В данном случае нейросеть обучалась на двух связанных наборах данных: большой объем реальных фотографий подземных тоннелей, к каждой из которых прикреплялась заранее просчитанная «карта глубины». В результате аппарат учился строить приблизительную карту глубины в реальном времени и избегать столкновений с препятствиями.

Авторы [12] в своей работе демонстрируют снимок из интерфейса нейросетевой системы, способной классифицировать образцы техники (самосвалы, погрузчики, бурильные установки), находящиеся в кадре камеры видеонаблюдения в карьере.

#### **Заключение**

В настоящее время нейронные сети находят все большее применение практически во всех отраслях человеческой деятельности. Геологическая разведка, анализ горных пород, оптимизация процессов и обеспечение безопасности функционирования при добыче не стали исключениями.

Высокие темпы роста популярности нейронных сетей в горной промышленности стали возможными благодаря многим факторам. К примеру, накопление больших объемов цифровых данных (спутниковые снимки, графики зависимостей, фото- и видеоматериалы с реальных разрабатываемых объектов) сделало более легким и эффективным процесс подбора материалов для обучения и тестирования CNN. Несмотря на рост стоимости многих полупроводниковых изделий, раздобыть аппаратуру (например, высокопроизводительный видеоадаптер) для тренировки и запуска нейросетевых алгоритмов стало проще. ■

#### **ЛИТЕРАТУРА**

1. Singer, D.A. Use of a neural network to integrate geoscience information in the classification of mineral deposits and occurrences / D.A. Singer, R. Kouda // *Geophysics and Geochemistry at the Millenium, Abstracts*. - Canada, 1997. - С. 127-134.
2. Brown, W. Artificial Neural Networks: A New Method for Mineral Prospectivity Mapping / W. Brown, T. Gedeon, D.I. Groves // *Australian Journal of Earth Sciences*. - 2000. - Vol. 47, № 4. - С. 757-770.

3. Замай, С.С. Нейронные сети и ГИС // Основы геоинформатики: Учеб. пособие / С.С. Замай, В.А. Охонин, О.Э. Якубайлик. - М.: Академия, 2004. - С. 255-266.
4. Fernandez-Alonso, D. Convolutional neural networks for accurate identification of mining remains from UAV-derived images / D. Fernandez-Alonso, J. Fernandez-Lozano, M. Garcia-Ordas // *Applied Intelligence*. - 2023. - Vol. 53. - P. 211-225.
5. Liy, Y. A lightweight convolutional neural network based on dense connection for open-pit coal mine service identification using the edge-cloud architecture / Y. Liy, J. Zhang // *Journal of Cloud Computing: Advances, Systems and Applications*. - Vol. 12. - P. 32-47.
6. Madhuanad, L. A Deep convolutional neural networks for surface coal mines determination from sentinel-2 images / L. Madhuanad, P. Sadavarte, J. Visschedijk // *European Journal of Remote Sensing*. - 2021. - Vol. 54, № 1. - P. 296-309.
7. Gallwey, J. A Sentinel-2 based multispectral convolutional neural network for detecting artisanal small-scale mining in Ghana: Applying deep learning to shallow mining / J. Gallwey, C. Robiati, J. Coggan // *Remote Sensing of Environment*. - 2020. - Vol. 248. - P. 415-439.
8. Янкушевич, В.Ф. Использование нейронных сетей в геоэлектроразведке на основе метода регистрации границ углеводородных залежей по аномальным изменениям напряжённости электрического поля на двух частотах / В.Ф. Янкушевич, Т.А. Алексеева // Актуальные проблемы физики, электроники и энергетики: Сб. статей I Межд. науч.-практ. конф. (Новополоцк, 27-28 окт. 2022 г.). - Новополоцк, 2023. - С. 124-127.
9. GeoPDNN: A Semisupervised Deep Learning Neural Network Using Pseudolabels for Three-dimensional Urban Geological Modelling and Uncertainty Analysis from Borehole Data / J. Guo, X. Xu, X. Wang [et al.] // *Geoscientific Model Development. Discussions*. - 2023. - Vol. 11. - P. 220-241.
10. A Deep Convolutional Neural Network Model for Intelligent Discrimination between Coal and Rocks in Coal Mining Face / L. Si, X. Xiong, Z. Wang, C. Tan // *Mathematical Problems in Engineering [Electronic Resourse]*. - 2020. - P. 115-127. URL: <https://www.hindawi.com/journals/mpe/2020/2616510/>
11. Core box image recognition and its improvement with a new augmentation technique / E.E. Baraboshkin, A.E. Demidov, D.M. Orlov, D.A. Korotev // *Computers & Geosciences*. - 2022. - Vol. 162. - P. 1034-1038.
12. Андреева, Е. Инновации для горной промышленности / Е. Андреева // *Control engineering Russia*. 2023 [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://www.reksoft.ru/blog/2023/08/28/mining-innovations/> (дата обращения: 30.11.2023).
13. Мельниченко, И.А. Пространственное районирование месторождений полезных ископаемых / И.А. Мельниченко, Ю.В. Кириченко // Горный информационно-аналитический бюллетень. - 2021. - № 4. - С. 46-56.
14. Земскова, К. Нейросеть поможет искать полезные ископаемые / К. Земскова // *InScience*. - 20.09.2023. [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://inscience.news/ru/article/russian-science/14336> (дата обращения: 30.11.2023).
15. Malvic, T. Neural networks in petroleum geology as interpretation tools / T. Malvic, J. Velic, J. Horvath // *Central European Geology*. - 2010. - Vol. 53, № 1. - P. 97-115.
16. Ибраева, Н. Анализ сферы применения нейронных сетей в горных машинах / Н. Ибраева // *Горное оборудование и электромеханика*. - 2021. - № 6 (158). - С. 21-25.
17. Obodoekwe, E. Convolutional Neural Networks in Process Mining and Data Analytics for Prediction Accuracy / E. Obodoekwe, X. Fang, K. Lu // *Electronics*. - (нет года). -Vol. 11. - P. 2128-2141.
18. Dong, L. Discrimination of mining microseismic events and blasts using convolutional neural networks and original waveform / L. Dong, Z. Tang, X. Li // *J. Cent. South University Technologies*. - 2020. - T. 27. - C. 3078-3089.
19. Johnson, S.W. Application of a convolutional neural network for seismic phase picking of mining-induced seismicity / S.W. Johnson, D.J. Chambers, M.S. Boltz // *Geophys J Int*. - 2021. - Vol. 224, № 1. - P. 230-240.
20. Хасанов, И.И. Обзор применения нейросетей в области добычи и транспорта нефти и газа / И.И. Хасанов, З.Р. Хасанова, Р.А. Шакиров // *Транспорт и хранение нефтепродуктов*. - 2022. - №3-4. - С. 11-15.
21. Mansouri, S.S. Vision-based MAV Navigation in Underground Mine Using Convolutional Neural Network / S.S. Mansouri, P. Karvelis, C. Kanellakis // *IECON 2019 - 45th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society, Lisbon, Portugal*. - Lisbon, 2019. - P. 750-755.

## REFERENCES

1. Singer D.A, Kouda R. Use of a neural network to integrate geoscience information in the classification of mineral deposits and occurrences. *Geophysics and Geochemistry at the Millenium, Abstracts*. 1997:127-134.
2. Brown W., Gedeon T., Groves D.I. Artificial Neural Networks: A New Method for Mineral Prospectivity Mapping // *Australian Journal of Earth Sciences*, v. 47, № 4, 2000, p. 757-770.
3. Zamay SS, Ohonin VA, Yakubaylik OE Neural Networks and GIS // *Tutorial Basics of Geoinformatics*. Moscow, 2004: 255-266. (In Russ).
4. Fernandez-Alonso D, Fernandez-Lozano J, Garcia-Ordas M. Convolutional neural networks for accurate identification of mining remains from UAV-derived images. *Applied Intelligence*. 2023;53:211-225.
5. Liy Y, Zhang J. A lightweight convolutional neural network based on dense connection for open-pit coal mine service identification using the edge-cloud architecture. *Journal of Cloud Computing: Advances, Systems and Applications*. 12:32-47.
6. Madhuanad L, Sadavarte P, Visschedijk J. Deep convolutional neural networks for surface coal mines determination from sentinel-2 images. *European Journal of Remote Sensing*. 2021;54(1):296-309.
7. Gallwey J, Robiati C, Coggan J. A Sentinel-2 based multispectral convolutional neural network for detecting artisanal small-scale mining in Ghana: Applying deep learning to shallow mining. *Remote Sensing of Environment*. 2020;248:415-439.
8. Yankushevich VF, Alekseeva TA. Research of neural networks in geoelectroprospecting based on a method of edge registration of hydrocarbon deposits by anomaly changes in electric field strength at two frequencies. Actual problems of physics, electronics and energetics. *Collection of articles of the I International Scientific and Practical Conference*. Novopolotsk, 2023:124-127.

9. Guo J, Xu X, Wang X. GeoPDNN: A Semisupervised Deep Learning Neural Network Using Pseudolabels for Three-dimensional Urban Geological Modelling and Uncertainty Analysis from Borehole Data. *Geoscientific Model Development. Discussions*. 2023;11:220-241.
10. Si L, Xiong X, Wang Z et al. A Deep Convolutional Neural Network Model for Intelligent Discrimination between Coal and Rocks in Coal Mining Face. *Mathematical Problems in Engineering*. 2020. Available from: <https://www.hindawi.com/journals/mpe/2020/2616510/>.
11. Baraboshkin E.E, Demidov AE, Orlov DM et al. Core box image recognition and its improvement with a new augmentation technique. *Computers & Geosciences*. 2022;162:1034-1038.
12. Andreeva E. Innovations for the mining industry. *Control engineering Russia*. 2023. Available from: <https://www.reksoft.ru/blog/2023/08/28/mining-innovations/> (In Russ).
13. Melnichenko IA, Kirichenko UV. Spatial zoning of mineral deposits. *GIAB. Mining information and analytical bulletin*. 2021; 4:46-56. (In Russ).
14. Zemskova K. Neural network will help you search for minerals. *InScience*. 20.09.2023. Available from: <https://inscience.news/ru/article/russian-science/14336> (In Russ).
15. Malvic T, Velic J, Horvath J. Neural networks in petroleum geology as interpretation tools. *Central European Geology*. 2010;53(1):97-115.
16. Ibraeva N. Analysis of the scope of application of neural networks in mining machines. *Mining equipment and electromechanics*. 2021;6(158):21-25. (In Russ).
17. Obodoekwe E, Fang X, Lu K. Convolutional Neural Networks in Process Mining and Data Analytics for Prediction Accuracy. *Electronics*. 11:2128-2141.
18. Dong L, Tang Z, Li X. Discrimination of mining microseismic events and blasts using convolutional neural networks and original waveform. *J. Cent. South University Technologies*. 2020;27:3078-3089.
19. Johnson SW, Chambers DJ, Boltz MS. Application of a convolutional neural network for seismic phase picking of mining-induced seismicity. *Geophys J Int*. 2021;224(1):230-240.
20. Hasanov II., Hasanova ZR., Shakirov RA. Review of the use of neural networks in the field of oil and gas production and transport. *Transport and storage of petroleum products*. 2022;3(4):11-15.
21. Mansouri SS., Karvelis P., Kanellakis C. Vision-based MAV Navigation in Underground Mine Using Convolutional Neural Network. *IECON 2019 – 45th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society*. Lisbon, 2019:750-755.

## ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ



**Артемов Иван Владимирович:**  
специалист,  
аспирант направления «Искусственный интеллект  
и машинное обучение» УГГУ,  
Уральский государственный горный университет,  
г. Екатеринбург, Россия,  
Scopus Author ID: 57022242500,  
e-mail: imperfect-post@yandex.ru

## INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

**Artemov Ivan Vladimirovich:**  
specialist,  
postgraduate student,  
direction of Artificial Intelligence and Machine  
Learning,  
Ural State Mining University,  
Yekaterinburg, Russia,  
Scopus Author ID: 57022242500,  
e-mail: imperfect-post@yandex.ru



**Носырев Михаил Борисович:**  
доктор технических наук,  
профессор,  
Уральский государственный горный университет,  
г. Екатеринбург, Россия,  
Scopus Author ID: 57194022210,  
e-mail: nosyrev.mb@mail.ru

**Nosyrev Mikhail Borisovich:**  
PhD (technical sciences),  
professor,  
Ural State Mining University,  
Yekaterinburg, Russia,  
Scopus Author ID: 57194022210,  
e-mail: nosyrev.mb@mail.ru

## КРИТЕРИИ АВТОРСТВА / CONTRIBUTION:

Авторы заявляют о равном вкладе в работу над статьей. / The authors declare an equal contribution to the work on the article.

## КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ / CONFLICT OF INTEREST:

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов. / The authors declare no conflict of interest.



## РАКИШЕВ БАЯН РАКИШЕВИЧ к 90-летию со Дня рождения

15 марта 2024 года исполняется 90 лет со дня рождения и 70 лет трудовой, научной, педагогической и организационной деятельности крупного советского и казахстанского ученого, действительного члена Национальной академии наук Республики Казахстан, академика Академии горных наук России, доктора технических наук, профессора Казахского национального исследовательского технического университета им. К.И. Сатпаева Баяна Ракишевича Ракишева.

После окончания с отличием Казахского горно-металлургического института с 1957 по 1965 г. работал на Коунрадском руднике Балхашского горно-металлургического комбината в должностях начальника смены, начальника взрывного цеха и карьера. В 1964 г. без отрыва от производства успешно защитил кандидатскую диссертацию.

В 1965 году Б.Р. Ракишев перешел в Казахский политехнический институт, где с 1966 по 2016 гг. работал доцентом, профессором, заведующим кафедрой теоретической механики, заведующим кафедрой от-

крытых горных работ, по совместительству научным руководителем проблемной лаборатории новых физических методов разрушения горных пород и отраслевой лаборатории технологии буровзрывных работ.

С 1967 по 1974 год Б.Р. Ракишев — декан факультета Автоматики и Вычислительной техники, в 1980-1985 гг. — проректор, а в 1985-1992 гг. — ректор Казахского политехнического института им. В.И. Ленина.

Он внес большой вклад в дальнейшее развитие института, расширение его материально-технической базы, укрепление связи с производством и наукой. В эти годы КазПТИ им. В.И. Ленина стал одним из ведущих высших учебных заведений СССР.

Модернизируя гипотезу поэтапного разрушения горных пород взрывом сферического заряда ВВ, Баян Ракишевич создал стройную теорию разрушения реального массива горных пород действием взрыва цилиндрического заряда ВВ. Впервые в горной науке и горном деле разработал аналитические методы определения параметров расположения зарядов во взрывае-мой части массива пород, гранулометрического состава и размещения разнородных пород в развале, основанные на учете предельного радиуса взрывной полости — фундаментального эффекта взрыва в твердой среде, удачно связывающего исходные данные взрыва (физико-технические свойства массива пород, энергетические характеристики ВВ и т.д.) с его конечными результатами (кусковатостью, размещением различных частей уступа в развале взорванных пород). На их базе созданы автоматизированные системы проектирования параметров расположения зарядов в массиве пород, прогнозирования гранулометрического состава взорванной горной массы и размещения разнородных пород в развале, и их программы «Грансостав естественных отдельностей массива пород», «Рациональные параметры БВР», «Грансостав взорванной породы», «Размещение разнородных пород в развале», позволяющие оперативно управлять конечным результатом взрыва в любых производственных условиях.

Разработанные математические модели стабилизации качества многокомпонентной руды для оперативного управления внутрикарьерным усреднением и состоянием минерального сырья на каждом из этапов его переработки способствуют совершенствованию экономически эффективных технологий добычи и переработки полезных ископаемых.

Научными работами, выполненными на высоком теоретическом уровне и оригинальными практическими разработками, получившими признание горной общественности, академик Б.Р. Ракишев внес большой вклад в горную науку и промышленность, создал научную школу в области эффективного разрушения массивов пород и разработки полезных ископаемых в режиме их рационального использования недр, подготовил 9 докторов, 30 кандидатов технических наук, 9 докторов PhD, сотни инженеров и магистров.

Академик НАН РК Б.Р. Ракишев является автором около 800 научных и учебно-методических работ, в том числе 15 монографий, 6 аналитических обзоров, 14 учебников и учебных пособий, 50 авторских свидетельств и патентов на изобретения, более 100 статей в изданиях в базе данных Scopus, Web of Science.

За заслуги в области научной, педагогической и организационной деятельности Б.Р. Ракишев награжден орденами Трудового Красного Знамени и «Парасат», шестью медалями СССР и РК, Почетной грамотой Верховного Совета Казахской ССР, удостоен почетного звания «Заслуженный деятель РК», лауреат Республиканской премии им. К.И. Сатпаева.

Баян Ракишевич и сейчас продолжает вести активную научно-исследовательскую и педагогическую деятельность, являясь научным руководителем проектов Министерства науки и высшего образования РК, членом редколлегии научных журналов Казахстана, России, Украины и Узбекистана, публикуется в различных научно-производственных сборниках и изданиях, в том числе, в России. Он всегда желанный автор в журнале «Маркшейдерия и недропользование».

С огромной радостью поздравляем дорогого Баяна Ракишевича с юбилеем и желаем ему доброго здоровья, благополучия, дальнейших творческих успехов, долгих лет жизни и счастья!

*Редколлегия журнала «Маркшейдерия и недропользование», коллеги и друзья.*

# ИТОГИ 16 МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНОЙ ШКОЛЫ МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ И СПЕЦИАЛИСТОВ «ПРОБЛЕМЫ ОСВОЕНИЯ НЕДР В XXI ВЕКЕ ГЛАЗАМИ МОЛОДЫХ»

г. Москва, ИПКОН РАН

23–27 октября 2023 г.

23 октября – 27 октября 2023 года в г. Москве на базе Института проблем комплексного освоения недр им. академика Н.В. Мельникова РАН состоялась

16-я Международная научная школа молодых ученых и специалистов «Проблемы освоения недр в XXI веке глазами молодых», далее Школа.

Организаторы Школы – Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Российская академия наук, Отделение наук о Земле, Научный совет РАН по проблемам горных наук, Научный совет РАН по проблемам обогащения полезных ископаемых, Институт проблем комплексного освоения недр им. академика Н.В. Мельникова РАН, Совет молодых ученых и специалистов ИПКОН РАН.

В работе Школы приняли участие более 150 человек из академических и отраслевых институтов, ВУЗов, горно-обогатительных предприятий России, Китая, Японии, Казахстана, Вьетнама.

Было представлено 128 докладов 200 авторов, из них заслушано 61 доклад, в числе которых 8 пленарных. В работе конференции приняло участие 3 академика, 1 член-корреспондент РАН, 10 докторов наук, 23 кандидата наук, около 60 аспирантов и студентов. Участники осветили последние достижения в области теории и технологии комплексного освоения недр Земли. Представлены результаты новых исследований по таким направлениям, как гидрогеология и инженерная геология, цифровые технологии при недропользовании; проблемы геомеханики и разрушения горных пород и газодинамических явлений, аэрогазопылединамика, геоинформационные технологии; совершенствование техники и технологии освоения месторождений полезных ископаемых; проблемы комплексной переработки природного и техногенного минерального сырья; охрана окружающей среды при недропользовании.

В представленных докладах содержатся современные теоретические и практические подходы к решению указанных проблем, основанные на крупных исследованиях, выполненных за последние годы научными коллективами. Основная часть докладов была заслушана на пяти специализированных секциях. В рамках Школы активные участники и лучшие докладчики были награждены дипломами и ценными призами от организаторов и спонсора конференции. Также для участников Школы были проведены экскурсии по научным лабораториям ИПКОН РАН.

## Решение школы молодых ученых и специалистов

1. Продолжить развитие фундаментальных и прикладных исследований по приоритетным направлениям комплексного освоения и сохранения недр Земли.

2. Расширить сотрудничество Совета молодых ученых и специалистов ИПКОН РАН с молодыми учеными России, Китая, Японии, Казахстана, Вьетнама.

3. Наиболее интересные доклады, отмеченные по результатам работы секций, опубликовать в виде статей в журнале «Маркшейдерия и недропользование».

4. Обратиться с просьбой к редакции журнала «Маркшейдерия и недропользование», в период подготовки к очередной научной школе продолжить на страницах журнала рубрику «Проблемы освоения недр в XXI веке глазами молодых».

5. Провести 17 Международную научную школу молодых ученых и специалистов в октябре–ноябре 2025 г.

6. Отметить высокий уровень подготовки и проведения конференции и вынести благодарность ее организаторам, а также организациям, оказавшим информационную поддержку – журнал «Маркшейдерия и недропользование», Департамент государственной молодежной политики и воспитательной деятельности Минобрнауки России и спонсору конференции ГК Эвобласт.



# КЛЮЧЕВОЕ СОБЫТИЕ ОТРАСЛИ:

в центре внимания, в центре Москвы

НАЦИОНАЛЬНЫЙ  
НЕФТЕГАЗОВЫЙ  
ФОРУМ

[www.oilandgasforum.ru](http://www.oilandgasforum.ru)

23-Я МЕЖДУНАРОДНАЯ ВЫСТАВКА

**НЕФТЕГАЗ-2024**



[www.neftegaz-expo.ru](http://www.neftegaz-expo.ru)

**15–18 апреля 2024**

Москва, ЦВК «ЭКСПОЦЕНТР»



12+

Реклама

МИНИСТЕРСТВО ЭНЕРГЕТИКИ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

 **МИНПРОМТОРГ  
РОССИИ**



РОССИЙСКОЕ  
ГАЗОВОЕ  
ОБЩЕСТВО



**ЭКСПОЦЕНТР**

# MiningWorld Russia

28-я Международная выставка  
машин и оборудования  
для добычи, обогащения  
и транспортировки  
полезных ископаемых

Забронируйте стенд  
**miningworld.ru**



**23–25 апреля 2024**  
**Москва, Крокус Экспо**



ОРГАНИЗАТОР  
ORGANISER

