

0+

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ЖУРНАЛ
SCIENTIFIC, TECHNOLOGICAL AND PRODUCTION JOURNAL

МАРКШЕЙДЕРИЯ И НЕДРОПОЛЬЗОВАНИЕ

Т. 25, №2 Март–Апрель 2025 г.

Vol. 25, №2 March–April 2025

MINE SURVEYING AND SUBSURFACE USE

www.n-gn.ru

ГЕОТЕХНОЛОГИЯ, ГОРНЫЕ МАШИНЫ
МАРКШЕЙДЕРСКОЕ ГЕОТЕХНОЛОГИ,
И ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ MINING MACHINES
ОБЕСПЕЧЕНИЕ ГОРНЫХ РАБОТ
SURVEYING AND GEOLOGICAL
SUPPORT FOR MINING WORKS

МИНЕРАЛЬНО-
СЫРЬЕВЫЕ
РЕСУРСЫ
MINERAL RESOURCES

ГОРНОТЕХНИКА
БЕЗОПАСНОСТЬ
MINING SAFETY
ГЕОМЕХАНИКА
РАЗРУШЕНИЕ
ГОРНЫХ ПОРОД

GEOMECHANICS, ROCK DESTRUCTION



Масштабное событие горной отрасли в России

Рудник

официальная поддержка:



Минпромторг
России



Торгово-промышленная
палата Российской Федерации



Правительство
Свердловской области



НП «Горнопромышленники
России»

22–24 октября 2025
Екатеринбург

10-я международная выставка современных
технологий, оборудования и спецтехники
для горнодобывающей промышленности

принять участие



посетить



МВЦ «Екатеринбург-ЭКСПО»
ЭКСПО-бульвар, дом 2
(342) 206-44-80

mine.proexpo.ru



**pro
ЭХРО**

0+

ISSN 2079—3332
e-ISSN 3034—6835

Научно-технический и производственный журнал



Т. 25, №2
Март—Апрель 2025 г.

Журнал издается с 2001 года



УЧРЕДИТЕЛЬ ЖУРНАЛА
Общество с ограниченной
ответственностью «Издательский дом
«Недропользование и горные науки»

РЕДАКЦИЯ:

Заместитель главного редактора **В. Н. Хетагуров**
Ведущий редактор **Н. А. Федотенко**
Ученый секретарь **Н. А. Милетенко**
Помощник главного редактора **Б. Н. Пашичев**

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 связи, информационных технологий и массовых
коммуникаций. Регистрационный номер 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
ВИНИТИ и в Российский индекс научного цитирования.
Сведения о журнале ежегодно публикуются в международной
справочной системе по периодическим и продолжающимся
изданиям «Ulrich's Periodicals Directory»

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 ООО «Клуб печати»
127018, Москва, 3-ий проезд Марьиной Рощи, д. 40, стр. 1
тел.: +7(929)982-72-82

Тираж 1000 экз.

Свободная цена.

Дата выхода в свет: 05.05.2025

ISSN 2079-3332



24 003



© ООО «Издательский дом «Недропользование
и горные науки», 2025

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР

Ю. В. Дмитрак – д.т.н., проф., зав. отделом «Моделирование и управление горнотехническими системами», ИПКОН РАН, г. Москва, РФ

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

А. А. Барях – академик РАН, д.т.н., проф., руководитель научного направления «Горные науки» центра, ФИЦ Уро РАН, г. Пермь, РФ

В. И. Голик – д.т.н., проф., проф. кафедры «Горное дело», ФГБОУ ВО «СКГМИ (ГТУ)», г. Владикавказ, РФ

В. А. Гордеев – д.т.н., проф., кафедра «Кадастр и Геоинженерия» Кубанского государственного технологического университета, Член центрального Совета Союза маркшейдеров России, г. Краснодар, РФ

В. В. Грицков – вице-президент ООО «Союз маркшейдеров России», г. Москва, РФ

В. Н. Захаров – академик РАН, д.т.н., проф., директор, ИПКОН РАН, г. Москва, РФ

Д. Р. Каплунов – член-корр. РАН, д.т.н., проф., научный руководитель отдела «Теория проектирования и геотехнологии комплексного освоения недр», ИПКОН РАН, г. Москва, РФ

Н. М. Качурин – д.т.н., проф., зав. кафедрой «Геотехнологии и строительство подземных сооружений», ТулГУ, г. Тула, РФ

Р. В. Ключев – д.т.н., проф., зав. кафедрой «Электроснабжение промышленных предприятий», ФГБОУ ВО «СКГМИ (ГТУ)», г. Владикавказ, РФ

Н. В. Милетенко – д.г.-м.н., проф., ученый секретарь Научно-технического совета, Минприроды РФ, г. Москва, РФ

И. А. Пыталев – д.т.н., проф., директор Института горного дела и транспорта, МГТУ им. Г.И. Носова, г. Магнитогорск, РФ

К. Н. Трубецкой – академик РАН, д.т.н., проф., советник президиума РАН, ИПКОН РАН, г. Москва, РФ

М. А. Тюленев – к.т.н., доц., зав. кафедрой «Открытые горные работы», КузГТУ, г. Кемерово, РФ

В. А. Чантурия – академик РАН, д.т.н., проф., научный руководитель отдела «Проблемы комплексного извлечения минеральных компонентов из природного и техногенного сырья», ИПКОН РАН, г. Москва, РФ

МЕЖДУНАРОДНАЯ РЕДКОЛЛЕГИЯ

С. Б. Вуйич – проф., доктор наук, действительный член Академии инженерных наук Сербии, г. Белград, Сербия

И. Гобани – д.т.н., проф. химии материалов и биогидрометаллургии, Факультет естественных наук, Колледж здравоохранения и естественных наук, Линкольнский университет, Великобритания

К. Дребенштедт – проф., доктор наук, кафедра «Открытые горные работы», Технический университет Горной академии Фрайберга, Германия

Ю. Д. Каплунов – проф., д.физ.-мат.н., Школа компьютерных наук и математики, Кильский университет, г. Ньюкасл-андер-Лайм, Великобритания

А. И. Осокин – доктор наук, Инженер-геотехник, рудник «Золотая роща», 29Metals, Западная Австралия

Н. Б. Рыспанов – д.т.н., Президент Национальной Академии Горных Наук Казахстана, Президент Горнопромышленного союза Казахстана, Казахстан

Л. Хуанг – проф., доктор наук, Китайский университет горного дела и технологий, Председатель Международного общества маркшейдеров, Китай

В. Т. Хунг – проф., доктор наук, строительный факультет, кафедра «Подземного и шахтного строительства», Ханойский горно-геологический университет, Вьетнам

М. Цехлар – д.т.н., проф., декан, факультет горного дела, экологии, управления технологическими процессами и геотехнологий, Технический университет Кошице, Словакия

И. К. Чунуев – к.т.н., Президент Кыргызской горной ассоциации и маркшейдерии, член Правления Евразийского Общества Экспертов Недропользователей, КГТУ им. И. Раззакова, г. Бишкек, Кыргызстан

Б. Эрбаш – проф., доктор наук, кафедра математики, Эскишехирский технический университет, Турция

РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

И. И. Айнбиндер – д.т.н., проф., г.н.с., отдел «Теория проектирования и геотехнологии комплексного освоения недр», ИПКОН РАН, г. Москва, РФ

А. А. Добрынин – к.т.н., в.н.с., отдел «Проблемы геомеханики и разрушения горных пород», ИПКОН РАН, г. Москва, РФ

Г. В. Калабин – д.т.н., проф., г.н.с., отдел «Горная экология», ИПКОН РАН, г. Москва, РФ

С. Б. Кулибаба – д.т.н., проф., в.н.с., лаборатория «Многофазных процессов в массивах горных пород при разработке месторождений», ИПКОН РАН, г. Москва, РФ

Ф. К. Низаметдинов – д.т.н., проф., зав. кафедрой «Маркшейдерское дело и геодезия», КарТУ имени Абылкаса Сагинова, г. Караганда, Республика Казахстан

М. Б. Носырев – д.т.н., проф., кафедра «Информатики», Уральский государственный горный университет, г. Екатеринбург, РФ

В. Н. Одинцев – д.т.н., в.н.с., центр проблем метана и газодинамических явлений угольных и рудных месторождений, ИПКОН РАН, г. Москва, РФ

А. А. Хорешок – д.т.н., проф., научный руководитель Горного института, КузГТУ, г. Кемерово, РФ

Ю. Ян – доц., Школа наук об окружающей среде и пространственной информатики, Китайский горно-технологический университет, г. Сюйчжоу, Китай

ISSN 2079–3332
e-ISSN 3034–6835

Scientific, Technological and Production Journal



Vol. 25, №2
March–April 2025

journal has been published since 2001



FOUNDER OF THE JOURNAL
**PUBLISHING HOUSE MINERALS
MANAGEMENT AND MINING SCIENCES,**
LIMITED LIABILITY COMPANY

EDITORIAL OFFICE:

Deputy Editor-in-Chief **V. N. Khetagurov**

Lead Editor **N. A. Fedotenko**

Scientific secretary **N. A. Miletenko**

Assistant Editor-in-Chief **B. N. Pashichev**

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 Communications, Information Technology and Mass Media.

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

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 Subsurface Use» required

Printed by LLC «Printing Club»

127018, Moscow

phone: +7(929)982-72-82

Covering - 1000 copies.

Free price.

Release date: 05.05.2025

ISSN 2079-3332



24 003



© Publishing House Minerals Management
and Mining Sciences, LLC, 2025

EDITOR-IN-CHIEF

Yuri V. Dmitrak - Dr. Sci. (Eng.), Prof., Head of the Department of Modeling and Management Mining Systems, Institute of Comprehensive Exploitation of Mineral Resources RAS, Moscow, Russian Federation

EDITORIAL BOARD

Alexander A. Baryakh - Academician of the RAS, Dr. Sci. (Eng.), Prof., Head of the scientific direction Mining Sciences of the center, Mining Institute, Ural Branch, RAS, Perm, Russian Federation

Vladimir I. Golik - Dr. Sci. (Eng.), Prof., Professor of the Mining Department, North-Caucasian Institute of Mining and Metallurgy (State Technological University), Vladikavkaz, Russian Federation

Victor A. Gordeev - Dr. Sci. (Eng.), Prof., Department of Cadastre and Geoengineering of Kuban State Technological University, Member of the Central Council of the Union of Surveyors of Russia, Krasnodar, Russian Federation

Victor V. Gritskov - Vice-President of the Union of Surveyors of Russia, Moscow, Russian Federation

Valery N. Zakharov - Academician of the RAS, Dr. Sci. (Eng.), Prof., Director, Institute of Comprehensive Exploitation of Mineral Resources RAS, Moscow, Russian Federation

David R. Kaplunov – Corresponding Member of the RAS, Dr. Sci. (Eng.), Prof., Scientific Director of the Department of Design Theory and Geotechnology of Integrated Subsoil Development, Institute of Comprehensive Exploitation of Mineral Resources RAS, Moscow, Russian Federation

Nikolay M. Kachurin – Dr. Sci. (Eng.), Prof., Head of the Department of Geotechnologies and Construction of Underground Structures, Tula State University, Tula, Russian Federation

Roman V. Klyuev – Dr. Sci. (Eng.), Prof., Head of Department Power Supply of Industrial Enterprises, North-Caucasian Institute of Mining and Metallurgy (State Technological University), Vladikavkaz, Russian Federation

Nikolay V. Miletenko - Dr. Sci. (Geol. Mineral.), Prof., Scientific Secretary of the Scientific and Technical Council, Ministry of Natural Resources and Environment of the Russian Federation, Moscow, Russian Federation

Ivan A. Pytalev – Dr. Sci. (Eng.), Director of the Institute of Mining and Transport, Nosov Marnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russian Federation

Kliment N. Trubetskoy – Academician of the RAS, Dr. Sci. (Eng.), Prof., Advisor to the Presidium of the RAS, Institute of Comprehensive Exploitation of Mineral Resources RAS, Moscow, Russian Federation

Maxim A. Tylenov – Cand. Sci. (Eng.), Ass. Prof., Head of the Department of Open-pit Mining, T.F. Gorbachev State Technical University, Kemerovo, Russian Federation

Valentin A. Chanturia - Academician of the RAS, Dr. Sci. (Eng.), Prof., Scientific Director of the Department of Problems of complex extraction of mineral components from natural and man-made raw materials, Institute of Comprehensive Exploitation of Mineral Resources RAS, Moscow, Russian Federation

INTERNATIONAL EDITORIAL BOARD

Slobodan B. Vujčić - Professor, Dr. Sci., Full member of the Academy of Engineering Sciences of Serbia, Belgrade, Serbia

Yousef Ghorbani – Ph.D., Professor in Materials Chemistry and Bio-Hydrometallurgy, School of Natural Science, College of Health and Science, University of Lincoln, United Kingdom

Carsten Drebenstedt - Professor, Dr. Sci., Chair Surface Mining, Technical University Mining Academy Freiberg, Germany

Julius D. Kaplunov – Professor, Dr. Sci. in Theoretical Solid Mechanics, School of Computer Science and Mathematics, Keele University, United Kingdom

Alexander A. Osokin - Dr. Sci., Geotechnical Engineer, Golden Grove, Operations Pty Ltd, 29Metals, Western Australia

Nurlan B. Ryspanov - Dr. Sci. (Eng.), President of the National Academy of Mining Sciences of Kazakhstan, President of the Kazakhstan Mining Union, Kazakhstan

Leting Huang – Professor, Dr. Sci., China University of Mining and Technology, Chair of the International Society for Mine Surveying, China

Vo Trong Hung - Professor, Dr. Sci., Faculty for Construction, Department for Underground and Mines Construction, Hanoi University of Mining and Geology, Vietnam

Michal Cehlar - Dr. Sci. (Eng.), Prof., Dean, Faculty of Mining, Ecology, Process Control and Geotechnologies, Technical University of Kosice, Slovakia

Ishimbay K. Chunuev – PhD in Technical Sciences, President of the Kyrgyz Mining Association and Surveying, Member of the Board of the Eurasian Society of Experts of Subsoil Users, Kyrgyz State Technical University named after I. Razzakov, Kyrgyzstan

Baris Erbas – Professor, Dr. Sci., Department of Mathematics, Eskisehir Technical University, Turkey

EDITORIAL COUNCIL

Igor I. Ainbinder - Dr. Sci. (Eng.), Prof., Chief Researcher of the Department of Design Theory and Geotechnology of Integrated Subsoil Development, Institute of Comprehensive Exploitation of Mineral Resources RAS, Moscow, Russian Federation

Alexander A. Dobrynin - Cand. Sci. (Eng.), Senior Researcher at the Department of Geomechanics and Rock Destruction, Institute of Comprehensive Exploitation of Mineral Resources RAS, Moscow, Russian Federation

Gennady V. Kalabin - Dr. Sci. (Eng.), Prof., Chief Researcher of the Department of Mountain Ecology, Institute of Comprehensive Exploitation of Mineral Resources RAS, Moscow, Russian Federation

Sergey B. Kulibaba - Dr. Sci. (Eng.), Prof., Leading Researcher Laboratory of Multiphase processes in rock formations during field development, Institute of Comprehensive Exploitation of Mineral Resources RAS, Moscow, Russian Federation

Farit K. Nizametdinov - Dr. Sci. (Eng.), Prof., Head of the Department of Surveying and Geodesy, Abylkas Saginov Karaganda Technical University, Karaganda, Kazakhstan

Mikhail B. Nosyrev - Dr. Sci. (Eng.), Prof., Department of Computer Science, Ural State Mining University, Ekaterinburg, Russian Federation

Vladimir N. Odintsev - Dr. Sci. (Eng.), Leading researcher at the Center for Problems of Methane and Gas Dynamic Phenomena of Coal and Ore Deposits, Institute of Comprehensive Exploitation of Mineral Resources RAS, Moscow, Russian Federation

Alexey A. Khreshchok – Dr. Sci. (Eng.), Prof., Scientific Director of the Mining Institute, T.F. Gorbachev State Technical University, Kemerovo, Russian Federation

Yongjun Yang - Ass. Professor, School of Environment Science and Spatial Informatics, China University of Mining and Technology, China

СОДЕРЖАНИЕ

CONTENTS

ГЕОТЕХНОЛОГИЯ, ГОРНЫЕ МАШИНЫ

Н. Р. Педан, Ю. А. Васянович

Применение гидромонитора при глубоководной
гидродобыче твердых полезных ископаемых
с морского дна

5

А. Р. Тухбатулин, Ю. А. Васянович

Сравнительный анализ качества взрывных работ при
разных методах зарядки в обводненных условиях
(на примере Первореченского месторождения
андезитов)

12

Е. А. Александров

Обзор перспективных систем
мониторинга водоотливных установок при
строительстве подземной части метрополитена

19

Б. А. Ахпашев, А. И. Голованов, И. И. Демченко

Физико-математическое моделирование выпуска
руды под обрушенными породами при отработке
междуэтажных целиков
при этажно-камерной системе разработки

26

М. С. Песочинский, А. Н. Анушенков

Разработка методики контроля уровня
воздухонасыщения закладочных смесей в реальном
времени

33

*Г. М. Дубов, М. Ю. Яцевич,
Д. М. Якобсон, Д. А. Бороненков*

Особенности и перспективы использования сжиженного
природного газа как газомоторного топлива на
автотранспорте

41

МИНЕРАЛЬНО-СЫРЬЕВЫЕ РЕСУРСЫ

Г. С. Мирзеханов, З. Г. Мирзеханова

Организационно-управленческие
проблемы эффективного развития россыпной
золотодобычи: тенденции и варианты решения

53

ГЕОМЕХАНИКА, РАЗРУШЕНИЕ ГОРНЫХ ПОРОД

М. Г. Лупий

Исследование газопроницаемости пород междупластий
после их под- и надработки с учетом геодинамических и
геомеханических факторов

60

МАРКШЕЙДЕРСКОЕ И ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ГОРНЫХ РАБОТ

А. А. Басаргин

Разработка алгоритма создания
стохастической структурной 3D геологической модели с
использованием Марковских процессов

69

GEOTECHNOLOGY, MINING MACHINES

N. R. Pedan, Y. A. Vasyanovich

Application of the hydro-monitor in deep-sea
hydro-mining of solid minerals from the seabed

A. R. Tukhbatulin, Yu. A. Vasyanovich

Comparative analysis of blasting quality under different
charging methods in waterlogged conditions
(on the example of the Pervorechenskoye andesite deposit)

E. A. Aleksandrov

Review of promising monitoring systems for drainage
installations in the construction of the underground part
of the metro

B. A. Akhpashev, A. I. Golovanov, I. I. Demchenko

Physico-mathematical modeling of ore drawing under
collapsed rocks during the development of inter-floor
pillars with a floor-chamber mining system

M. S. Pesochinskiy, A. N. Anushenkov

Development of a methodology for real-time monitoring
of air saturation levels in grouting mixtures

*G. M. Dubov, M. Yu. Yatsevich,
D. M. Yakobson, D. A. Boronenkov*

Peculiarities and prospects for the use of liquefied natural
gas as a gas motor fuel in motor vehicles

MINERAL RESOURCES

G. S. Mirzekhanov, Z. G. Mirzekhanova

Organizational and managerial problems of effective
development of alluvial gold mining: trends, options
for solution

GEOMECHANICS, ROCK DESTRUCTION

M. G. Lupiy

Study of the gas permeability of permeability of rock
interplates after their undermining and overworking, taking
into account geodynamic and geomechanical factors

SURVEYING AND GEOLOGICAL SUPPORT FOR MINING WORKS

A. A. Basargin

Development of an algorithm for creating a stochastic
structural 3D geological model using Markov processes

<i>О. Н. Горбунов, А. О. Дроздов</i> Анализ вопросов аттестации инженерно-технических работников в области промышленной безопасности по разделу Б.6 «Требования по маркшейдерскому обеспечению безопасного ведения горных работ»	<i>O. N. Gorbunov, A. O. Drozdov</i> Analysis of certification issues in the field of industrial safety according to section B.6 «Requirements for surveying for safe mining operations»
<i>В. В. Кушнерчук, В. В. Хаустов, Л. А. Семенова, А. И. Карнюшкин, В. В. Симонян</i> Гидрогеологическое обоснование эффективной работы подземного дренажного комплекса карьера Михайловского ГОКа им. А. В. Варичева	<i>V. V. Kushnerchuk, V.V. Khaustov, L.A. Semenova, A.I. Karnyushkin, V.V. Simonyan</i> Hydrogeological justification of the effective operation of the underground drainage complex of quarry the Mikhailovsky mpp named after A. V. Varichev
ГОРНОТЕХНИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ <i>А. Е. Карванен, А. Н. Анушенков, С. В. Анушенков</i> Анализ влияния автоматизации на безопасность и производительность работ при строительстве подземных горных выработок <i>А. Н. Анушенков, Н. В. Фирсов</i> Обеспечение безопасности проходки горных выработок в сложных горно-геологических условиях	MINING SAFETY <i>A. E. Karvanen, A. N. Anushenkov, S. V. Anushenkov</i> Analyzing the impact of automation on safety and productivity in the construction of underground mine workings <i>A. N. Anushenkov, N. V. Firsov</i> Ensuring the safety of mining operations in difficult mining and geological conditions

ПРИМЕНЕНИЕ ГИДРОМОНИТОРА ПРИ ГЛУБОКОВОДНОЙ ГИДРОДОБЫЧЕ ТВЕРДЫХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ С МОРСКОГО ДНА

Н. Р. Педан^{1✉}, Ю. А. Васянович^{1,2}

¹ФБГОУ ВО «Владивостокский государственный университет», г. Владивосток, Российская Федерация

²ФГАОУ ВО «Дальневосточный федеральный университет», г. Владивосток, Российская Федерация

✉ MyName@nikpedan.ru

Аннотация. Приведены результаты исследований эффективности гидромониторов при глубоководной добыче твердых полезных ископаемых. Установлено, что использование струй воды, под высоким давлением подаваемых по трубопроводам к гидромонитору, значительно облегчает разрушение и извлечение материалов с морского дна. Определено, что конструкция и оптимизация сопла, а также угол наклона струи воды существенно влияют на эффективность добычи. Показано, что применение камуфлетного взрывания в сочетании с эрлифтным подъемом минимизирует воздействие на окружающую среду по сравнению с традиционными методами добычи. Выявлено, что гидромониторы снижают экологический след, связанный с глубоководной добычей, и соответствуют целям устойчивого развития. Проведена оценка инновационных подходов, обеспечивающих минимальное разрушение морских экосистем при максимальном извлечении ресурсов. Представлены преимущества гидромониторов в повышении эффективности добычи, безопасности и экологической устойчивости. Результаты исследований могут быть полезными при разработке операционных протоколов для глубоководной добычи с упором на устойчивые методы, а также для совершенствования технологий, используемых в гидродобыче.

Ключевые слова: гидромонитор, глубоководная добыча, твердые полезные ископаемые, морское дно, камуфлетное взрывание, эрлифт, гидродобыча, размыв породы

Для цитирования: Педан НР, Васянович ЮА. Применение гидромонитора при глубоководной гидродобыче твердых полезных ископаемых с морского дна. *Маркшейдерия и недропользование*. 2025;25(2):5-11. <https://doi.org/10.56195/20793332-2025-25-2-5-11>.

APPLICATION OF THE HYDRO-MONITOR IN DEEP-SEA HYDRO-MINING OF SOLID MINERALS FROM THE SEABED

N. R. Pedan^{1✉}, Y. A. Vasyanovych^{1,2}

¹FSBEI HE «Vladivostok State University», Vladivostok, Russian Federation

²FSAEI HE «Far Eastern Federal University», Vladivostok, Russian Federation

✉ MyName@nikpedan.ru

Abstract. The article presents the results of research on the efficiency of hydro-monitors in deep-sea mining of solid minerals. It is established that the use of high-pressure water jets fed through pipelines to the hydro-monitor significantly facilitates the destruction and extraction of seabed materials. It has been determined that nozzle design and optimisation, as well as the angle of inclination of the water jet significantly affect the extraction efficiency. It is shown that the use of camouflage blasting in combination with erlift minimises environmental impact compared to conventional mining methods. Hydromonitors are found to reduce the environmental footprint associated with deepwater mining and are consistent with sustainable development goals. Innovative approaches that minimise the destruction of marine ecosystems while maximising resource recovery are evaluated. The advantages of hydro-monitors in improving extraction efficiency, safety and environmental sustainability are presented. The results of the research may be useful in developing operational protocols for deep-sea mining with a focus on sustainable practices, as well as for improving the technologies used in hydro-mining.

Keywords: hydromonitor, deep-sea mining, solid minerals, seabed, camouflage blasting, erlift, hydro mining, rock scouring

For citation: Pedan NR, Vasyanovych YA. Application of the hydro-monitor in deep-sea hydro-mining of solid minerals from the seabed. *Mine Surveying and Subsurface Use*. 2025;25(2):5-11. (In Russ.). <https://doi.org/10.56195/20793332-2025-25-2-5-11>.

Введение

Глубоководная добыча твердых полезных ископаемых (ТПИ), таких как руды, минералы и ископаемые, становится все более актуальной в условиях истощения традиционных ресурсов на материковой части нашей планеты.

Добыча ТПИ морского дна представляет собой сложную и многоаспектную задачу, требующую применения передовых технологий и методов [1, 2]. Инновационным методом, предлагаемым автором к изучению, является метод гидродобычи ТПИ из камуфлетной полости, расположенной на морском дне.

Гидравлический способ добычи полезных ископаемых основан на использовании высоконапорных струй воды, которые подаются к гидромонитору по водоводу. Основным инструментом в гидродобыче является устройство под названием «гидромонитор». Он представляет собой механизм, предназначенный для формирования напорной струи воды и ее управления с целью разрушения и смыва угля и горных пород. [3].

Гидравлическое разрушение горных пород – способ разрушения горных пород напорной струей воды. Основным его принципом является нарезка отверстий определенной глубины на некотором расстоянии друг от друга с последующим скалыванием целиков [4].

Цель работы: изучение эффективности применения гидромониторов в процессе гидродобычи твердых полезных ископаемых на морском дне, а также оценка влияния различных технологий, таких как камуфлетное взрывание и эрлифт, на производительность и безопасность гидродобычи.

Задачи исследований: провести сравнительный анализ существующих методов глубоководной добычи, определить и оптимизировать процессы гидродобычи ТПИ на морском дне, оценить экологические последствия.

Новизна работы: внедрение гидромониторной установки в глубоководный гидродобычный комплекс для добычи ТПИ, залегающих в недрах морского дна.

Методы исследований

Использован сравнительный анализ существующих методов глубинной добычи твердых полезных ископаемых, что позволяет определить их эффективность, преимущества и недостатки. Проведены теоретические исследования в области гидродинамики и технологий добычи с акцентом на использование высоконапорных струй воды, методы камуфлетного взрывания и эрлифт. Кроме того, осуществлена оценка экологических последствий, связанная с внедрением новых технологий гидродобычи, что важно для минимизации воздействия на морскую экосистему. Эти методы помогают углубить понимание текущих технологий и наметить пути для их улучшения в контексте глубоководной добычи.

Результаты работы

Результаты работы показывают, что использование гидромониторов в процессе гидродобычи твердых полезных ископаемых на морском дне значительно повышает эффективность и безопасность добычи. Внедрение камуфлетного взрывания в качестве предварительного этапа размыва совместно с эрлифтом позволяет минимизировать негативное

воздействие на морскую экосистему. Оптимизация конструкции сопла и угла атаки струи повышает скорость разрушения материалов и снижает энергозатраты, что делает данный метод устойчивым и более экологически безопасным по сравнению с традиционными подходами. Результаты также указывают на важность применения инновационных технологий в условиях истощения традиционных ресурсов.

Принцип действия гидромонитора в составе гидродобычного комплекса при глубоководной добыче твердых полезных ископаемых на морском дне

Гидромониторы находят широкое применение в различных отраслях, включая строительство, нефтяную и сельскохозяйственную промышленность.

Операции, для которых используются гидромониторы, в контексте глубоководной гидродобычи:

Разрушение и вымывание горных пород. Гидромониторы применяются для разрушения и вымывания горных пород, что позволяет освободить полезные ископаемые.

Фильтрация и разделение. После разрушения пород гидромониторы используются для фильтрации и разделения ценных компонентов от ненужных материалов.

Транспортировка. Размытая порода транспортируется самотеком или с помощью эрлифтных установок, что облегчает процесс добычи.

Гидромониторы являются важными инструментами для добычи ТПИ с морского дна. Они работают по принципу размыва породы с использованием мощных струй воды и обеспечивают высокую эффективность извлечения [5]. Однако перед началом глубоководной гидродобычи часто проводится этап камуфлетного взрывания, который необходим для первоначального дробления породы.

Этапы процесса гидродобычи твердых полезных ископаемых

1. *Камуфлетное взрывание.* Перед использованием гидромониторов производится камуфлетное взрывание. Это контролируемое взрывное воздействие [6], направленное на первоначальное дробление твердой породы без выхода на поверхность морского дна. Это помогает ослабить структурную целостность минеральных залежей, что облегчает последующее размывание. Водостойчивые взрывчатые вещества [7, 8] размещаются в ранее забуренные и «обсаженные» скважины на дне моря в заданных точках, после чего производится взрыв, который создает трещины и разрушает породу, образуя камуфлетную полость.

Этапы взрывания для образования камуфлетной полости отображены на рисунке 1.

2. *Подводная установка гидромонитора.* После завершения этапа камуфлетного взрывания гидромонитор опускается на дно с помощью «материнского» корабля. Гидромонитор, оснащенный сопловой системой, подготавливается к работе и размещается в камуфлетной полости для размыва породы (рис. 2).

Гидромонитор использует высоконапорный поток воды для разрушения и увлечения твердых частиц. Основа маневренности гидромониторной установки в камуфлетной полости для более тщательного размыва взорванной породы взята из патента RU2196062C2 [9].

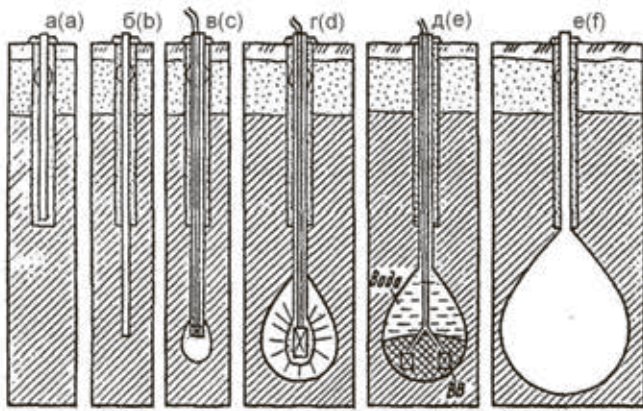


Рис. 1. Этапы камуфлетного взрывания: а – бурение скважины на начальный размер; б – обсадка скважины (цементация затрубного пространства и бурение скважины на конечный размер); в – первый «прострел» скважины; г – второй «прострел» скважины; д – взрыв основного заряда взрывчатого вещества; е – готовое подземное хранилище / **Fig. 1. Stages of camouflage blasting:** а – drilling of the well for the initial size; б – casing of the well (cementation of the annular space and drilling of the well for the final size); в – first “shot” of the well; г – second “shot” of the well; д – explosion of the main explosive charge; е – finished underground storage facility

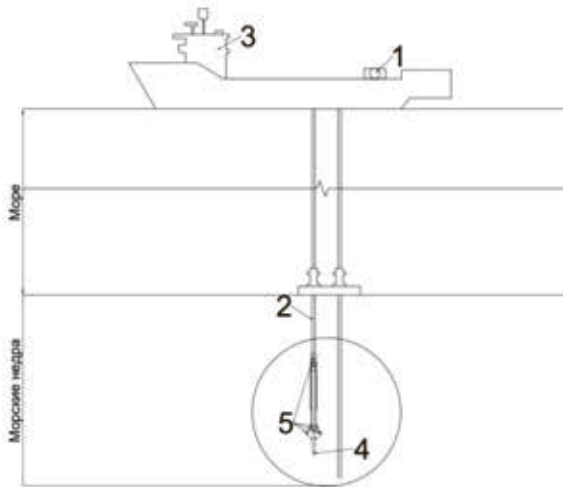


Рис. 2. Устройство глубоководного гидродобычного комплекса / Fig. 2. Deep-water hydro-mining complex design

Основные системы устройства гидродобычного комплекса:

1. **Насос высокого давления.** Гидромонитор оснащен мощным насосом, который создает высокое давление для подачи водной струи. Этот насос может быть центробежным или поршневым, что обеспечивает увеличение скорости и силы водного потока. Насос использует морскую воду и пропускает ее через систему фильтрации для наименьшего износа узлов добычной установки.

2. **Трубопровод.** Система труб, по которым вода подается к гидромонитору.

3. **Системы управления.** Гидромонитор оборудован системой удаленного управления, позволяющей оператору регулировать параметры подачи воды (давление и объем) в реальном времени. Это важно для адаптации к условиям работы на морском дне.

4. **Сопловая система.** Сопло гидромонитора может иметь различные формы и размеры, что позволяет модулировать ширину и мощность водной струи в зависимости от добываемого материала и глубины.

5. **Шарнирные механизмы.** Сопловая система оснащена шарнирными механизмами, обеспечивающими гибкость в маневрировании. Эти механизмы позволяют изменять угол наклона и направление струи, что особенно важно при работе в сложных геологических условиях. Это обеспечивает более тщательное и аккуратное размывание породы и полезных ископаемых.

Функции, делающие гидромонитор эффективным инструментом для глубоководной добычи полезных ископаемых:

1. **Подача воды под высоким давлением.** Насосная система на «материнском» корабле подает воду под высоким давлением к сопловой системе гидромонитора. Когда вода проходит через сопла, она ускоряется и выходит в виде мощной струи.

2. **Размыв породы.** Выходящие струи под высоким давлением размывают и поднимают фрагменты породы и минералов, которые возникли в результате камуфлетного взрывания. Шарнирные механизмы, встроенные в сопловую систему, позволяют оператору изменять угол и направление потока, обеспечивая тщательное размывание с учетом сложности формы и состояния дна.

3. **Подъем и транспортировка.** Размыв создает водный поток со взвешенными частицами (эмульсию), который направляется через трубопровод эрлифтной установки на «материнский» корабль. Достоинствами эрлифтного подъема являются: высокая надежность, приспособленность к автоматизации, возможность применения ступенчатого подъема, возможность применения для подъема крупных фракций породы [3]. На борту осуществляется фильтрация и обработка добытых ТПИ.

4. **Мониторинг и управление.** Система дистанционного управления позволяет оператору контролировать процесс в реальном времени, настраивая параметры потока воды и маневрируя сопловой системой в зависимости от текущих условий работы.

Эффективность гидромонитора при добыче глубоководных твердых полезных ископаемых

Использование высокоскоростной водной струи способно разрушать породы и облегчать извлечение минералов из морского дна. Эффективность гидромониторов зависит от множества факторов, которые можно условно разделить на гидравлические, механические, технологические, экологические и экономические.

Гидравлические параметры

Гидравлические параметры (давление и расход рабочей жидкости) играют решающую роль в эффективности работы гидромониторов. Оптимизация давления позволяет создать струю, способную эффективно разрушать породу. Исследования показывают, что увеличение давления может значительно повысить скорость разрушения материала. В то же время чрезмерное увеличение давления может привести к нежелательным последствиям, таким как эрозия оборудования и увеличение энергозатрат.

Конструкция сопла и угол атаки. Конструкция сопла и угол атаки струи также оказывают ощутимое влияние на эффективность процесса [10]. Сопла различных форм обеспечивают разные профили струи, что может быть критическим для достижения высоких скоростей с минимальными затра-

тами энергии. Угол атаки, с которым струя направлена на поверхность породы, должен быть оптимизирован для максимального воздействия. Теоретические исследования и экспериментальные данные указывают на то, что определенные углы наклона могут значительно повысить эффективность работы гидромонитора.

Свойства размываемых пород. Разнообразие физических и механических свойств пород, залегающих на морском дне и подлежащих добыче, также является важным фактором, определяющим эффективность работы гидромонитора. Различные породы имеют свои характеристики прочности, плотности и абразивности, что требует гибкой настройки параметров работы оборудования [11]. Например, для менее прочных материалов может быть достаточно стандартного режима работы, в то время как для более твердых пород могут потребоваться повышенное давление и специальные технологии.

Технические характеристики оборудования

Компоненты гидромонитора (насосы, трубопроводы и системы управления) определяют уровень потерь, связанных с трением и другими факторами. Техническое состояние и уровень автоматизации оборудования также влияют на его работоспособность и эффективность. Применение современных технологий мониторинга и управления позволяет существенно улучшить координацию систем и уменьшить время простоя за счет своевременного выявления неисправностей.

Преимущества и недостатки гидромонитора

В результате интеграции технологий, описанных выше, образуется система, обладающая рядом существенных преимуществ. Использование камуфлетного взрывания в сочетании с высокооцененными технологиями гидродобычи превращает процесс в высокоэффективный и безопасный метод глубоководной добычи ТПИ.

К преимуществам использования гидромонитора:

1. *Эффективность.* Использование этапов камуфлетного взрывания, размыва взорванной массы гидромонитором и подъема эмульсии при помощи эрлифта позволяет значительно снизить трудозатраты на размыв и увеличить скорость добычи глубоководных ТПИ.

2. *Безопасность.* Дистанционное управление всеми этапами глубоководной добычи минимизирует риски для личного состава.

3. *Гибкость.* Конструкции добычной установки обеспечивают возможность маневрирования в сложных условиях, что улучшает качество добычи глубоководных ТПИ.

Несмотря на очевидные преимущества применения гидромониторов и камуфлетного взрывания в глубоководной гидродобыче, существует несколько значительных недостатков, которые следует учитывать:

1. *Сложность технологии.* Оборудование требует высокой степени точности в настройках и управлении. Необходимость высокого уровня контроля за процессами может привести к увеличению затрат на обучение персонала и поддержание сложного оборудования

2. *Капитальные вложения.* Разработка и внедрение данной технологии требует значительных начальных капиталовложений. Высокая стоимость оборудования и его обслуживания может стать барьером для малых и средних компаний в горнодобывающей промышленности.

Экологические аспекты применения гидромониторов при добыче твердых полезных ископаемых на морском дне

Технологии гидромониторов представляют собой инновационное решение, способное значительно повысить эффективность добычи при минимизации негативного воздействия на морскую экосистему.

Преимущества применения гидромониторов с акцентом на их роли в обеспечении устойчивого развития горной промышленности, снижении энергозатрат и сохранении биоразнообразия:

1. *Минимизация воздействия на экосистему.* Введение камуфлетного взрывания как предварительного этапа размыва в сочетании с эрлифтом в сравнении с другими концептуальными методами добычи глубоководных ТПИ (подводные машины, драги и т. п.) создает метод, который минимизирует воздействие на морскую экосистему [12]. Этот подход позволяет сократить объемы размываемого материала и уменьшить количество взвешенных частиц в воде, что способствует сохранению качества водной среды.

2. *Сохранение биоразнообразия.* Применение гидромониторов может быть интегрировано в стратегии устойчивого развития, которые направлены на сохранение биоразнообразия. Например, использование технологий, минимизирующих разрушение мест обитания, может помочь сохранить экосистемы и поддерживать численность морских видов.

3. *Улучшение контроля за процессами.* Современные технологии мониторинга и управления позволяют более точно контролировать процессы добычи, что снижает риск негативного воздействия на морскую биоту. Это включает в себя использование датчиков и систем автоматизации, которые помогают оперативно реагировать на изменения в условиях окружающей среды.

Сравнительный анализ методов добычи

В таблице представлены методы, наиболее перспективные, на взгляд автора, применяемые для добычи полезных ископаемых на глубине, а также их преимущества и недостатки. Сравнительный анализ этих методов позволяет выявить их эффективность, экономическую целесообразность и влияние на окружающую среду.

Заключение по таблице:

1. Каждый из приведенных методов имеет уникальные преимущества и недостатки, что делает их подходящими для различных условий добычи. Гидродобычный способ выделяется высокой эффективностью и адаптивностью к глубоководным условиям, в то время как проект Solwara-1 предлагает специализированные решения для глубоководных сульфидных месторождений. Кассетный трал в свою очередь обеспечивает универсальность и возможность работы на различных глубинах, но может быть менее эффективным в сложных геологических условиях.

2. Ключевым преимуществом гидродобычного комплекса является минимизация негативного воздействия на окружающую среду и морскую биоту за счет проведения добычных работ без выхода на поверхность.

3. Интеграция гидромонитора в процессы глубоководной морской гидродобычи представляет собой значимую новизну в горной промышленности. Применение данной технологии позволяет значительно повысить эффективность и безо-

**Сравнительный анализ методов глубоководной добычи твердых полезных ископаемых /
Comparative analysis of deepwater extraction methods for TPIs**

Параметр	Гидродобычный комплекс	Кассетный трал [13–15]	Проект Solwara-1 [16, 17]
Эффективность	Позволяет повысить эффективность добычи на больших глубинах благодаря интеграции различных технологий, таких как камуфлетное взрывание и эрлифт	Эффективен для отбора крупнообъемных проб и может быть адаптирован в зависимости от глубины разработки и свойств донных отложений	Обеспечивает высокую степень автоматизации и возможность работы на больших глубинах, что делает его эффективным для добычи в сложных условиях
Безопасность	Предлагает более безопасные методы благодаря минимизации воздействия на морскую экосистему и использованию современных технологий	Безопасность зависит от правильного управления и контроля за процессом, однако может возникнуть риск повреждения оборудования при высоком давлении	Использует дистанционное управление, что снижает риски для операторов, однако работа на больших глубинах всегда сопряжена с определенными опасностями
Экологическое воздействие	Добыча ТПИ без выхода на поверхность морского дна позволяет снизить затраты на восстановление экосистемы благодаря минимизации негативного воздействия. Экономически более выгодный проект	Может вызывать поднятие и перемешивание донных отложений, что приводит к образованию взвеси и потенциальному ухудшению качества воды в районе добычи	Может вызывать значительное перемешивание донных отложений, что приводит к образованию взвеси, которая негативно сказывается на местной экосистеме, затрудняя фотосинтез у водорослей и влияя на морскую фауну
Область применения	Эффективен в условиях сложного рельефа морского дна, включая участки с неровностями и различными геологическими формациями	Эффективен на ровных и стабильных участках морского дна для отбора крупнообъемных проб	Подходит для сложных рельефов с сульфидными месторождениями, использует подводную карьерную технику с дистанционным управлением
Капитальные вложения	Инвестиции в гидромониторы и системы эрлифта могут быть значительными, но они могут компенсироваться за счет высокой производительности	Необходимость в специализированных кассетных ковшах и буксирных судах может привести к высоким первоначальным затратам на оборудование	Высокие капитальные затраты на подводную карьерную технику с дистанционным управлением и вспомогательные системы
Операционные затраты	На эксплуатацию и техническое обслуживание, однако использование современных технологий может снизить затраты на труд и повысить эффективность	Затраты на эксплуатацию и техническое обслуживание оборудования, а также на обучение персонала	Затраты на поддержание работы дистанционно управляемых машин, а также на транспортировку и переработку добытых материалов

пасность добычи твердых полезных ископаемых на больших глубинах.

4. Введение камуфлетного взрывания как предварительного этапа размыва в сочетании с эрлифтом создает уникальный метод, который сочетает в себе высокую производительность и минимизацию воздействия на морскую экосистему. Такой комплексный подход не только соответствует современным требованиям устойчивого развития, но и открывает новые горизонты для горнодобывающей отрасли, подчеркивая важность инновационных решений в условиях возрастающей нагрузки на ресурсы морских экосистем.

Выводы

1. В статье представлены результаты исследований, демонстрирующих эффективность гидромониторов для глубоководной добычи твердых полезных ископаемых. Обсуждаются преимущества оптимизации конструкции сопла и угла атаки струи, что позволяет значительно увеличить скорость разру-

шения породы и снизить энергопотребление. Внедрение камуфлетной взрывной обработки в качестве предварительного этапа очистки в сочетании с эрлифтом позволяет минимизировать негативное воздействие на морскую экосистему.

2. Результаты исследования могут быть полезны при разработке современных технологий гидродобычи, направленных на устойчивое использование морских ресурсов.

3. Полученные данные могут послужить основой для дальнейших исследований в области оптимизации добычи твердых полезных ископаемых и оценки экологических последствий внедрения новых методов в горнодобывающей промышленности. Эффективные методы, основанные на использовании глубоководных полезных ископаемых, могут стать ключом к устойчивому развитию и защите морской экосистемы.

Выводы работы подчеркивают как основную ценность исследований, так и их практическое применение в горнодобывающей отрасли.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Liu Z, Liu K, Chen X, et al. Deep-sea rock mechanics and mining technology: State of the art and perspectives. *Int. J. Min. Sci. Technol.* 2023;33(9):1083-115. DOI: 10.1016/j.ijmst.2023.07.007.
2. Zhang Q, Chen X, Luan L, et al. Technology and equipment of deep-sea mining: State of the art and perspectives. *Earth Energy Science.* 2024. DOI: 10.1016/j.ees.2024.08.002.
3. Сафохин МС, Александров БА, Нестеров ВИ. Горные машины и оборудование: учебник для студентов высших учебных заведений. Москва, 1995: 463. [Safokhin MS, Alexandrov BA, Nesterov VI. Mining Machines and Equipment: A Textbook for Students of Higher Educational Institutions. Moscow, 1995: 463 (In Russ.).]
4. Мерзляков ВГ, Деревяшкин ИВ, Бойкова ИЕ и др. Разрушение угля и горных пород высокоскоростными струями воды. *Горный информационно-аналитический бюллетень.* 2023;4:140-56. [Merzlyakov VG, Derevyashkin IV, Boykova IE, et al. Destruction of coal and rocks by high-speed water jets. *Mining information and analytical bulletin.* 2023;4:140-56 (In Russ.).] DOI: 10.25018/0236_1493_2023_4_0_140.
5. Васянович ЮА. Научное обоснование эффективности использования технологии скважинной гидродобычи угля в условиях Дальнего Востока: автореф. дисс. ... канд. техн. наук. Владивосток, 1996: 27. [Vasyanovich UA. Scientific Justification of the Efficiency of Using Well-based Hydro-mining Technology in the Conditions of the Far East: Abstract of Dissertation for the Degree of Candidate of Technical Sciences. Vladivostok, 1996: 27 (In Russ.).]
6. ГОСТ Р 57704-2017. Горное дело. Взрывные работы на угледобывающих предприятиях. Термины и определения. Москва, 2018: 20. [GOST R 57704-2017. Mining. Blasting Work at Coal Mining Enterprises. Terms and Definitions. Moscow, 2018: 20 (In Russ.).]
7. Педан НР. Применение взрывчатого вещества «Гидронит-П» в водонасыщенных скважинах на взрывном блоке. *Научный аспект.* 2023;12:4252-7. [Pedan NR. Application of Explosive «Hydronit-P» in Water-Saturated Wells on the Blasting Block. *Scientific Aspect.* 2023;12:4252-7 (In Russ.).]
8. Педан НР, Васянович ЮА. Применение водоустойчивого взрывчатого вещества «Гидронит-П» в горной промышленности. *Взрывное дело.* 2024;143/100:122-32. [Pedan NR, Vasyanovich UA. Application of Water-Resistant Explosive «Hydronit-P» in the Mining Industry. *Blasting case.* 2024;143/100:122-32 (In Russ.).]
9. Российский патент 2003 года по МПК В60S3/00 В08В9/08. Способ очистки резервуара от донных отложений и устройство для его осуществления: № RU2196062C2: заявл. 2000.05.12: опубл. 2003.01.10 / Яхин Ю.М., Никитин К.Г., Хазиев Н.Н., Хасанов И.Ю. 3 с. [Patent No. Russian Patent 2003 according to IPC B60S3/00 B08B9/08. Method for Cleaning a Reservoir from Bottom Deposits and Device for Its Implementation: No. RU2196062C2: filed 2000.05.12: published 2003.01.10 / Yakhin YM, Nikitin KG, Khaziev NN, Khasanov IU. 3 p. (In Russ.).]
10. Поклонов ДА, Литвин ЮИ, Протасов СИ. Определение необходимых диаметров насадок гидромониторов с учетом режима работы насосной станции. *Вестник Кузбасского государственного технического университета.* 2012;4(92):52-5. [Poklonov DA, Litvin YI, Protasov SI. Determination of Required Diameters of Hydraulic Monitor Nozzles Considering the Pump Station Operation Mode. *Bulletin of the Kuzbass State Technical University.* 2012;4(92):52-5 (In Russ.).]
11. Малухин НГ, Дробаденко ВП, Вильямс АЛ и др. Повышение эффективности скважинной гидродобычи за счет оптимизации процессов пульпоприготовления и всасывания. *Горный информационно-аналитический бюллетень.* 2013;2:378-85. [Malukhin NG, Drobadenko VP, Williams AL, et al. Increasing the Efficiency of Well-based Hydromining by Optimizing the Processes of Slurry Preparation and Suction. *Mining information and analytical bulletin.* 2013;2:378-85 (In Russ.).]
12. Sitlhou L, Chakraborty P. Comparing deep-sea polymetallic nodule mining technologies and evaluating their probable impacts on deep-sea pollution. *Mar. Pollut. Bull.* 2024;206(116762):116762. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2024.116762.
13. Кириченко ЮВ, Каширский АС. Технология добычи железомарганцевых конкреций с помощью кассетного трала. *Горный информационно-аналитический бюллетень.* 2015;11:114-22. [Kirichenko YV, Kashirskii AS. Technology for Mining Iron-Manganese Concretions Using a Casseted Trawler. *Mining information and analytical bulletin.* 2015;11:114-22] (In Russ.).]
14. Каширский АС, Рахутин МГ, Кириченко ЮВ и др. Расчет производительности и обоснование параметров кассетного трала для добычи железомарганцевых конкреций. *Горная промышленность.* 2020;1:155-9. [Kashirskii AS, Rakhutin MG, Kirichenko YV, et al. Calculation of Productivity and Justification of Parameters of a Casseted Trawler for Mining Iron-Manganese Concretions. *Mining industry.* 2020;1:155-9 (In Russ.).]
15. Сержан СЛ, Малеванный ДВ. Современное состояние и перспективы развития технологий подъема для комплексов добычи глубоководных твердых полезных ископаемых. *Горный информационно-аналитический бюллетень.* 2024;12-1:107-28. [Serzhan SL, Malevanniy DV. Current State and Prospects for the Development of Lifting Technologies for Deep-Sea Solid Mineral Extraction Complexes. *Mining information and analytical bulletin.* 2024;12-1:107-28 (In Russ.).] DOI: 10.25018/0236_1493_2024_121_0_107.
16. Иванов КА. О развитии комплексов глубоководной добычи твердых полезных ископаемых. *Механизация строительства.* 2014;5(839):17-9. [Ivanov KA. On the Development of Deep-Sea Hard Mineral Extraction Complexes. *Mechanization of construction.* 2014;5(839):17-9 (In Russ.).]
17. Van Putten EI, Aswani S, Boonstra WJ, et al. History matters: societal acceptance of deep-sea mining and incipient conflicts in Papua New Guinea. *Maritime Studies.* 2023;22(3):32. DOI: 10.1007/s40152-023-00318-0.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Никита Русланович Педан – аспирант, специалист кафедры горного дела ФБГОУ ВО «Владивостокский государственный университет», 690014, Приморский край, г. Владивосток, Российская Федерация, e-mail: MyName@NikPedan.ru

ABOUT THE AUTHORS

Nikita R. Pedan – postgraduate student, specialist of the Department of Mining Engineering Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Vladivostok State University” (Vladivostok, Russia), 690014, Vladivostok, Primorsky Krai, Russian Federation, e-mail: MyName@NikPedan.ru

Юрий Анатольевич Васянович –

д-р техн. наук, профессор кафедры горного дела ФБГОУ
ВО «Владивостокский государственный университет»
(Владивосток, Россия). 690014, Приморский край,
г. Владивосток, Российская Федерация;
профессор инженерной школы ФГАОУ ВО
«Дальневосточный федеральный университет», 690014,
г. Владивосток, Приморский край, Российская Федерация,
e-mail: Vasyanovich_2011@mail.ru

Yuri A. Vasyanovich –

Doctor of Technical Sciences, Professor of Mining Engineering
Department, Federal State Educational Institution of Higher
Education «Vladivostok State University» (Vladivostok, Russia),
690014, Vladivostok, Primorsky Krai, Russian Federation;
Professor, School of Engineering. Federal state autonomous
educational institution of higher education «Far Eastern
Federal University», 690014, Vladivostok, Primorsky Krai,
Russian Federation, e-mail: Vasyanovich_2011@mail.ru

Критерии авторства / Contribution:

Ю. А. Васянович – научное руководство, концепция исследования; Н. Р. Педан – написание исходного текста, проведение анализа данных, разработка итоговых выводов. / Yu. A. Vasyanovich – scientific guidance, research concept; N. R. Pedan – writing the source text, data analysis, development of final conclusions.

Конфликт интересов / Conflict of interest:

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

Информация о статье

Поступила в редакцию: 14.01.2025.

Поступила после рецензирования: 19.02.2025.

Принята к публикации: 11.03.2025.

Article info

Received: 14.01.2025.

Revised: 19.02.2025.

Accepted: 11.03.2025.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ КАЧЕСТВА ВЗРЫВНЫХ РАБОТ ПРИ РАЗНЫХ МЕТОДАХ ЗАРЯДКИ В ОБВОДНЕННЫХ УСЛОВИЯХ (на примере Первореченского месторождения андезитов)

А. Р. Тухбатулин¹✉, Ю. А. Васянович^{1,2}

¹ФБГОУ ВО «Владивостокский государственный университет», г. Владивосток, Российская Федерация

²ФГАОУ ВО «Дальневосточный федеральный университет», Приморский край, Российская Федерация

✉ zx365@yandex.ru

Аннотация. Рассматривается применение эмульсионного взрывчатого вещества при разработке месторождений буровзрывным способом на территории Приморского края. Особое внимание уделяется способам зарядки этого вещества, их эффективности и влиянию на качество буровзрывных работ на дневной поверхности. Описываются методы зарядки скважин, включая механизированный, с использованием смесительно-зарядной машины, и ручной. Обсуждаются особенности каждого метода, их преимущества и недостатки, влияние на конечный результат буровзрывных работ. Проводится сравнительный анализ качества взрывных работ при ручном и механизированном зарядании обводненных скважин на открытых горных работах. Результаты исследований могут быть полезными при практической деятельности горнодобывающих предприятий, в научных разработках, направленных на совершенствование технологий буровзрывных работ.

Ключевые слова: горнодобывающая промышленность, технологии, взрывные работы, эмульсионное взрывчатое вещество, водостойкость, методы зарядки, качество взрывных работ, безопасность, эффективность

Для цитирования: Тухбатулин АР, Васянович ЮА. Сравнительный анализ качества взрывных работ при разных методах зарядки в обводненных условиях (на примере Первореченского месторождения андезитов). *Маркшейдерия и недропользование*. 2025;25(2):12-18. <https://doi.org/10.56195/20793332-2025-25-2-12-18>.

COMPARATIVE ANALYSIS OF BLASTING QUALITY UNDER DIFFERENT CHARGING METHODS IN WATERLOGGED CONDITIONS (on the example of the Pervorechenskoye andesite deposit)

A. R. Tukhbatulin¹✉, Yu. A. Vasyanovich^{1,2}

¹Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "Vladivostok State University",
Vladivostok, Russian Federation

²Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "Far Eastern Federal University",
Primorsky Krai, Russian Federation

✉ zx365@yandex.ru

Abstract. The application of emulsion explosive in the development of deposits by drilling and blasting method in the Primorsky Krai is considered. Special attention is paid to the methods of charging this substance, their efficiency and influence on the quality of drilling and blasting operations on the day surface. The methods of charging wells are described, including mechanized, using a mixing and charging machine, and manual. Features of each method, their advantages and disadvantages, influence on the final result of drilling and blasting works are discussed. A comparative analysis of the quality of blasting at manual and mechanized charging of watered holes in open pit mining operations is carried out. The results of research can be useful in the practical activities of mining enterprises, in scientific developments aimed at improving the technology of drilling and blasting operations.

Keywords: blasting operations, emulsion explosives, water-saturated conditions, charging methods, rock fragmentation, open-pit mining

For citation: Tukhbatulin AR, Vasyanovich YuA. Comparative analysis of blasting quality under different charging methods in waterlogged conditions (on the example of the Pervorechenskoye andesite deposit). *Mine Surveying and Subsurface Use*. 2025;25(2):12-18. (In Russ.). <https://doi.org/10.56195/20793332-2025-25-2-12-18>.

Введение

Взрывные работы занимают важное место в процессе разработки месторождений полезных ископаемых, являясь одним из ключевых методов механического разрушения горных пород. Этот метод основан на использовании энергии взрыва, что позволяет значительно ускорить процесс добычи ресурсов и модификации рельефа местности. Однако для достижения высокой эффективности и качества проведения взрывных работ необходимо учитывать множество факторов, включая геологические условия, в которых они выполняются [1, 2].

В последние годы все большее распространение получает использование эмульсионного взрывчатого вещества при разработке месторождений буровзрывным способом [3]. Одним из главных преимуществ этого взрывчатого вещества является его водостойкость, что делает его идеальным выбором для работы в различных условиях.

Цель исследований: оценить эффективность и влияние на качество буровзрывных работ различных методов зарядки эмульсионного взрывчатого вещества в обводненных условиях на открытых горных работах. Проанализировать преимущества и недостатки механизированного метода с использованием смесительно-зарядной машины и ручного метода зарядки.

Объект исследований

Первореченское месторождение андезитов находится на северо-востоке от г. Владивостока. Отгрузка продукции осуществляется только автомобильным транспортом. Месторождение разрабатывается открытым способом, крепость вскрышных пород по СНИП – VII, крепость полезного ископаемого по СНИП – IX.

Первореченское месторождение вулканогенных пород приурочено к нижней подсвите Владивостокской свиты (P2v11) и находится в пределах Муравьевского антиклинария. Геологическое строение его относительно простое. Полезное ископаемое Северного участка месторождения представлено вулканогенными породами, среди которых выделены следующие разновидности: андезиты, андезибазальты, агломератовые андезитовые туфы, дациты, риодациты. Андезиты и туфы составляют 80–90 % разреза. Все перечисленные петрографические разности по физико-механическим свойствам мало различаются, имеют химический состав преимущественно средних магматических пород, поэтому обобщены под названием «андезиты» и разрабатываются без селективной выемки. Мощность эффузивной толщи колеблется от 70 до 170 м. Вмещающие породы – углистые алевролиты от темно-серого цвета до черного, перемежаются с прослоями темно-серых песчаников.

Все породы в контуре подсчета запасов имеют северо-восточное простирание при падении на северо-запад под углами от 10 до 50°. Разрывные нарушения наблюдаются в виде сбросов, блоковых смещений. Блоковое строение массива сформировало сплошную и разноплановую трещиноватость пород.

Методика исследования

Проводится сравнительный анализ качества взрывных работ при ручном и механизированном зарядании обводненных скважин на открытых горных работах, выделяются их преимущества и недостатки.

Качество взрывных работ

Основные требования к проведению взрывов при открытых горных работах:

1. Безопасность ведения взрывных работ. Обеспечивается правильным подбором параметров буровзрывных работ с учетом всех аспектов, в том числе с учетом наличия непосредственной близости к охраняемым объектам согласно требованиям Федеральных норм и правил в области промышленной безопасности при производстве, хранении и применении взрывчатых материалов промышленного назначения (ФНиП) [4].

2. Равномерность и степень дробления горных пород. Процент выхода негабаритных кусков породы не должен превышать <5 %, полученная кусковатость не должна превышать определенных размеров по крупности куска и должна быть равномерной.

3. Качество проработки отработанного массива. Уровень подошвы уступа должен соответствовать проектным параметрам, развал взорванной породы должен быть заданной ширины и высоты, обеспечивающих высокопроизводительную и безопасную работу экскаваторов [5].

Методы зарядки скважин

Разнообразие условий, в которых проводится разрушение горных массивов посредством взрывных работ в горной промышленности, подчеркивает актуальность поиска наиболее эффективных методов доставки взрывчатого вещества и зарядки скважин. Этот процесс обусловлен необходимостью повышения безопасности и оптимизации производственных процессов.

Взрывные скважины размещаются по квадратной сетке, размеры которой варьируются от 3,3 на 3,3 м до 4,5 на 4,5 м в зависимости от условий взрывания. Диаметр скважин составляет от 115 до 140 мм, а удельный расход взрывчатых веществ находится в пределах от 0,65 до 0,95 кг/м³.

Во время зарядания эмульсионное взрывчатое вещество вводится в зарядную полость в патронах или смесительной зарядной машиной. В паспорте или проекте массового взрыва должны быть отмечены сведения о трещинах, пустотах и вывалах, обнаруженных при бурении, об оставленном в шпурах или скважинах буровом инструменте для того, чтобы взрывник принял меры по обеспечению безопасности работ при зарядании.

Перед заряданием место вокруг устья скважины очищают от разрушенной породы. Сами скважины очищают от буровой мелочи, шлама, в случае применения неводоустойчивых взрывчатых веществ из шпуров удаляют воду.

Приступать к заряданию можно только с разрешения лица, ответственного за взрывные работы. Зарядание выполняется взрывниками и их помощниками, перечисленными в разрешении и прошедшими обучение и стажировку под наблюдением лица, на имя которого выдано разрешение на производство взрывных работ [6–8].

В современной горнодобывающей промышленности для зарядки скважин применяются два основных метода: механизированный (с использованием смесительно-зарядной машины) и ручной.

Метод механизированного зарядания при помощи смесительно-зарядной машины

Современные технологии добычи и ведения открытых горных работ невозможны без автоматизации, включая при-

менение смесительно-зарядных машин. Эти машины предназначены для доставки, механизированного приготовления и подачи промышленных взрывчатых веществ в скважины или шпуров при открытых и подземных горных работах. Производители постоянно расширяют ассортимент продукции, внедряя разнообразные инновационные решения, что способствует повышению безопасности эксплуатации машин, несмотря на постоянный контакт со взрывчатыми смесями [9–11].

В практике заряжания взрывных скважин с помощью смесительно-зарядной машины применяются два основных метода:

- под столб воды;
- от устья.

Метод заряжания взрывных скважин под столб воды допускает проведение работ как в обводненных скважинах, так и в сухих, без необходимости предварительного осушения. Для осуществления заряжания используется погружной зарядный рукав, который опускается на дно скважины и затем автоматически поднимается (вытягивается) в процессе начала загрузки, при этом конец рукава остается в верхней части заряда. Этот метод позволяет вытеснять воду из скважины и обеспечивать равномерное заполнение взрывного заряда без образования пустот, что достигается за счет бережного отношения к заряжаемому веществу.

Метод под столб воды применяется для заряжания эмульсионным взрывчатым веществом, содержащим от 100 до 70 % эмульсионной матрицы. Это позволяет эффективно прокачивать заряжаемое вещество по зарядному рукаву.

Во втором случае (от устья) процесс заряжания скважин осуществляется после их осушения путем откачивания воды. Заполнение скважины производится гравитационным способом, начиная с верхнего уровня, с использованием шнекового транспортера или лотка через устье скважины. Для заряжания эмульсионных взрывчатых веществ с различным процентным содержанием эмульсионной матрицы применяются составы, в которых содержание сухой фазы варьируется от 100 до 50 %, а эмульсионной матрицы – от 0 до 50 %. При этом предпочтительно использовать составы с содержанием эмульсионной матрицы не более 70 % [12]. В процессе зарядки скважины, который обычно осуществляется оператором из кабины смесительно-зарядной машины, важно учитывать потенциальные риски для оператора. Загрузка взрывчатых веществ в скважины из кабины транспортного средства характеризуется низким уровнем риска. Это объясняется тем, что образование взрывчатых составов происходит либо непосредственно на выходе из смесительно-зарядной машины, либо через определенный временной интервал, например, при использовании зарядного рукава. Процесс загрузки осуществляется в полуавтоматическом режиме. Система управления обеспечивает контроль подачи компонентов в необходимых пропорциях и количествах. В случае отклонения от заданных параметров система автоматически прекращает процесс. Процедура загрузки скважин может быть полностью автоматизирована, то есть будет происходить без участия человека. Однако размещение инициирующего заряда по-прежнему требует присутствия персонала [12].

В современной промышленности используются смесительные зарядные машины, производимые отечественными

предприятиями на базе шасси российских автомобильных заводов, такие как модели «СМСЗУ 2К-11» и «СМСЗУ 2К-16», созданные на основе шасси КамАЗа и МАЗа, с собственным программным обеспечением. Это особенно актуально в наше время после ухода импортных производителей, поскольку такие машины способствуют технологической независимости и укреплению экономической безопасности страны. Они позволяют российским предприятиям продолжать свою деятельность, не завися от внешних поставок и санкций, что способствует стабильности и устойчивости национальной экономики. Модель смесительно-зарядной машины представлена на рисунке 1.



Рис. 1. Смесительно-зарядная машина «2К-11» на базе МАЗа, 6 х 4 /
Fig. 1. Mixing and charging machine 2K-11 based on MAZ 6 x 4

Метод ручного заряжания патронированного эмульсионного взрывчатого вещества

Ручное заряжание взрывчатых веществ имеет долгую историю, начиная с первых этапов развития горнодобывающей промышленности при ведении открытых горных работ. С течением времени этот метод претерпел значительные изменения, адаптируясь к новым технологиям и требованиям безопасности. В настоящее время ручное заряжание продолжает играть важную роль в буровзрывных работах, особенно в условиях, где автоматизированные методы не могут быть применены.

Метод ручного заряжания патронированного эмульсионного взрывчатого вещества является одним из наиболее распространенных и доступных способов зарядки скважин при проведении буровзрывных работ. Он отличается простотой оборудования и возможностью работы в труднодоступных местах, что делает его особенно актуальным в условиях, где использование зарядных машин затруднено или невозможно [13].

На рисунке 2 представлены патроны эмульсионного взрывчатого вещества.

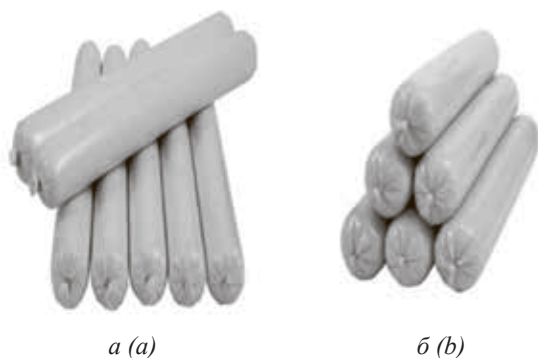


Рис. 2. Патроны эмульсионного взрывчатого вещества:
а – «Сибирит-1000ПМ»; б – «Гидранит-90П» /
Fig. 2. Emulsion explosive cartridges:
а – Sibirit-1000PM; б – Hydranit-90P

Зарядка скважин осуществляется взрывником под руководством ответственного руководителя массового взрыва. Патроны эмульсионного взрывчатого вещества опускаются, в скважину постепенно заполняя колонку заряда.

Сравнительный анализ ручного и механизированного методов зарядки

Преимущества метода ручного заряжения эмульсионных взрывчатых веществ:

1. Экономическая целесообразность. Простота и доступность оборудования позволяют снизить затраты на выполнение взрывных работ.
2. Возможность работы в труднодоступных местах, где применение зарядных машин затруднено или невозможно.
3. Гибкость и адаптивность. Оперативное реагирование на изменения условий и требований на месте проведения работ.

Недостатки метода ручного заряжения эмульсионных взрывчатых веществ:

1. Низкая точность дозирования. Может привести к неравномерному распределению взрывчатого вещества и снижению качества дробления породы.
2. Вероятность ошибок. Снижение эффективности и безопасности взрывных работ.
3. Трудоемкость процесса. Влияет на усталость персонала и снижение производительности.
4. Проблема усадки в обводненных условиях. В исследовании [14–16] обнаружена проблема усадки эмульсионного взрывчатого вещества в обводненных условиях, что может привести к застреванию патрона в скважине и образованию водяной пробки, снижая скорость детонации или полностью прекращая ее.

Преимущества метода механизированного заряжения эмульсионных взрывчатых веществ:

1. Высокая точность дозирования. Автоматизированные системы обеспечивают точное дозирование взрывчатого вещества, что способствует равномерному распределению и повышению качества дробления породы.
2. Высокая производительность. Значительно увеличивается скорость зарядки скважин, что повышает общую производительность работ.
3. Снижение вероятности ошибок. Минимизация человеческого фактора снижает вероятность ошибок и повышает безопасность работ.
4. Снижение трудоемкости. Использование зарядных машин снижает физические усилия и время, затрачиваемые на процесс зарядки.

Недостатки метода механизированного заряжения эмульсионных взрывчатых веществ:

1. Высокая стоимость оборудования. Использование зарядных машин и другого специализированного оборудования требует значительных инвестиций.
 2. Ограничения в труднодоступных местах. В некоторых случаях механизированные методы могут быть ограничены в использовании из-за сложности доступа к месту проведения работ.
 3. Энергопотребление. Требуется значительные затраты энергии, что может быть не всегда экономически оправдано.
- Взрывные работы в сложных условиях рельефа, где перепады высот достигают значительных значений, обусловлены различиями в геологическом строении и прочностных характеристиках пород, представляют собой особую техническую задачу. В таких условиях применение смесительно-зарядной машины для зарядки скважин становится невозможным.
- Таким образом, выбор метода заряжения зависит от конкретных условий и требований на месте проведения работ. Ручной метод является простым и доступным, но имеет низкую точность и производительность. Механизированный метод обеспечивает высокую точность и производительность, но требует значительных инвестиций и может быть ограничен в труднодоступных местах.

Результаты исследования

Сравнительный анализ качественных параметров взрывных работ при ручном и механизированном методе зарядки

На примере отработанных блоков Первореченского месторождения андезитов сравним полученные данные по количеству выхода негабарита для механизированного и ручного метода зарядки (табл. 1, 2, 3).

Таблица 1 / Table 1

Параметры блоков при механизированной зарядке скважин / Parameters of blocks during mechanized well charging

Номер блока	Объем блока, м ³	Удельный расход, кг/м ³	Выход негабарита, %	Время зарядки, ч
12-24	22 456	0,8	3	8
11-24	15 667	0,83	4	6
13-24	18 396	0,84	6	6
16-24	20 298	0,79	5	8
17-24	21 473	0,76	2	8
18-24	19 544	0,80	3	7
21-24	16 113	0,85	5	6
22-24	17 900	0,83	4	7
23-24	20 217	0,8	3	8
25-24	21 879	0,78	4	8
26-24	15 547	0,8	5	6
27-24	18 923	0,8	4	7
30-24	19 278	0,77	3	8
32-24	16 892	0,81	5	6
33-24	20 351	0,80	4	8
37-24	17 469	0,81	4	7
38-24	21 834	0,78	5	8
40-24	19 726	0,79	4	7
44-24	16 359	0,8	4	6
45-24	20 987	0,8	3	8

Таблица 2 / Table 2

Параметры блоков при ручной зарядке скважин /
Parameters of blocks at manual well charging

Номер блока	Объем блока, м³	Удельный расход, кг/м³	Выход негабарита, %	Время зарядки, ч
8-24	13 456	0,75	7	16
10-24	20 871	0,73	5	20
12-24	19 214	0,70	6	21
13-24	15 644	0,78	5	17
14-24	21 893	0,74	5	18
15-24	18 156	0,70	8	18
19-24	21 223	0,76	5	21
20-24	20 486	0,70	6	22
24-24	10 800	0,72	5	12
26-24	19 741	0,71	5	18
28-24	17 921	0,72	5	17
29-24	20 176	0,71	6	21
31-24	18 439	0,73	7	17
34-24	19 653	0,7	6	19
35-24	18 287	0,74	5	18
36-24	21 837	0,75	7	20
39-24	17 905	0,72	7	17
41-24	20 837	0,72	6	21
42-24	15 374	0,73	5	15
43-24	21 268	0,71	5	21

Таблица 3 / Table 3

Сравнения средних значений при ручном и механизированном способах зарядки скважин /
Comparisons of average values for manual and mechanized charging of wells

Объем, тыс. м³	Ручной способ зарядки			Механизированный способ зарядки		
	Средний удельный расход, кг/м³	Средний выход негабарита, %	Среднее время зарядки, ч	Средний удельный расход, кг/м³	Средний выход негабарита, %	Среднее время зарядки, ч
15-16	0,75	5	16,5	0,81	4,5	6
16-17	-	-	-	0,82	4,6	6
17-18	0,72	6	20	0,82	4	7
18-19	0,72	6,6	17,5	0,82	4,6	6,5
19-20	0,7	5,6	19,3	0,78	3,3	7,3
20-21	0,71	5,7	21	0,8	3,75	8
21-22	0,74	5,5	20	0,78	3,5	8
Итого	0,72	5,73	19,05	0,80	4,04	6,97

На основании анализа данных, представленных в таблице 3, можно сделать следующие выводы:

Время зарядки при использовании ручного метода превышает аналогичные показатели для механизированного способа зарядки на 12 ч.

При ручном методе заряжания наблюдается увеличение выхода количества негабарита на 1,69 %, что свидетельствует о наличии существенных недостатков в процессе.

Механизированный способ зарядки характеризуется по-

вышенным удельным расходом, что может привести к увеличению затрат на производство взрывных работ.

Закключение

1. В результате сравнительного анализа были рассмотрены преимущества и недостатки методов зарядки эмульсионного взрывчатого вещества при проведении взрывных работ на открытых горных работах.

2. Метод механизированного заряжания с использованием смесительно-зарядной машины позволяет быстро и эффективно заполнять скважины взрывчатым веществом, уменьшая количество взрывного персонала на выполняемый объем и увеличивая объем взрывающейся горной массы за один раз. При этом наблюдается значительно меньший выход количества негабарита и увеличенный расход взрывчатого вещества.

3. Механизированная зарядка скважин под воду позволяет равномерно распределить взрывчатое вещество по всей длине скважины, предотвращая его зависание. В случае ручной зарядки водонасыщенных скважин возникает риск «застывания» патрона из-за мягкости полиэтиленовой оболочки и плотности эмульсионного состава. Это может привести к образованию водяной пробки, которая снижает скорость детонации или вызывает ее затухание. В результате качество взрыва ухудшается, а выход негабарита увеличивается. Данная проблема является актуальной и требует более тщательного анализа. Оба способа зарядки обводненных скважин являются актуальными в наше время. Каждый из способов имеет ряд преимуществ и недостатков.

4. Ручное заряжание патронированным эмульсионным взрывчатым веществом требует больше времени и усилий, но может быть более экономичным и подходящим для небольших объемов работ, а также для обрабатываемых блоков, где нет возможности подъезда смесительной зарядной машине.

5. В результате сравнительного анализа методов зарядки скважин при разработке месторождений буровзрывным способом можно сделать вывод, что использование смесительно-зарядных машин обеспечивает более высокую эффективность и безопасность взрывных работ. Механизированный метод позволяет равномерно распределить взрывчатое вещество в скважине, снизить риск ошибок при ручном заряжании и ускорить процесс подготовки к взрыву. Однако ручной метод зарядки может быть более предпочтительным в условиях, где применение смесительно-зарядных машин затруднено или невозможно. Важно учитывать конкретные условия и требования при выборе метода зарядки скважин.

6. В целом выбор метода зарядки зависит от конкретных условий и требований проведения буровзрывных работ, а также от доступности оборудования и квалификации персонала.

Выводы

1. В статье описывается применение эмульсионного взрывчатого вещества при разработке месторождений буровзрывным способом на территории Приморского края. Особое внимание уделяется способам зарядки этого вещества, их эффективности и влиянию на качество буровзрывных работ на дневной поверхности.

2. Результаты исследований могут быть полезными при оптимизации буровзрывных работ в обводненных условиях, характерных для месторождений с высоким уровнем грунтовых вод или повышенной влажностью. Исследование так-

же направлено на повышение безопасности взрывных работ, минимизацию рисков, связанных с ошибками при ручной зарядке или неравномерным распределением взрывчатого вещества.

3. Выявленные проблемы, такие как усадка эмульсионного взрывчатого вещества в обводненных условиях, открывают возможности для разработки новых технологий зарядки скважин.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Казаков НН. Взрывная отбойка руды скважинными зарядами. Москва, 1975: 192. [Kazakov NN. Explosive stripping of ore by borehole charges. Moscow, 1975:192. (In Russ.)]
2. Мельников НВ. Теория и практика открытых разработок. Москва, 1973: 636. [Melnikov NV. Theory and practice of open-pit mining. Moscow, 1973: 636. (In Russ.)]
3. Горинов СА. Иницирование и детонация эмульсионных взрывчатых веществ. Под ред. академика РАН В. В. Адушкина. Москва, 2020: 352. [Gorinov SA. Initiation and detonation of emulsion explosives. Edited by Academician of the Russian Academy of Sciences Adushkin V. V. Moscow, 2020:352. (In Russ.)]
4. Об утверждении федеральных норм и правил в области промышленной безопасности «Правила безопасности при производстве, хранении и применении взрывчатых материалов промышленного назначения»: Приказ Ростехнадзора от 3 декабря 2020 г. № 494. URL: <https://docs.cntd.ru/document/573219717>. [Rostekhnadzor Order No. 494 of 3 December 2020 'On Approval of Federal norms and rules in the field of industrial safety 'Safety Rules in the production, storage and use of explosive materials for industrial purposes'. industrial explosive materials'. Available from: <https://docs.cntd.ru/document/573219717> (In Russ.)]
5. Гришин АН, Медведская ТМ. Технология и безопасность взрывных работ. Москва, 2021: 352. [Grishin AN, Medvedskaya TM. Technology and safety of blasting operations. Moscow, 2021: 3527 (In Russ.)]
6. Кутузов БН. Взрывные работы. Москва, 1988: 382. [Kutuzov BN. Blasting works. Moscow, 1988: 352. (In Russ.)]
7. Михайлов АГ. Проектирование параметров взрывных работ на карьерах. Якутск, 2002: 267. [Mikhailov AG. Designing the parameters of blasting operations at open-pit mines. Yakutsk, 2002: 267 (In Russ.)]
8. Кутузов БН, Белин ВА. Проектирование и организация взрывных работ. Москва, 2012: 409. [Kutuzov BN, Belin VA. Designing and organization of blasting operations. Moscow, 2012: 409. (In Russ.)]
9. Жученко ЕИ, Иоффе ВБ, Зырянов ИК. Смесительно-зарядные и доставочные машины, предназначенные для транспортирования, изготовления и заряжания эмульсионных взрывчатых веществ сибиритов. Безопасность труда в промышленности. 2002;5:39-41. [Zhuchenko EI, Ioffe VB, Zyryanov IK. Mixing-charging and delivering machines designed for transporting, manufacturing and charging of emulsion explosives emulsion explosives of sibirites. Labour safety in industry. 2002;5:39-41. (In Russ.)]
10. Патент № 2211438 С1 Российская Федерация, МПК F42D 1/08. Смесительно-зарядная машина: № 2002107041/03; заявл. 21.03.2002; опубл. 27.08.2003 / В. Х. Кантор, А. Г. Потапов, Н. И. Гаврилов [и др.]; заявитель ООО «Научно-техническая фирма «Взрывтехнология». [Patent No. 2211438 C1 Russian Federation. Federation, MPK F42D 1/08. Mixing and charging machine: No. 2002107041/03: application. 21.03.2002: published 27.08.2003 / V. H. Kantor, A. G. Potapov, N. I. Gavrilov [and others]; applicant ООО Scientific and Technical Firm «Vzryvtekhnologiya». (In Russ.)]
11. Шеменев ВГ, Глебов АВ, Синицын ВА и др. Смесительно-зарядные машины для изготовления и заряжания эмульсионных ВВ на карьерах Урала. Горное оборудование и электромеханика. 2014;5(102):42-5. [Shemenев VG, Glebov AV, Sinitsin VA et al. Mixing and charging machines for Manufacturing and charging of emulsion explosives at the Ural quarries. Mining equipment and electromechanics. 2014;5(102):42-5. (In Russ.)]
12. От смеси до взрыва: эффективность и безопасность в одной машине. Добывающая промышленность». URL: <https://dprom.online/mtindustry/ot-smesi-do-vzryva-effektivnost-i-bezopasnost-v-odnoj-mashine/>. [From mixture to explosion: efficiency and safety in one machine. Extractive Industry. Available from: <https://dprom.online/mtindustry/ot-smesi-do-vzryva-effektivnost-i-bezopasnost-v-odnoj-mashine/> (In Russ.)]
13. Жученко ЕИ, Иоффе ВБ, Кукиб БН и др. Заряжание глубоких скважин эмульсионными ВВ сибиритами на разрезах Кузбасс. Физические проблемы разрушения горных пород. Новосибирск, 2003: 154-62. [Zhuchenko EI, Ioffe VB, Kukib BN, et al. Charging of deep wells with emulsion explosives by sibirites in the Kuzbass sections. Physical problems of rock fracture. Novosibirsk, 2003:154-62 (In Russ.)]
14. Педан НР, Васянович ЮР. Применение водоустойчивого взрывчатого вещества «Гидронит-П» в горной промышленности. Взрывное дело. Москва, 2024: 122-32. [Pedan NR, Vasyanovich YA. Application of water-resistant explosive substance «Gidronit-P» in the mining industry. Explosive case. Moscow, 2024: 122-32 (In Russ.)]
15. Педан НР. Применение взрывчатого вещества «Гидронит-П» в водонасыщенных скважинах на взрывном блоке. Научный аспект. 2023;12:4252-7. [Pedan NR. Application of the explosive substance Gidronit-P in water-saturated boreholes at the water-saturated wells on the explosive block. Scientific aspect. 2023;12:4252-7 (In Russ.)]
16. Тухбатулин АР, Васянович ЮА. Усадка эмульсионного взрывчатого вещества в обводненных условиях на примере Месторождения Первореченских андезитов. Международный журнал гуманитарных и естественных наук. 2024;12-3(99):225-8. [Tukhbatulin AR, Vasyanovich YA. Shrinkage of emulsion of the emulsion explosive in watered conditions on the example of the deposit of the Pervorechenskies andesites. International Journal of Humanities and Natural Sciences. 2024;12-3(99):225-228 (In Russ.)]. DOI: 10.24412/2500-1000-2024-12-3-225-228.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Артём Рустамович Тухбатулин – аспирант кафедры горного дела, ФБГОУ ВО «Владивостокский государственный университет», 690014, Приморский край, г. Владивосток, Российская Федерация, e-mail: zx365@yandex.ru

ABOUT THE AUTHORS

Artem R. Tukhbatulin – postgraduate student of the Department of Mining Engineering, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education 'Vladivostok State University', 690014, Primorsky Krai, Vladivostok, Russian Federation, e-mail: zx365@yandex.ru

Юрий Анатольевич Васянович –

д-р техн. наук, профессор кафедры горного дела ФБГОУ ВО «Владивостокский государственный университет», 690014, Приморский край, г. Владивосток, Российская Федерация, e-mail: Vasyanovich_2011@mail.ru

Профессор департамента мониторинга и освоения георесурсов, Дальневосточный федеральный университет

Yuri A. Vasyanovich –

Doctor of Technical Sciences, Professor of Mining Engineering Department, Vladivostok State University, 690014, Primorsky Krai, Vladivostok, Russian Federation, e-mail: Vasyanovich_2011@mail.ru

Professor Department of Georesources Monitoring and Development Far Eastern Federal University

Критерии авторства / Contribution:

А. Р. Тухбатулин – разработка концепции исследования, постановка целей и задач, проведение полевых исследований, сбор и анализ первичных данных на Первореченском месторождении андезитов, сравнительный анализ методов зарядки скважин (ручной и механизированный), подготовка текста статьи, включая описание методики, результатов и выводов, оформление таблиц и графиков, визуализация данных, подготовка чернового варианта статьи, несет ответственность за достоверность представленных данных и корректность их анализа. Ю. А. Васянович – разработка концепции исследования, постановка целей и задач, научное руководство исследованием, консультации по методологии и интерпретации данных, участие в интерпретации результатов и их научном обосновании, анализ геологических условий месторождения и их влияния на качество взрывных работ, рецензирование и редактирование текста статьи, внесение существенных правок и дополнений, обеспечение научной строгости текста, уточнение теоретической части, гарантия научной обоснованности выводов и соответствия исследования современным стандартам / A. R. Tukhbatulin – development of the research concept, setting goals and objectives, conducting field studies, data collection and analysis at Pervorechenskoye andesite deposit, comparative analysis of well charging methods (manual and mechanised), preparation of the text of the article, including description of the methodology, results and conclusions, preparation of tables and graphs, data visualization, was responsible for data collection and primary data analysis, prepared the draft version of the article, is responsible for the reliability of the data presented and the correctness of their analyses; Y.A. Vasyanovich – scientific supervision of the study, advice on methodology and data interpretation, analysis of geological conditions of the deposit and their influence on the quality of blasting, reviewing and editing the text of the article, clarification of the theoretical part, participated in the interpretation of the results and their scientific justification, made substantial corrections and additions, ensured the scientific rigour of the text, guarantees the scientific validity of the conclusions and compliance of the study with modern standards.

Конфликт интересов / Conflict of interest:

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

Информация о статье

Поступила в редакцию: 20.01.2025.

Поступила после рецензирования: 21.02.2025.

Принята к публикации: 28.02.2025.

Article info

Received: 20.01.2025.

Revised: 21.02.2025.

Accepted: 28.02.2025.

ОБЗОР ПЕРСПЕКТИВНЫХ СИСТЕМ МОНИТОРИНГА ВОДООТЛИВНЫХ УСТАНОВОК ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ ПОДЗЕМНОЙ ЧАСТИ МЕТРОПОЛИТЕНА

Е. А. Александров✉

*Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
«Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС»,
г. Москва, Российская Федерация
✉ swat94@inbox.ru*

Аннотация. Описаны возможные условия применения и отличительные особенности водоотливных установок при строительстве подземной части метрополитена. Определены наиболее частые причины снижения характеристик или выхода из строя насосного оборудования: засор насоса, неисправности подшипников, утечки из-за дефектов уплотнений, а также серьезные неисправности, требующие замены (прогорание статора или повреждение крыльчатки насоса). Рассмотрена возможность применения системы мониторинга по фактическому состоянию, которая будет применима к основным группам неисправностей, возникающих во время эксплуатации насосного оборудования. Приведен обзор основных существующих и перспективных видов мониторинга водоотливных систем и существующих коммерческих электронных блоков управления насосными системами, как то: спектральный анализ токов приводного асинхронного двигателя; установка датчиков основных выходных параметров насоса (давление, расход жидкости); спектральный анализ и общий уровень вибрации гидравлической и электрической части насоса; применение анализатора межвиткового короткого замыкания; методы обнаружения кавитации в насосе (регистрация механических колебаний, высокочастотных пульсация давления, акустических шумов и визуальных образов), а также возможность применения крупных вибромониторинговых систем на основе машинного обучения и нечеткой логики. Приведены рекомендации о возможности применения вышеприведенных мониторинговых систем.

Ключевые слова: метрополитен, строительство, насос, водоотливная установка, кавитация, спектральный анализ, вибромониторинг, межвитковое короткое замыкание, машинное обучение, датчик давления, асинхронный двигатель

Благодарности, признательность, финансирование: автор выражает благодарность коллективам ООО «ТО-6 Метростроя» и ООО «СМУ-8 Метростроя» за плодотворную совместную работу.

Для цитирования: Александров ЕА. Обзор перспективных систем мониторинга водоотливных установок при строительстве подземной части метрополитена. *Маркшейдерия и недропользование*. 2025;25(2):19-25. <https://doi.org/10.56195/20793332-2025-25-2-19-25>.

REVIEW OF PROMISING MONITORING SYSTEMS FOR DRAINAGE INSTALLATIONS IN THE CONSTRUCTION OF THE UNDERGROUND PART OF THE METRO

E. A. Aleksandrov✉

*Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education «National University of Science
and Technology MISiS», Moscow, Russian Federation
✉ swat94@inbox.ru*

Abstract. The article describes the possible conditions for the application and distinctive features of drainage installations during the construction of the underground part of the metro. The most common causes of performance degradation or failure of pumping equipment are identified, including pump clogging, bearing failures, leaks due to seal defects, as well as severe malfunctions requiring replacement (stator burnout or impeller damage). The feasibility of implementing a condition-based monitoring system applicable to the main groups of failures occurring during the operation of pumping equipment is considered. A review of existing and prospective

monitoring methods for drainage systems and commercially available electronic pump control units is provided, including: spectral analysis of currents in the drive induction motor, installation of sensors for key pump output parameters (pressure, fluid flow rate), spectral analysis and overall vibration level of the hydraulic and electrical components of the pump, use of an interturn short circuit analyzer, methods for detecting cavitation in the pump (registration of mechanical vibrations, high-frequency pressure pulsations, acoustic noise, and visual patterns), as well as the potential application of large-scale vibration monitoring systems based on machine learning and fuzzy logic. Recommendations are provided regarding the feasibility of applying such monitoring systems.

Keywords: subway, construction, pump, drainage system, cavitation, spectral analysis, vibration monitoring, inter-turn short circuit, machine learning, pressure sensor, asynchronous motor

Acknowledgments, funding, financial Support: The author expresses gratitude to the teams of LLC «TO-6 Metrostroy» and LLC «SMU-8 Metrostroy» for their fruitful collaboration.

For citation: Aleksandrov EA. Review of promising monitoring systems for drainage installations in the construction of the underground part of the metro. *Mine Surveying and Subsurface Use*. 2025;25(2):19-25. (In Russ.). <https://doi.org/10.56195/20793332-2025-25-2-19-25>.

Введение

Центробежные лопастные машины и сопутствующая им инфраструктура (водоотлив) при строительстве подземных сооружений имеет свои особенности.

При строительстве метрополитена насосы используются как вспомогательные машины в обслуживающих процессах, обеспечивающие непрерывность технологического процесса проходки. Это основная элементная цепочка проходческих работ при проходке стволов. Кроме того, насосы обеспечивают специальный метод работ – водопонижение [1, 2].

В статье М. А. Потапова [2] и [3] упоминается об использовании специализированных погружных насосов в качестве машин для транспортировки пульпы при механизированной проходке стволов VSM-способом. Центробежные насосы также используются для охлаждения основных приводных и вспомогательных машин проходческих механизированных щитов.

Водоотливные установки перегонных тоннелей в зависимости от точки их установки классифицируются на *основные, транзитные и местные*. Основные находятся либо в пониженных точках тоннельных линий большой протяженности, либо в котлованах – монтажных щитовых камерах, камерах съездов или станциях мелкого заложения, куда принимается вода из перегонных тоннелей. Так, при строительстве Московского метрополитена высоты таких котлованов не превышают 25 м. В редких случаях, как, например, при строительстве перегонного тоннеля от «Рижской» до «Марьиной Рощи» Северо-восточного участка Третьего пересадочного контура, глубина монтажной камеры может достигать 40–50 м.

Требования, предъявляемые водоотливным установкам согласно СП «Метрополитены», указаны в таблице 1.

Таблица 1 / Table 1

Требования, предъявляемые водоотливным установкам
согласно сводам правил «Метрополитены» /
Requirements for drainage installations according to the SP
«Metropolitan railways»

Виды водоотливных установок	Производительность каждого насоса, м³/ч, не менее		Количество насосов		
	глубокого заложения	мелкого заложения	Всего	Работающих в нормальном режиме	В ремонте
Основные	150	50	3	2	1
Транзитные			2	1	1
Местные	50		2	1	1

Особенность откачиваемой воды – в неоднородности ее состава в зависимости от геологических условий и строительного участка. При механизированной проходке тоннелей качество воды сильно ухудшается глинистыми и песчаными взвешями, которые остаются в лотковой части проходческого комплекса, по всей трассе тоннеля. Особенно в пониженных точках из-за особенностей консистенции жидкого грунта, транспортируемого либо бадьями (пролив при торможении, старте, на уклонах и подъемах), либо конвейерным транспортом (промывка ленты). Также требуется откачка воды, остающейся после очистки от грязи машин и механизмов после каждого цикла проходки (при установке кольца) для безопасного прохода персонала. Вследствие этого качество перекачиваемой воды может варьироваться от чистой до сильно зашламленной воды.

На рисунке 1 показан вид лотковой части тоннелепроходческого комплекса со стороны забойной части.

Также забойный водоотлив выполняет страховочную функцию при потере щитовым комплексом герметичности щеточного уплотнения [4]. В этих условиях, согласно ГОСТ 27.003-2016 [5], водоотлив можно отнести к объектам многократного циклического применения.



Рис. 1. Вид технологической тележки тоннелепроходческого механизированного комплекса с грунтопригрузом /
Fig. 1. Type of TBM service trolley with soil load

При горном способе проходки горизонтальных горных выработок в устойчивых породах значение водоотлива резко возрастает. При ручных и полумеханизированных способах проходки уступным способом [6], а также буровзрывных методах важно постоянное осушение забойного пространства от постоянно поступающего водопритока. Качество откачиваемой воды близко к чистой. Но в отличие от щитовой проходки забойные насосы задействованы практически непрерывно.

На подземных строительных работах значительное внимание уделяется водоотливу, на который выделяется отдельный обслуживающий персонал и инженерно-технический персонал, ответственный за исправное техническое состояние оборудования. Но в строительных организациях зачастую отсутствуют регламенты обслуживания водоотливных установок и, в частности, центробежных насосов.

Обслуживание центробежных насосов можно разделить на три основные категории [7]:

1. Основное техническое обслуживание, например, очистка насоса. Касается тех работ, которые должны выполняться в том или ином виде для долговременной службы насосного оборудования.

2. Устранение неисправностей, требующих небольших ремонтных работ, например неисправности подшипников и утечки из-за дефектов уплотнений. Предусматривается замена изнашиваемых деталей насосной установки при длительной работе.

3. Устранение серьезных неисправностей, требующих замены, например прогорание статора или повреждение крыльчатки насоса. В статье Н. П. Овчинников говорит о влиянии износа крыльчатки на рабочие характеристики насоса [8]. Описывает серьезные повреждения, обычно вызванные неожиданными неисправностями (случайные отказы) или отсутствием обслуживания.

Хорошо спроектированная система мониторинга сможет помочь персоналу, который склонен совершать ошибки в любой из трех упомянутых категорий.

Традиционно первые две категории работ, в том числе и на предприятиях, занятых в подземном строительстве, выполняются путем планового технического обслуживания или, что чаще встречается, обслуживания после отказа в специальных ремонтно-механических цехах. В каждую плановую процедуру обслуживания закладывается определенный набор быстро изнашиваемых деталей, которые меняют во избежание будущих поломок.

При использовании системы мониторинга обслуживание может быть выполнено по запросу, что сэкономит затраты на ненужные запасные части. И, что еще более важно, насос следует останавливать для технического обслуживания только тогда, когда это действительно необходимо.

Для последней категории система мониторинга сможет обнаруживать и останавливать насос до того, как данная неисправность вызовет полную поломку насоса. Для производительных насосов при своевременном обнаружении неисправностей станет возможен ремонт (для некоторых насосов малой производительности крупный капитальный ремонт нецелесообразен), что будет означать сэкономленные средства вместо покупки нового оборудования.

Цель работы: проведение обзора перспективных систем мониторинга водоотливных установок при строительстве подземной части метрополитена.

Методы работы

Представленная работа основана на анализе актуальной научно-технической информации в виде научных работ, статистических сборников (World Mining Data, Mining Risk Review), информационно-аналитических порталов (investing.com, companiesmarketcap.com, mining-technology.com), сайтов горнодобывающих компаний.

Проведена оценка возможности применения современных методов диагностики насосного оборудования (вибродиагностика, акустический анализ, термография, анализ параметров работы), а также перспективных методов IoT дистанционного контроля состояния рабочих органов насосов.

Результаты работы

Некоторые из этих упомянутых элементов системы мониторинга уже используются в существующей системе водоотлива, что позволяет снизить затраты на внедрение системы мониторинга. Неисправности в центробежных насосах различных типов можно классифицировать по конструктивным блокам насосов и природе этих неисправностей.

Механические неисправности электродвигателя

Обнаружению и идентификации неисправностей в асинхронных двигателях в последние годы уделяется много внимания. В работе рассматриваются все виды неисправностей асинхронных двигателей. В [9, 10] утверждается, что основные причины неисправностей асинхронных двигателей можно разделить на три группы, изображенные на рисунке 2.

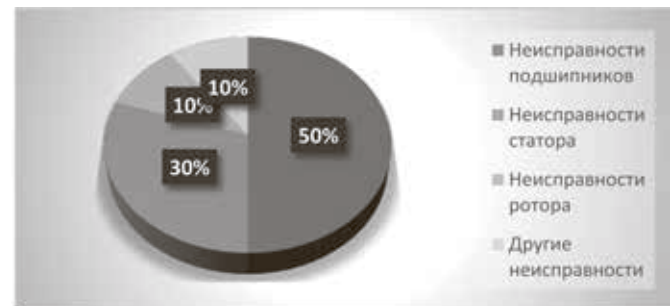


Рис. 2. Основные неисправности приводного электродвигателя центробежного насоса /

Fig. 2. Main failures of the drive electric motor of a centrifugal pump

Большинство механических поломок двигателей происходит из-за неисправностей подшипников. Однако есть и другие критические поломки, например изгиб вала, в результате чего может произойти соприкосновение статора и ротора.

Для всей группы механических неисправностей наиболее часто используемые схемы обнаружения делятся на две группы:

1. Спектральный анализ токов двигателя [11, 12].
2. Спектральный анализ вибрационных сигналов.

Спектральный анализ токов двигателя исследуется в [13–15]. В [16] вейвлет-анализ используется для анализа тока статора при запуске для обнаружения неисправностей подшипников, а в [14] спектр тока во время работы в установившемся режиме используется также для диагностики подшипников. В [13] дается обзор различных методов анализа

сигналов: преобразования Фурье, вейвлет-анализа, модуляции и демодуляции сигнала.

В настоящий момент существуют коммерческие продукты на основе анализа спектра вибрации для обнаружения механических неисправностей. Такие компании, как SKF и Brüel & Kjær, предлагают портативные, или стационарные, анализаторы вибрации для обслуживающего персонала. На рисунке 3 показан один из них.



Рис. 3. Портативное устройство для мониторинга механических вибраций промышленного оборудования /
Fig. 3. Portable device for monitoring mechanical vibrations of industrial equipment

На рисунке 3 отображается спектр вибраций, предоставляя пользователю возможность интерпретировать сигнал и тем самым сделать вывод, исправен двигатель или нет. Обслуживающему персоналу при наблюдении за частотным спектром можно установить пороги срабатывания сигнализации на части этого спектра.

Несмотря на то что анализ сигналов вибрации считается наиболее часто используемым методом для обнаружения механических неисправностей в электродвигателях, усовершенствованные устройства защиты электродвигателей могут обнаруживать и некоторую степень механических неисправностей. Такие устройства защиты двигателя предлагают Siemens, Rockwell Automation и ABB.

С помощью устройств защиты двигателя, показанных на рисунке 4, можно обнаружить такие неисправности, как блокировка ротора и высокая температура обмотки, которые могут быть вызваны механическими неисправностями.

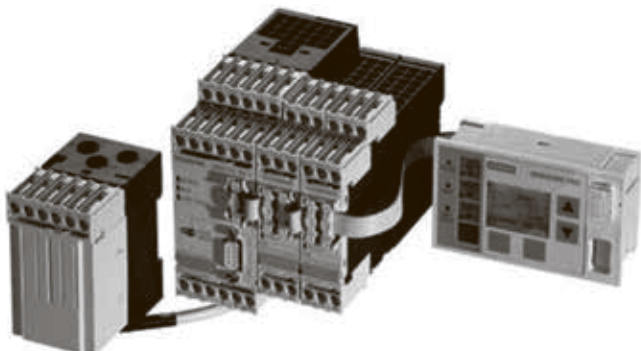


Рис. 4. Устройство управления и защиты электродвигателя /
Fig. 4. Motor control and protection device

Электрические неисправности электродвигателя

Неисправности статора и ротора обозначаются как электрические неисправности. Эти неисправности несут ответственность за 35–50 % неисправностей в асинхронных

двигателях. Единственная упомянутая электрическая неисправность – в роторе сломан штанг ротора.

Однако для статора электродвигателя рассматриваются три основные группы неисправностей. Они включают в себя: межвитковые короткие замыкания; межфазные короткие замыкания и фазу на землю. Из них наибольшее внимание привлекла неисправность межвиткового короткого замыкания. Это можно объяснить ссылкой на [17, 18], где утверждается, что межфазные замыкания или замыкания на землю часто начинаются с межвиткового замыкания цепи в одной из фаз статора.

Для крупных промышленных водоотливных установок могут использоваться интеллектуальные блоки защиты двигателя. Эти блоки защиты могут обнаруживать замыкания на землю и перегрузки по току, которые могут быть инициированы межвитковыми короткими замыканиями. Эти типы устройств защиты двигателя доступны, например, для Siemens, Rockwell Automation и ABB. Кроме того, инструменты автономного анализа (рис. 5) доступны, например, в компании Baker Instrument Company, которая способна обнаруживать межвитковое короткое замыкание в статорах электрических машин напрямую.



Рис. 5. Анализатор обмоток электродвигателя /
Fig. 5. Motor winding analyzer

Неисправности гидравлической части центробежного насоса

Наиболее частая причина неисправностей гидравлической части центробежных насосов – кавитация. Кавитация – это явление, физический процесс, характеризующийся образованием пузырьков (каверны, пустоты) в жидкой транспортируемой среде с последующим их схлопыванием и высвобождением большого количества энергии. В результате чего рабочее колесо разрушается после достаточно небольшого срока службы.

В литературе также рассматриваются и другие неисправности.

Здесь упоминаются самые важные из них:

- препятствие внутри насоса или во впускной или выпускной трубе. Данной проблеме посвящено множество работ, в том числе современные исследования, посвященные раннему обнаружению проблем, связанных с гидравлическим ударом [19]. Данный вопрос является серьезным и может приводить к полному разрушению механической части насоса;
- утечка из насоса из впускной или выпускной трубы;
- утечка внутри насоса;
- блокировка рабочего колеса;
- дефект крыльчатки;
- неисправности подшипников.

Далее рассматриваются методы обнаружения кавитации и

обзор наиболее интересных подходов к обнаружению переносимых выше неисправностей.

Обнаружение кавитации

Явление кавитации известно на протяжении десятилетий и рассматривается в большинстве книг о центробежных насосах [20, 21]. Кавитация традиционно определялась в точке, где давление насоса упало на 3 %. Но поскольку деградация насосного агрегата начинается задолго до 3 %-ного предела, то ниже упомянуты прогрессивные методы обнаружения кавитации до этой точки падения давления насоса.

Предложенные подходы к обнаружению кавитации сводятся к регистрации сигналов механических колебаний, высокочастотных пульсаций давления, акустических шумов [22] и наблюдений.

Сигнал механической вибрации исследован в [23], а в [21] утверждается, что сигнал давления имеет преимущество перед сигналом вибрации. Высокочастотный сигнал давления также рассматривается в [24], где связь кавитации внутри насоса и пульсации давления установлены на основе экспериментов, представленных в статье. То же самое зафиксировано в [25], где приводятся испытания на контролируемую кавитацию в специально разработанном трубопроводе.

Более сложные методы приведены в [26–27]. Аудиомикрофоны размещены вокруг насоса и собирают звуковой шум, создаваемый кавитацией, а в [27] внутри насоса размещена камера наблюдения, которая снимает пузыри, возникающие во время кавитации.

Более современные исследования кавитации насоса направлены на опознание кавитационных процессов на основе механических вибраций насоса при помощи акселерометра [28].

Мониторинг производительности и обнаружение неисправностей

Сигнал механической вибрации был предложен для общего обнаружения неисправностей в центробежных насосах [20, 29]. В [20] утверждается, что изменение уровня вибрации насоса может использоваться как указание на необходимость обслуживания.

Спектр сигналов вибрации также используется для обнаружения и идентификации числа частот неисправностей центробежных насосов [30, 31]. Этот вопрос так же подробно рассмотрен в русскоязычных источниках и справочниках [32–35]. В [30] текущий спектр используется как входные данные для классификатора неисправностей на основе нечеткой логики.

На сегодняшний день на рынке представлены устройства мониторинга гидравлической части насоса. Например, компания Grundfos разработала блок CU3 для защиты погружных насосов (рис. 6).

Компания KSB запустила в производство модуль PumpExpert, который позволяет обнаруживать кавитацию, дефекты подшипников и износа рабочего колеса. Кроме того, в устройство включена защита от сухого хода. Подход к идентификации основан на «дереве отказов». Аналогичным образом ITT запустила набор модулей мониторинга с брендом PumpSmart. Этот блок мониторинга основан на оценке уровня текущей рабочей мощности и находит неисправности, влияющие на уровень мощности. Сигнализация может настраиваться на разные рабочие точки насоса.



Рис. 6. Блок управления насосом на основе датчика давления / Fig. 6. Pump control unit based on a pressure sensor

Также существуют специальные датчики для защиты уплотнений. Так, компания Grundfos предлагает датчик влажности LiqTес для защиты уплотнений, смазываемых водой.

Помимо упомянутых выше продуктов, существуют центробежные насосы со встроенными электронными блоками управления, предлагающие обнаружение ошибок и защитное отключение оборудования. Еще более дорогими могут быть индивидуальные системы мониторинга под конкретную водоотливную установку.

Индивидуально разработанная система мониторинга может использовать различные наборы датчиков.

Для центробежных насосов могут быть использованы следующие датчики:

- датчики тока и датчики напряжения;
- датчики абсолютного давления и разности давлений;
- датчики потока и датчики температуры;
- датчики тока и напряжения, а также расхода и давления.

Предложения автора

1. Применительно к условиям строительства подземных городских сооружений предлагается провести аудит применения насосных систем в разных сферах подземного строительства и определить целесообразность применения тех или иных систем мониторинга.

2. Предлагается нижеприведенная экспертная оценка рассмотренных систем мониторинга и обнаружения неисправностей.

Для насосов местного водоотлива целесообразно применение акустического вибромониторинга переносными устройствами с визуальным осмотром.

Главные водоотливные установки, принимающие воду из тоннелей, предлагается оснастить блоками управления, основанными на диагностике гидравлической части насоса, а также датчиками, визуализирующими основные показатели: давление, расход, ток электродвигателя.

Для более сложных водоотливных систем, к примеру, используемых при водопонижении, или циркуляционного водяного охлаждения щитовых комплексов целесообразно применять комплексные стационарные системы оценки на основе моделей и сигналов, получаемых от датчиков системы мониторинга.

Заключение

1. В данной статье приведен краткий обзор условий применения водоотливных насосных систем как одного из процессов строительства подземных сооружений, в частности метрополитена.

2. Приведена оценка основных групп неисправностей, возникающих во время эксплуатации насосного оборудования, а также сгруппированных по местам возникновения поломки методы обнаружения неисправностей центробежных насосов, в том числе и погружных с электродвигателем.

3. Результаты исследований могут быть полезными при проведении работ по строительству подземных сооружений, для руководящего состава строительных организаций и линейных инженерно-технических работников.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. СНиП 32-02-2003 Метрополитены»: СП 120.13330.2012 : утв. Министерством регионального развития 30.06.2012: введ. в действие с 01.01.2013. Москва, 2016: 58 [SNiP 32-02-2003 Subways: SP 120.13330.2012: approved by the Ministry of Regional Development on 30.06.2012: put into effect on 01.01.2013. Moscow, 2016: 58 (In Russ.)]
2. Потапов МА, Потапова ЕВ. Стволопроходческие комплексы: практика применения для проходки вертикальных стволов Московского метрополитена за последние 10 лет. *Метро и тоннели*. 2016;2:12-7 [Potapov MA, Potapova EV. Shaft boring complexes: practice of application for driving vertical shafts of the Moscow metro over the past 10 years. *Metro and tunnels*. 2016;2:12-7 (In Russ.)]
3. Есауленко ПП. Новый прорыв в технологии проходки шахтных стволов. *Метро и тоннели*. 2020;3:42-4. [Esaulenko PG. A new breakthrough in shaft sinking technology. *Metro and Tunnels*. 2020;3:42-4 (In Russ.)]
4. Федунец БИ, Мазеин СВ. Оснащение щита для минимизации осадки земной поверхности грунтопригрузом тоннелепроходческого механизированного комплекса. *Метро и тоннели*. 2016;2:4-6. [Fedunets BI, Mazein SV. Shield equipment to minimize surface subsidence by using earth pressure in a tunnel boring machine. *Metro and Tunnels*. 2016;2:4-6 (In Russ.)]
5. Надежность в технике (ССНТ). Состав и общие правила задания требований по надежности: ГОСТ 27.003-2016. Введ. 2017.09.01. Москва, 2018:14. [Reliability in engineering (SSNT). Structure and general rules for reliability requirements: GOST 27.003-2016. Enacted 2017.09.01. Moscow, 2018:14 (In Russ.)]
6. Пашковец ВС. Способы проходки тоннелей в условиях крупных городов. *Master's Journal*. 2019;1:102-9. [Pashkovets VS. Methods of tunneling in large cities. *Master's Journal*. 2019;1:102-9 (In Russ.)]
7. Kallesøe C. Fault detection and isolation in centrifugal pumps. Department of Control Engineering. Aalborg University, 2005.
8. Овчинников НП. Прочностной расчет вала насоса с изношенным рабочим колесом. *Инженерные технологии и системы*. 2017;27:4. [Ovchinnikov NP. Strength calculation of a pump shaft with a worn impeller. *Engineering technologies and systems*. 2017;27:4 (In Russ.)]
9. Baldassarre A, de Lucia M, Nesi P. Real-Time Detection of Cavitation for Hydraulic Turbomachines. *Real-Time Imaging*. 1998;4(6):403-16.
10. Каримова АЛ. Способ повышения эксплуатационных характеристик насосных агрегатов нефтеперекачивающих станций. *Аллея науки*. 2020;2(11):147-9. [Karimova AL. Method for improving the performance of pump units at oil pumping stations. *Science Alley*. 2020;2(11):147-9 (In Russ.)]
11. Kumar EA, Singh EA, Maurya RM. Assessment of Mechanical Problems for Centrifugal Pumps in Eastern Uttar Pradesh, India. *International Journal of Advanced Engineering, Management and Science*. 2018; 4(9):686-9.
12. Luo Y, Han Y, Zhang F. Research on the operation condition indicator for centrifugal pump based on sensorless monitoring technology. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part E. Journal of Process Mechanical Engineering*. 2021;235(2):514-26.
13. Eren L, Devaney MJ. Motor bearing damage detection via wavelet analysis of the starting current transient. *IMTC 2001. Proceedings of the 18th IEEE Instrumentation and Measurement Technology Conference. Rediscovering Measurement in the Age of Informatics (Cat. No. 01CH 37188)*. 2001;3:1797-800.
14. Schoen RR, et al. Motor bearing damage detection using stator current monitoring. *IEEE transactions on industry applications*. 1995;31(6):1274-9.
15. Benbouzid MEH. A review of induction motors signature analysis as a medium for faults detection. *IEEE transactions on industrial electronics*. 2000;47(5):984-9.
16. Friedrichs J, Kosyna G. Rotating cavitation in a centrifugal pump impeller of low specific speed. *J. Fluids Eng*. 2002;124(2):356-2.
17. Bonnett AH, Soukup GC. Cause and analysis of stator and rotor failures in three-phase squirrel-cage induction motors. *IEEE Transactions on Industry applications*. 1992;28(4):921-37.
18. Kliman GB, et al. A new approach to on-line turn fault detection in AC motors. *IAS'96. Conference Record of the 1996. IEEE Industry Applications Conference Thirty-First IAS Annual Meeting*. 1996;1:687-93.
19. Dutta N, et al. Identification of water hammering for centrifugal pump drive systems. *Applied Sciences*. 2020;10(8):2683.
20. Surek D. Pressure oscillations in side channel pumps. *Forschung im Ingenieurwesen*. 2000;66(2):79-93.
21. Sayers AT. Hydraulic and Compressible Flow Turbomachines. Oxford: McGraw-Hill, 1990:456.
22. Murovec J, et al. Psychoacoustic approach for cavitation detection in centrifugal pumps. *Applied Acoustics*. 2020;165:107323.
23. Lohrberg H, et al. Numerical and experimental investigations on the cavitating flow in a cascade of hydrofoils. *Experiments in fluids*. 2002;33(4):578-86.
24. Friedrichs J, Kosyna G. Rotating cavitation in a centrifugal pump impeller of low specific speed. *J. Fluids Eng*. 2002;124(2):356-62.
25. Neill GD, et al. Detection of incipient cavitation in pumps using acoustic emission. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers. Part E. *Journal of process mechanical engineering*. 1997;211(4): 267-77.
26. Čudina M, Prezelj J. Noise generation by rotating stall and surge in a vacuum cleaner suction unit. *Fan Noise 2003: Proceedings of the 2nd International Symposium, An International INCE Symposium*. Senlis, France: CETIM, Technical Centre for Mechanical Industries; CETIAT, 2003: 1-8.
27. Baldassarre A, de Lucia M, Nesi P. Real-time detection of cavitation for hydraulic turbomachines. *Real-Time Imaging*. 1998;4(6):403-16.
28. Hajnaye A, et al. Vibration-based cavitation detection in centrifugal pumps. *Diagnostyka*. 2017;18(3):77-83.
29. le Bleu Jr J, Xu M. Vibration monitoring of sealless pumps using spike energy. *Sound & Vibration*. 1995;29(12):10-6.
30. Perovic S, Unsworth PJ, Higham EH. Fuzzy logic system to detect pump faults from motor current spectra. *Conference record of the 2001 IEEE industry applications conference*. 2001;1:274-80.
31. Kenull T, Kosyna G, Thamsen PU. Diagnostics of submersible motor pumps by non-stationary signals in motor current. *ASME fluids engineering division summer meeting*. 1997; 11.
32. Костюков ВН, Науменко АП. Основы виброакустической диагностики и мониторинга машин: учебное пособие. Омск, 2011:360. [Kostyukov VN, Naumenko AP. Fundamentals of vibroacoustic diagnostics and machine monitoring: textbook. Omsk, 2011:360 (In Russ.)]

33. Костюков ВН, Наumenко АП, Кудрявцева ИС. Оценка модуля характеристической функции виброакустического сигнала при заданном параметре для предельных состояний объекта диагностирования. *Динамика систем, механизмов и машин*. 2017;5(4). [Kostyukov VN, Naumenko AP, Kudryavtseva IS. Evaluation of the characteristic function modulus of a vibroacoustic signal under a given parameter for limit states of the diagnostic object. *Dynamics of Systems, Mechanisms and Machines*. 2017;5(4) (In Russ.)]

34. Клюев ВВ и др. Неразрушающий контроль: Справочник в 7 т: Т. 7: Метод акустической эмиссии. Москва, 2005. [Klyuev VV et al. Non-destructive testing: Handbook in 7 volumes: Vol. 7: Acoustic emission method. Moscow, 2005 (In Russ.)]

35. Петрухин ВВ, Петрухин СВ. Основы вибродиагностики и средства измерения вибрации: учебное пособие. Москва, 2010:176. [Petrukhin VV, Petrukhin SV. Fundamentals of vibration diagnostics and vibration measurement tools: textbook. Moscow, 2010:176 (In Russ.)]

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ

Егор Александрович Александров – аспирант 3-го курса кафедры горного оборудования, транспорта и машиностроения. Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСЦ», 119049, г. Москва, Российская Федерация, e-mail: swat94@inbox.ru

ABOUT THE AUTHOR

Egor A. Aleksandrov – PhD Student (3rd year) at the Department of Mining Equipment, Transport, and Mechanical Engineering, Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education «National University of Science and Technology MISiS», 119049, Moscow, Russian Federation

Информация о статье

Поступила в редакцию: 21.01.2025.

Поступила после рецензирования: 07.03.2025.

Принята к публикации: 26.03.2025.

Article info

Received: 21.01.2025.

Revised: 07.03.2025.

Accepted: 26.03.2025.

ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЫПУСКА РУДЫ ПОД ОБРУШЕННЫМИ ПОРОДАМИ ПРИ ОТРАБОТКЕ МЕЖДУЭТАЖНЫХ ЦЕЛИКОВ ПРИ ЭТАЖНО-КАМЕРНОЙ СИСТЕМЕ РАЗРАБОТКИ

Б. А. Ахпашев✉, А. И. Голованов, И. И. Демченко

Сибирский федеральный университет, г. Красноярск, Российская Федерация

✉ bg1967@ya.ru

Аннотация. Работа посвящена физико-математическому моделированию выпуска рудной массы при погашении междуэтажных целиков (МЭЦ) при этажно-камерной системе разработки. При проведении исследований первоначально применено физическое моделирование выпуска рудной массы при отработке МЭЦ в масштабе 1:100. Для дальнейшего экономико-математического моделирования отработки междуэтажного целика разработана 3D-модель выпуска рудной массы. Математическое моделирование процесса выпуска рудной массы позволило установить зависимости формирования величин потерь и разубоживания от величины выпущенной горной массы при различных параметрах рудных тел и условий их залегания. Полученные результаты физико-математического моделирования использовались при нормировании потерь и разубоживания для данной системы разработки.

Ключевые слова: подземная разработка, системы разработки, выемка целиков, междуэтажный целик, потери и разубоживание, физико-математическое моделирование

Для цитирования: Ахпашев БА, Голованов АИ, Демченко ИИ. Физико-математическое моделирование выпуска руды под обрушенными породами при отработке междуэтажных целиков при этажно-камерной системе разработки. *Маркшейдерия и недропользование*. 2025;25(2):26-32. <https://doi.org/10.56195/20793332-2025-25-2-26-32>.

PHYSICO-MATHEMATICAL MODELING OF ORE DRAWING UNDER COLLAPSED ROCKS DURING THE DEVELOPMENT OF INTER-FLOOR PILLARS WITH A FLOOR-CHAMBER MINING SYSTEM

Б. А. Akhpashev✉, А. I. Golovanov, I. I. Demchenko

Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russian Federation

✉ bg1967@ya.ru

Abstract. The work is devoted to the physico-mathematical modeling of ore drawing under collapsed rocks during the development of inter-floor pillars (IFP) with a floor-chamber mining system. During the research, the physical modeling of the ore drawing during the development of the IFP on a scale of 1:100 was initially applied. A 3D model of ore mass production has been developed for further economic and mathematical modeling of the development of the inter-floor pillars. Mathematical modeling of the ore drawing release process made it possible to establish the dependences of the formation of loss and dilution values on the amount of released rock mass under various parameters of ore bodies and their occurrence conditions. The obtained results of physico-mathematical modeling were used in the normalization of losses and quality for this development system.

Keywords: underground development, development systems, pillar extraction, inter-floor pillars, loss and dilution values, physical and mathematical modeling

For citation: Akhpashev BA, Golovanov AI, Demchenko II. Physico-mathematical modeling of ore drawing under collapsed rocks during the development of inter-floor pillars with a floor-chamber mining system. *Mine Surveying and Subsurface Use*. 2025;25(2):26-32. (In Russ.). <https://doi.org/10.56195/20793332-2025-25-2-26-32>.

Введение

Исследования, направленные на повышение эффективности выпуска руды под обрушенными породами при отработке междуэтажных целиков (МЭЦ) и междукамерных целиков (МКЦ), являются весьма актуальными на современном этапе развития горного производства.

Определению закономерностей истечения руды при выпуске под обрушенными породами посвящены многочисленные исследования [1–17].

Системы разработки подэтажных штреков и этажно-камерные широко применяются на отечественных и зарубежных рудниках при подземной разработке месторождений. Данные системы находят применение на мощных и средней мощности рудных телах при различных углах падения залежи. При своей достаточно высокой эффективности, особенно на стадии отработки камер, эти системы имеют существенные потери и разубоживание на стадии погашения целиков.

Последовательность отработки блока: после отработки запасов камеры производят отработку МЭЦ с выпуском под обрушенными породами с последующим извлечением запасов МКЦ.

Цель исследований: определение зависимостей величин потерь и разубоживания от мощности рудного тела при погашении междуэтажных целиков.

Задачи исследований: проведение физического и экономико-математического моделирования процесса выпуска запасов МЭЦ под обрушенными породами для различных мощностей и углов падения залежи; установление зависимостей величин потерь и разубоживания от угла падения и мощности рудного тела.

Материал и методы исследований

К исследованию был принят вариант системы с расположением камер по простиранию рудных тел мощностью до 15 м, с наклонным (45°) днищем при высоте этажа 30 м.

В качестве исходного материала для физического моделирования выпуска рудной массы были приняты породные и рудные (вкрапленная медно-никелевая руда) керны Масловского месторождения.

После дробления кернов полученный материал классифицировался посредством грохочения на классы:

- порода +7–10 и +10–15 мм;
- руда +1–3; +3–5; +5–6; +6–10 мм.

Для обеспечения возможности разделения руды и породы в процессе проведения эксперимента, а также визуализации процесса выпуска порода как более крупная была окрашена водоземulsionной краской в белый цвет.

Оборудование для доставки отбитой горной массы

Погрузка и доставка отбитой рудной массы выполнялась с использованием погрузочно-доставочных машин (ПДМ) Caterpillar (США) и Epiroc (Швеция) с ковшами 5,8 и 6,4 м³, грузоподъемностью до 14 т, что обеспечивало необходимую производительность при транспортировке горной массы от забоя до рудоспуска.

Для моделирования был изготовлен ковш ПДМ EpirocST14, имитирующий форму и размеры в принятом масштабе моделирования (рис. 1). Основной размер – ширина ковша – 3,040 м.

Физическое моделирование выпуска рудной массы при отработке запасов междуэтажного целика учитывало четыре стадии его погашения (рис. 2).

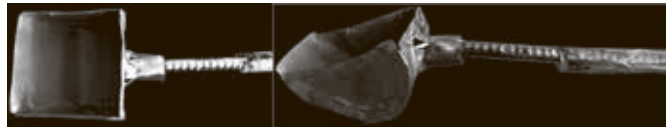


Рис. 1. Ковш погрузочно-доставочной машины для физического моделирования /

Fig. 1. Bucket loading and delivery machine for physical simulation

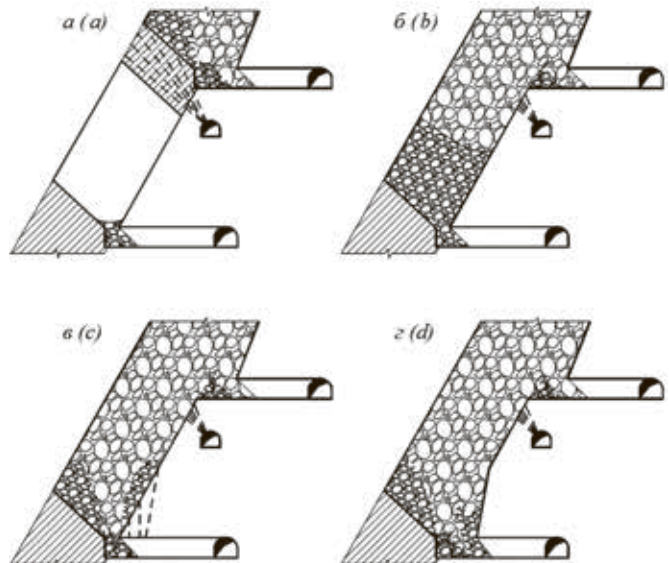


Рис. 2. Стадии отработки:

а – обуривание; б – обрушение; в – основной выпуск и обуривание лежащего бока; г – довыпуск руды с лежащего бока /
Fig. 2. Mining stages: a – drilling; b – collapse; c – main release and drilling of the recumbent side; d – additional release of ore from the recumbent side

Чертеж станда для физического моделирования выпуска рудной массы приведен на рисунке 3.

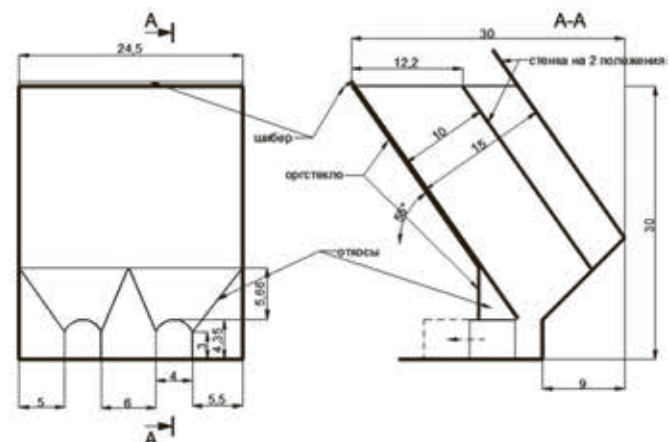


Рис. 3. Чертеж станда для физического моделирования выпуска рудной массы /

Fig. 3. Drawing of a stand for physical modeling of ore drawing

3D-схема станда для физического моделирования выпуска рудной массы при погашении МЭЦ показана на рисунке 4.

Порядок засыпки модели:

1. Погрузочные орты изолируются от камеры легкоизвлекающимся материалом.
2. Модель наклоняется в сторону наблюдателя, и происходит засыпка породы в откосы над ортами до тех пор, пока можно было закрыть шибер.

3. Шибер задвигается до кровли погрузочных ортов.
4. Модель устанавливается горизонтально.
5. Модель засыпается отбитой рудой МЭЦ.

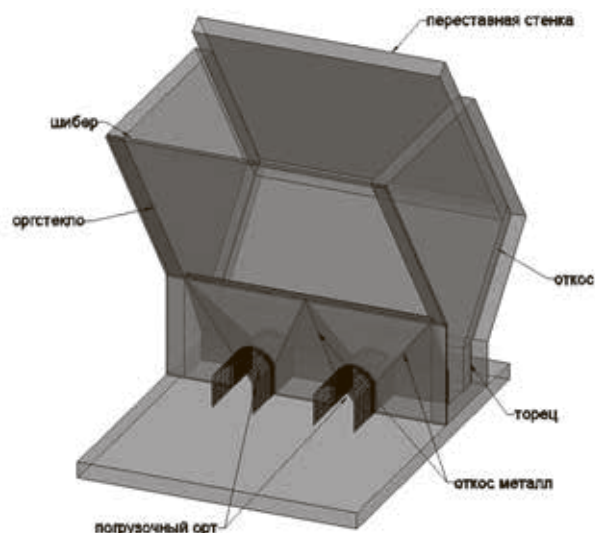


Рис. 4. 3D-модель стенда для физического моделирования выпуска руды /
Fig. 4. 3D model of the stand for physical modeling of ore drawing

Предварительная навеска руды среднего гранулометрического состава составляла при толщине МЭЦ, равной 11 м, и мощности рудного тела 10 и 15 м – 7 кг и 10 кг соответственно.

Модель засыпалась до уровня, начерченного на внутренней стороне модели, соответствующего объему погашения камерных запасов от обрушения МЭЦ; далее в модель засыпались обрушенные породы.

Порядок отработки модели:

1. Из погрузочных ортов равномерно-последовательно осуществлялся выпуск рудной массы до предельного разубоживания, после чего выпуск приостанавливался.

2. Извлекался шибер, погрузочные орты отодвигались до границы откосов, и выпуск продолжался до наступления предельного разубоживания.

Для моделирования выпуска рудной массы при погашении междуэтажного целика при разной мощности рудного тела была изготовлена одна модель. Различия при моделировании по мощности рудного тела регулировались положением задней стенки модели.

В процессе эксперимента в качестве дозы выпуска было принято 6 ковшей.

В каждой дозе выпуска отдельно взвешивались руда и порода с точностью до 0,01 г.

Величины потерь и разубоживания по результатам моделирования определялись по следующим формулам:

$$\pi = \frac{B - D_p}{B} \cdot 100, \% \quad (1)$$

$$p = \frac{B}{D} \cdot 100, \% \quad (2)$$

где B – количество руды, засыпанной в модель, г;

D_p – количество руды, выпущенной из модели, г;

B – количество породы, выпущенной из модели, г;

D – количество рудной массы, выпущенной из модели, г.

Для физического моделирования были приняты следующие варианты погашения МЭЦ: при угле падения залежи 55° и мощности рудного тела 10 м и 15 м.

В статье приводятся результаты физического моделирования выпуска отбитой рудной массы при погашении МЭЦ при мощности рудного тела 15 м.

Предварительно готовилась навеска руды из четырех фракций массой 10 тыс. г. Загружалась модель. Масса руды, засыпанной в модель, определялась как разность между 10 тыс. г и массой оставшейся руды.

Всего для мощности рудного тела 15 м было проведено 5 экспериментов.

Ниже приведены данные по одному эксперименту. Для проведения исследования была загружена модель. Масса оставшейся навески руды составила 1 694 г. Масса загруженной руды в модель – 8 306 г.

Характерные фотографии процесса выпуска руды показаны на рисунке 5.

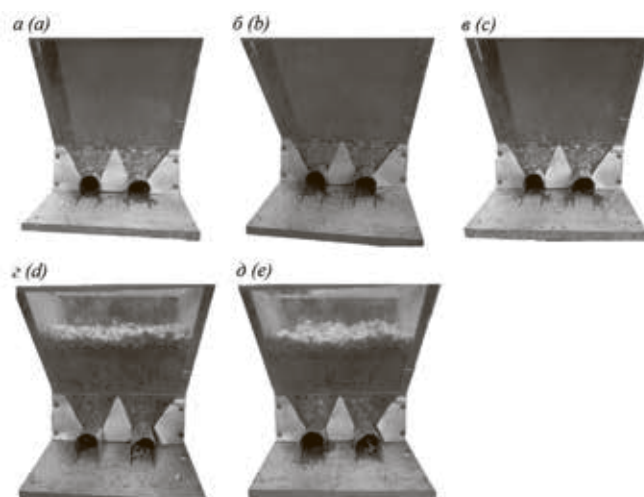


Рис. 5. Характерные этапы выпуска при погашении междуэтажного целика при $m_p = 15$ м: а – 120 ковш; б – 240 ковш; в – 360 ковш; г – 540 ковш; д – 660 ковш /

Fig. 5. Typical release stages when the inter-floor rear sight is extinguished at $m_p = 15$ m: а – 120 bucket; б – 240 bucket; в – 360 bucket; д – 540 bucket; е – 660 bucket

До извлечения шибера процесс выпуска невозможно наблюдать через оргстекло. Фотографии были сделаны горизонтально, поэтому зрительно вертикально расположенные стенки модели кажутся наклонными. Всего из модели было выпущено 732 ковша горной массы.

Укрупненные результаты выпуска рудной массы приведены в таблице 1.

Сводные графики потерь и разубоживания представлены на рисунках 6 и 7.

Математическая обработка данных физического моделирования выпуска отбитой рудной массы при погашении МЭЦ позволила установить зависимости потерь и разубоживания руды от мощности рудного тела (рис. 8 и 9).

Как видно из рисунка 8, минимальные потери руды в процессе всего выпуска наблюдаются при мощности рудного тела 10 м. С увеличением мощности потери возрастают. При одинаковом объеме добытой рудной массы 7 тыс. т потери равны 17 и 42 %, соответственно при мощности рудного тела 10 и 15 м.

В начале выпуска происходит добыча чистой руды. Затем, как видно из графиков (рис. 9), разубоживание при меньшей мощности рудного тела повсеместно выше, чем при большей мощности. Например, при одинаковом объеме добычи

7 тыс. т, разубоживание равно 40 и 32 % соответственно при мощности рудного тела 10 и 15 м.

Таблица 1 / Table 1

Данные по выпуску рудной массы в процессе моделирования при мощности залежи 15 м /
Data on the release of ore drawing the simulation process at an ore body capacity of 15 м

№ ковша	Рудная масса с нарастающим итогом, г	Порода, г	Руда, г	Разубоживание, %	Потери, %
1-120	1307,7	0	1307,7	0,00	84,26
121-180	1939,5	55,78	1883,72	2,88	77,32
181-240	2588,98	179,4	2409,58	6,93	70,99
241-300	3236,24	434,07	2802,17	13,41	66,26
301-360	3872,56	678,04	3194,52	17,51	61,54
361-420	4513,76	951,09	3562,67	21,07	57,11
421-480	5169,11	1305,71	3863,4	25,26	53,49
481-540	5815,83	1782,75	4033,08	30,65	51,44
541-600	6444,01	2182,1	4261,91	33,86	48,69
601-660	7098,7	2598,52	4500,18	36,61	45,82
661-732	7879,53	3170,45	4709,08	40,24	43,31

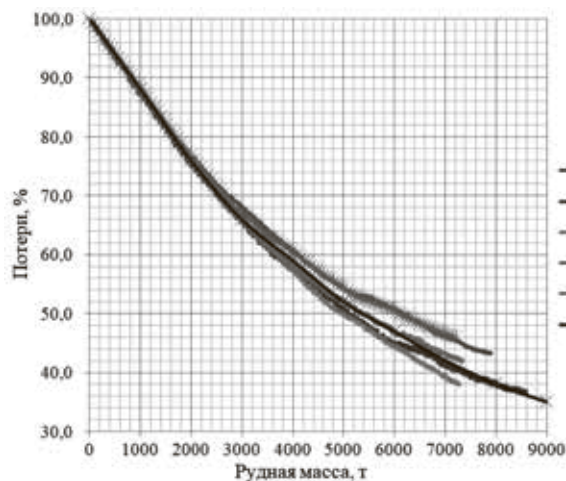


Рис. 6. Сводные графики изменения потерь в зависимости от количества добытой рудной массы при $m_p = 15$ м /
Fig. 6. Summary graphs of loss changes depending on the amount of ore mass extracted at $m_p = 15$ m

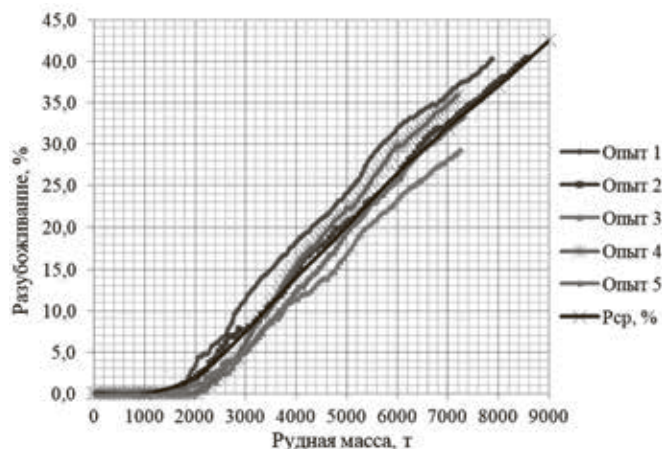


Рис. 7. Сводные графики изменения разубоживания в зависимости от количества добытой рудной массы при $m_p = 15$ м /
Fig. 7. Summary graphs of the dilution values change depending on the amount of ore mass extracted at $m_p = 15$ m

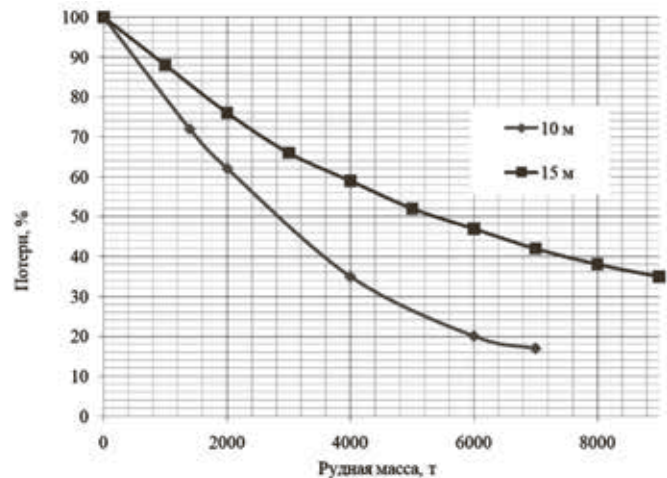


Рис. 8. Зависимости потерь отбитой руды от мощности рудного тела и объема добычи /
Fig. 8. The dependence of the losses of the beaten ore on the capacity of the ore body and the volume of production

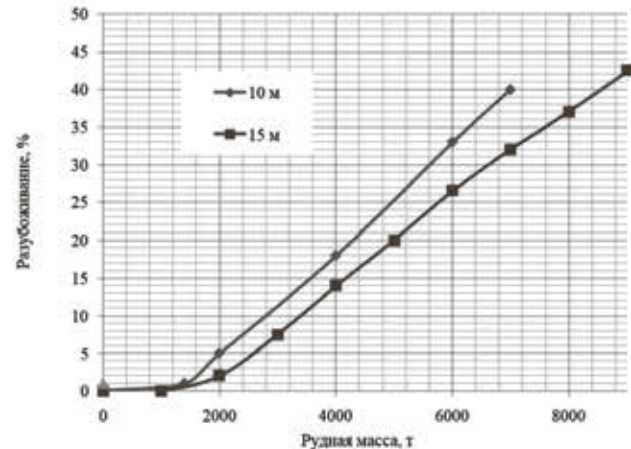


Рис. 9. Зависимость разубоживания руды от мощности рудного тела и объема добычи /
Fig. 9. Dependence of ore dilution on the ore body capacity and production volume

Для установления зависимостей величин потерь и разубоживания для всего спектра горно-геологических условий, характерных для рудника, было проведено экономико-математическое моделирование.

Для экономико-математического моделирования выпуска руды, разрушенного массовым взрывом междуэтажного целика, разработана 3D-модель выпуска рудной массы в среде AutoCad (рис. 10).

В 3D-модели имеется два тела, имитирующих обрушенную руду и вмещающий необрушенный массив. Выработанное пространство в модели не заполняется, так как пустота имитирует обрушенную породу.

Процесс моделирования в среде AutoCad заключается в следующем:

В 3D-модели указываются массив, руда и начальная точка выпуска.

Устанавливаются начальная высота и шаг прироста высоты фигуры выпуска, задаются ширина выпускного отверстия и глубина забора руды.

3. В автоматическом режиме с использованием разработанной авторами LISP-программы осуществляется:

– построение фигуры выпуска заданной высоты;

- обрезка фигуры выпуска массивом и вычисление объема фигуры выпуска;
- вычитание фигуры выпуска из 3D-объекта, имитирующего руду и определение оставшегося объема руды.

Особенностью процесса моделирования при выпуске МЭЦ является то, что выпуск осуществляется не из одного, а равномерно-последовательно из всех выпускных отверстий (рис. 11).

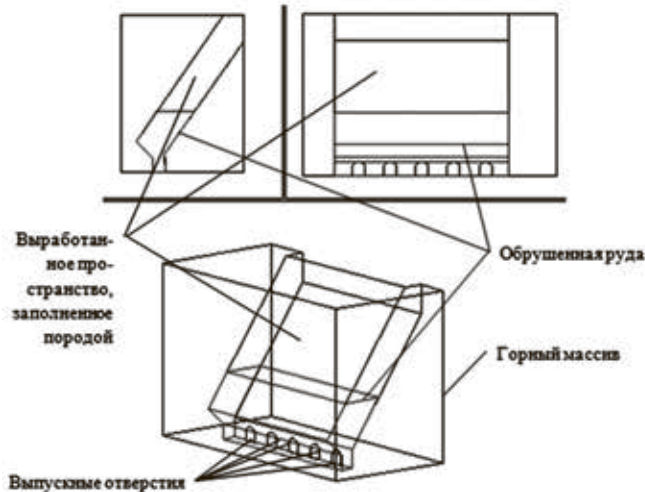


Рис. 10. 3D-модель отбитой руды и выработанного пространства / Fig. 10. 3D model of the beaten ore and the worked-out space

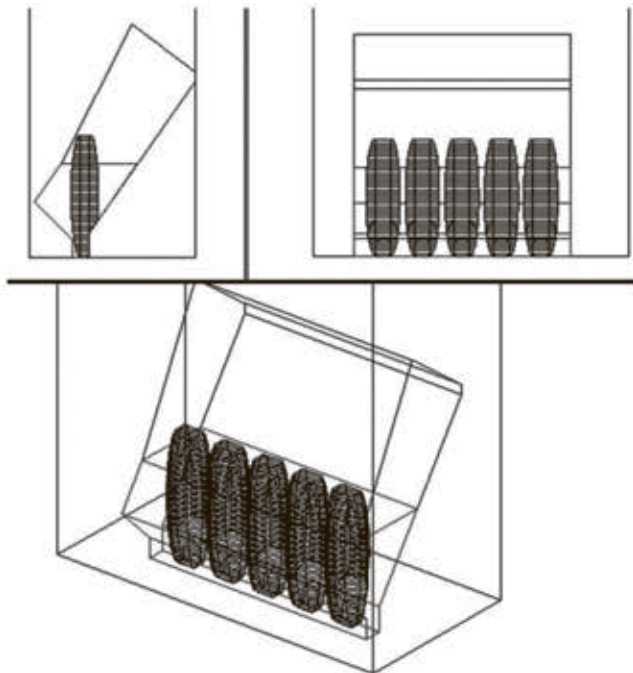


Рис. 11. 3D-модель формирования фигур дозы выпуска руды / Fig. 11. 3D model of shaping the ore drawing dose

Проведенное согласно матрице (табл. 2) математическое моделирование процесса выпуска рудной массы позволило установить зависимости формирования величин потерь и разубоживания от величины выпущенной горной массы при различных параметрах рудных тел и условий их залегания.

Примеры результатов моделирования для угла падения залежи 55° при различных мощностях рудного тела представлены на графиках (рис. 12 и 13).

Таблица 2 / Table 2

Матрица вариантов моделирования отработки запасов междупластного целика /
Matrix of options for modeling the development of stocks of the inter-floor pillars

Мощность рудного тела, м	Толщина МЭЦ, м				
	Угол падения рудного тела, град.				
	40	45	50	55	60
5	8	8	8,5	9	9
10	11	11	13	11	10
15	15	15	15	11	11

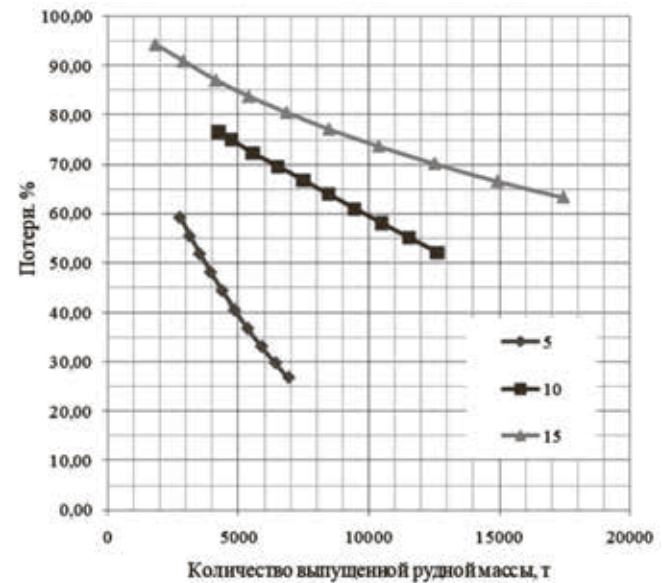


Рис. 12. Графики зависимости величины потерь от количества выпущенной горной массы при различной мощности залежи. Угол падения залежи 55° / Fig. 12. Graphs of the dependence of the amount of losses on the amount of released rock mass at different reservoir capacities. The angle of incidence of the deposit is 55°

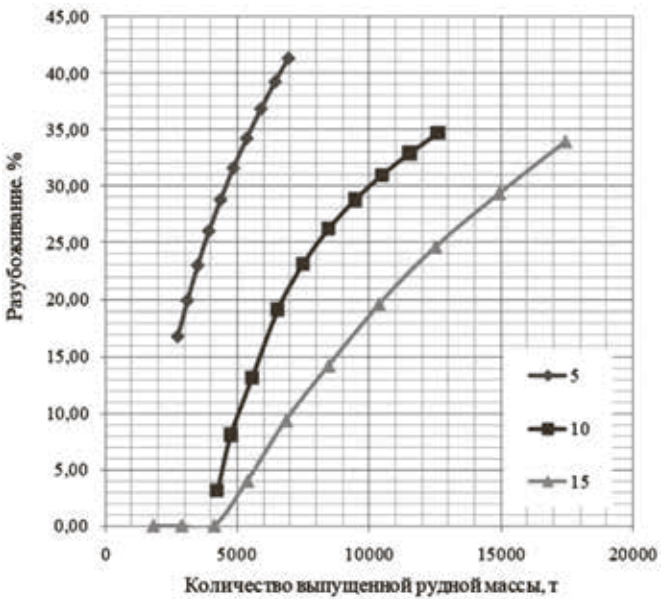


Рис. 13. Графики зависимости величины разубоживания от количества выпущенной горной массы при различной мощности залежи. Угол падения залежи 55° / Fig. 13. Graphs of the dependence of the amount of ore dilution on the amount of released rock mass at different reservoir capacities. The angle of incidence of the deposit is 55°

Заключение

1. В процессе исследований выяснилось следующее:
 - минимальные потери руды в процессе всего выпуска при погашении МЭЦ наблюдаются при мощности рудного тела 10 м. С увеличением мощности потери возрастают. При одинаковом объеме добытой рудной массы 7 тыс. т потери равны 17 и 42 % соответственно при мощности рудного тела 10 и 15 м;
 - в начале выпуска происходит добыча чистой руды, затем разубоживание при меньшей мощности рудного тела повсеместно выше, чем при большей мощности. Например, при одинаковом объеме добычи 7 тыс. т разубоживание равно 40 и 32 % соответственно при мощности рудного тела 10 и 15 м;
 - математическое моделирование процесса выпуска рудной массы МЭЦ позволило установить зависимости формирования величин потерь и разубоживания от величины выпу-

щенной горной массы при различных параметрах рудных тел и условий их залегания.

Выводы

1. В статье рассматривается физико-математическое моделирование выпуска руды под обрушенными породами при отработке междуэтажных целиков для камерных систем разработки с этажной и подэтажной выемкой запасов.
2. Приведены результаты исследований, связанные с обоснованием уровня потерь и разубоживания при погашении МЭЦ.
3. Полученные результаты исследований были использованы для обоснования рационального уровня показателей полноты и качества извлечения запасов междуэтажных целиков при этажной-камерных системах разработки и подэтажных штреков.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Именитов ВР, Ковалев ИА, Уралов ВС. Моделирование обрушения и выпуска руды. Москва, 1961: 151. [Imenitov VR, Kovalev IA, Uralov VS. Modeling of collapse and ore drawing. Moscow, 1961:151 (In Russ.)]
2. Дубынин НГ. Выпуск руды при подземной разработке. Москва, 1965: 267. [Dubynin NG. Ore drawing during underground mining. Moscow, 1965: 267 (In Russ.)]
3. Малахов ГМ, Безух РВ, Петренко ПД. Теория и практика выпуска руды. Москва, 1968: 311. [Malakhov GM, Bezukh RV, Petrenko PD. Theory and practice of ore drawing. Moscow, 1968: 311 (In Russ.)]
4. Мартынов ВК, Кудрявцев МС, Заец НМ и др. К вопросу о переносе результатов моделирования выпуска руды на натуру. *Разработка рудных месторождений*. 1970;14:13-7. [Martynov VK, Kudryavtsev MS, Zayats NM, et al. On the issue of transferring the results of modeling ore production to nature. *Development of ore deposits*. 1970;14:13-7 (In Russ.)]
5. Just GD, Free GD. The gravity flow of material in the sublevel caving mining system. *Proceedings of the 1st Australia-New Zealand Conference on Geomechanics*. Melbourne, Institution of Engineers, Australia. Sydney, 1971:88-97.
6. Хартович ЮИ. О закономерностях истечения руды при использовании сил гравитации. *Горный журнал*. 1971;10:26-9. [Khartovich YuI. On the patterns of ore outflow when using gravitational forces. *Mining Journal*. 1971;10:26-9 (In Russ.)]
7. Just GD, Free GD, Bishop GA. Optimation of ring burden in sublevel caving. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*. 1973;10:119-31.
8. Куликов ВВ. Выпуск руды. Москва, 1980: 303. [Kulikov VV. Ore drawing. Moscow, 1980: 303 (In Russ.)]
9. Peters DC. Physical modeling of the draw behavior of broken rock in caving. *Quarterly of the Colorado School of Mines*. 1984;79(1).
10. Rustan A. Gravity flow of broken rock – what is known and un-known. *Proceedings Mass Min*. Brisbane, 2000: 557-67.
11. Чурсин СМ. Изучение закономерностей истечения руды на базе моделирования на ЭВМ. *Тезисы докладов региональной научно-методологической конференции*. Каратау, 1991: 158. [Chursin SM. Studying the patterns of ore release based on computer modeling. *Abstracts of the regional scientific and methodological conference*. Karatau, 1991: 158 (In Russ.)]
12. Power GR. Modelling granular flow in caving mines: large scale physical modeling and full scale experiments. Brisbane, 2004.
13. Фрейдин АМ, Неверов АА, Неверов СА и др. Современные способы разработки рудных залежей с обрушением на больших глубинах. Новосибирск, 2008: 151. [Freidin AM, Neverov AA, Neverov SA, et al. Modern methods of mining ore deposits with collapse at great depths. Novosibirsk, 2008:151 (In Russ.)]
14. Калиниченко ВА. Определение доминирующих зависимостей параметров и фигур выпуска разноуплотненной руды на моделях из эквивалентных материалов. *Вестник КТУ*. 2010;26:49-52. [Kalinichenko VA. Determination of the dominant dependencies of the parameters and figures of the output of heterogeneous ore on models made of equivalent materials. *Bulletin of KTU*. 2010;26:49-52 (In Russ.)]
15. Малиновский ЕГ, Ахпасhev БА, Голованов АИ. Сравнение результатов физического моделирования и натурного эксперимента по торцевому выпуску руды при системе этажного принудительного обрушения для пологих залежей. *Известия вузов. Горный журнал*. 2019;7:34-4. [Malinovskij EG, Akhpashev BA, Golovanov AI, et al. Comparison of the results of physical modeling and a full-scale experiment on the face release of ore with a system of floor forced collapse for shallow deposits. *Minerals and Mining Engineering*. 2019;7:34-4 (In Russ.)]
16. Ахпасhev БА, Голованов АИ, Малиновский ЕГ. Обоснование рациональной технологии разработки пологих и наклонных месторождений системами с обрушением руды и пород. *Международный научно-исследовательский журнал*. 2023;2(128). [Akhpashev BA, Golovanov AI, Malinovskij EG. Substantiation of rational technology for the development of shallow and inclined deposits by mining systems with collapse of ore and rocks. *International Scientific Research Journal*. 2023;2(128)] DOI: 10.23670/IRJ.2023.128.71.
17. Малиновский ЕГ, Голованов АИ, Ахпасhev БА. Исследование влияния гранулометрического состава отбитой рудной массы на показатели извлечения при системе этажного обрушения руды физическим моделированием. *Вестник Кузбасского государственного технического университета*. 2022;3:41-53. [Malinovskij EG, Golovanov AI, Akhpashev BA. Investigation of the influence of the granulometric composition of the chipped ore mass on the recovery rates in the case of a system of floor collapse of ore by physical modeling. *Bulletin of the Kuzbass State Technical University*. 2022;3:41-53 (In Russ.)]. DOI: 10.26730/1999-4125-2022-3-41-53.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Богдан Андреевич Ахпашев –

канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры подземной разработки месторождений, Сибирский федеральный университет, 660041, г. Красноярск, Российская Федерация, e-mail: bg1967@ya.ru

Алексей Иванович Голованов –

канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры подземной разработки месторождений, Сибирский федеральный университет, 660041, г. Красноярск, Российская Федерация, e-mail: agolovanov1958@yandex.ru

Игорь Иванович Демченко –

д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры горных машин и комплексов, Сибирский федеральный университет, 660041, г. Красноярск, Российская Федерация, e-mail: demtchenkoii@yandex.ru

ABOUT THE AUTHORS

Bogdan A. Akhpashev –

Cand. Sci. (Eng.), Assistant Professor, Assistant Professor of the Department of Underground mining, Siberian Federal University, 660041, Krasnoyarsk, Russian Federation, e-mail: bg1967@ya.ru

Alexey I. Golovanov –

Cand. Sci. (Eng.), Assistant Professor, Assistant Professor of the Department of Underground mining, Siberian Federal University, 660041, Krasnoyarsk, Russian Federation, e-mail: agolovanov1958@yandex.ru

Igor I. Demchenko –

Dr. Sci. (Eng.), Professor, Professor of the Department Mining Machines and Complexes, Siberian Federal University, 660041, Krasnoyarsk, Russian Federation, e-mail: demtchenkoii@yandex.ru

Критерии авторства / Contribution:

Б. А. Ахпашев – создание экономико-математической модели, проведение экономико-математического моделирования, обоснование нормативных величин потерь и разубоживания; А. И. Голованов – создание физической модели, проведение физического моделирования, обработка и анализ результатов физического моделирования; И. И. Демченко – участие в проведении физического моделирования, анализ результатов физического и экономико-математического моделирования. / B. A. Akhpashev – creation of an economic and mathematical model, conducting economic and mathematical modeling, justification of the standard values of losses and dilution; A. I. Golovanov – creating a physical model, conducting physical modeling, processing and analyzing the results of physical modeling; I. I. Demchenko – participation in physical modeling, analysis of the results of physical and economic-mathematical modeling.

Конфликт интересов / Conflict of interest:

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

Информация о статье

Поступила в редакцию: 14.01.2025.

Поступила после рецензирования: 23.03.2025.

Принята к публикации: 29.03.2025.

Article info

Received: 14.01.2025.

Revised: 23.03.2025.

Accepted: 29.03.2025.

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ КОНТРОЛЯ УРОВНЯ ВОЗДУХОНАСЫЩЕНИЯ ЗАКЛАДОЧНЫХ СМЕСЕЙ В РЕАЛЬНОМ ВРЕМЕНИ

М. С. Песочинский[✉], А. Н. Анушенков

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Сибирский федеральный университет», Институт горного дела, геологии и геотехнологий, г. Красноярск, Российская Федерация

[✉] grice007@yandex.ru

Аннотация. Описано создание и внедрение методики мониторинга уровня воздухомасывщения закладочных смесей в реальном времени. Исследования проводились с использованием специально разработанной установки, воспроизводящей процессы аэрации и транспортировки. Комплекс оборудования, включающий насос вытеснения, трубопроводы, донный аэратор, а также контрольно-измерительные приборы, позволил провести анализ влияния воздуха на вязкость, плотность и потери напора. Математическое моделирование дополнило экспериментальные данные, что обеспечило возможность определения оптимальных параметров работы систем аэрации. Результаты показали, что увеличение содержания воздуха в смеси до 5 % приводит к значительному снижению вязкости, улучшению текучести и снижению гидравлических потерь. Разработанная методика демонстрирует способность оперативно адаптировать свойства смесей к изменяющимся условиям эксплуатации, что способствует сокращению затрат и увеличению производительности. Кроме того, оптимизация расхода материалов и энергии повышает экологическую устойчивость технологического процесса. Полученные данные формируют научную основу для дальнейшего внедрения предложенной методики в строительной и горнодобывающей отраслях. Это открывает перспективы повышения эффективности технологических операций, обеспечивая надежность, устойчивость и экономическую рентабельность производственных процессов.

Ключевые слова: реологические свойства, закладочные смеси, воздухомасывщенность, трубопровод, подземная выработка

Для цитирования: Песочинский МС, Анушенков АН. Разработка методики контроля уровня воздухомасывщения закладочных смесей в реальном времени. *Маркшейдерия и недропользование*. 2025;25(2):33-40. <https://doi.org/10.56195/20793332-2025-25-2-33-40>.

DEVELOPMENT OF A METHODOLOGY FOR REAL-TIME MONITORING OF AIR SATURATION LEVELS IN GROUTING MIXTURES

M. S. Pesochinskiy[✉], A. N. Anushenkov

*Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education «Siberian Federal University»,
Institute of Mining, Geology and Geotechnology,*

Krasnoyarsk, Russian Federation

[✉] grice007@yandex.ru

Abstract. This article focuses on the development and implementation of a methodology for real-time monitoring of air saturation levels in grouting mixtures. The research utilized a specially designed setup replicating aeration and transportation processes. The equipment ensemble, including a displacement pump, pipelines, mainline and bottom aerators, and precision measuring instruments, facilitated a comprehensive analysis of the impact of air on viscosity, density, and pressure losses. Mathematical modeling complemented the experimental findings, enabling the determination of optimal parameters for aeration system operation. The results demonstrate that increasing the air content in the mixture to 5% significantly reduces viscosity, improves flowability, and decreases hydraulic losses. The developed methodology exhibits the capability to adapt mixture properties dynamically to changing operational conditions, thereby reducing costs and enhancing productivity. Furthermore, optimizing the use of materials and energy contributes to the environmental sustainability of the process. The findings establish a scientific foundation for the broader application of the proposed methodology in construction and mining industries. This innovation offers promising opportunities for improving the efficiency of technological operations while ensuring reliability, resilience, and economic feasibility in production processes.

Keywords: rheological properties, backfill mixtures, air saturation, pipeline, underground excavation.

For citation: Pesochinskiy MS, Anushenkov AN. Development of a methodology for real-time monitoring of air saturation levels in grouting mixtures. *Mine Surveying and Subsurface Use*. 2025;25(2):33-40. (In Russ.). <https://doi.org/10.56195/20793332-2025-25-2-33-40>.

Введение

Контроль содержания воздуха в твердеющих смесях является важным аспектом, определяющим их успешную транспортировку и укладку в подземных горных условиях. Реологические характеристики твердеющих смесей (плотность, текучесть и вязкость) непосредственно зависят от этих показателей и оказывают значительное влияние на качество финальной укладки и эффективность перемещения.

Воздухововлекающие добавки, как указывается в исследовании [1], оказывают положительное влияние на реологические характеристики смесей, обеспечивая равномерное распределение частиц цемента. Установлено, что при содержании воздуха на уровне 3,5 % наблюдается значительное улучшение прочностных свойств смесей, что повышает устойчивость закладочных материалов. Кроме того, выявлено, что реология и прочность смесей зависят от таких факторов, как доля твердых частиц, соотношение компонентов и свойства агрегатов [2]. Хотя в литературе отмечается возможность влияния крупнофракционного заполнителя на водоудерживающую способность смеси, результаты настоящего исследования показали, что текучесть значительно возрастает при увеличении содержания воздуха и доли мелких фракций, тогда как роль крупных фракций требует дальнейшего изучения.

Кроме этого, на основании проведенных исследований [3] установлено, что воздухововлекающие добавки (АЕА) способны значительно повысить текучесть закладочных смесей. Эффект достигается за счет формирования микроскопических пузырьков воздуха, которые уменьшают межчастичное трение. При этом содержание АЕА в пределах 0,9 % оптимально снижает сопротивление транспортировке, минимизируя риск засорения трубопроводов, а также улучшает характеристики текучести и расширяемости смеси. Однако избыток пузырьков может привести к снижению прочностных свойств материала. Таким образом, основной сложностью остается установление оптимального соотношения, позволяющего одновременно улучшить реологию смеси и сохранить ее необходимые прочностные параметры.

Согласно проведенным исследованиям [4], применение вторичных материалов, таких как зольные осадки и щелочно-активированные шлаки, позволяет добиться значительного сокращения затрат, одновременно улучшая прочностные характеристики смеси. Формирование гелей С-А-S-H, обусловленное использованием щелочно-активированных связующих, способствует повышению механической прочности за счет уменьшения пористости и создания более плотной структуры. Дополнительно, использование методов статистической оптимизации, включая метод поверхностей отклика, обеспечивает возможность точной настройки состава материала, что позволяет достичь баланса между текучестью, прочностью и стоимостью, минимизируя затраты без ущерба для эффективности.

В последние годы предложено множество подходов к контролю воздухомыщения, их практическая применимость в реальных условиях по-прежнему ограничена недостаточной точностью и надежностью. Один из наиболее применяемых

методов контроля воздухомыщения базируется на измерении давления, однако его возможности ограничиваются косвенным характером данных. Давление в системе изменяется под влиянием не только содержания воздуха, но и таких параметров, как вязкость и плотность смеси, что снижает достоверность полученных результатов.

В условиях лаборатории оптический контроль показывает высокую эффективность. Но его внедрение в эксплуатацию сталкивается с существенными преградами, вызванными сложностью оборудования и влиянием окружающей среды. Ультразвуковой метод, позволяющий анализировать смесь на разных глубинах трубопровода, требует применения сложных датчиков, которые подвержены загрязнению и поломкам, что ограничивает его надежность в рабочих условиях. Существующие ограничения настоятельно требуют разработки инновационных подходов, обеспечивающих максимально точный и надежный контроль уровня воздухомыщения в режиме реального времени.

Проведенные исследования, включающие применение гидродинамических аэраторов и устройств для регулировки подачи воздуха и воды, раскрыли важнейшие аспекты влияния аэрации на такие реологические свойства закладочных смесей, как вязкость и текучесть, а также на параметры их транспортировки, включая расход и снижение напора. Эти эмпирические данные предоставляют фундамент для создания высокоэффективных систем мониторинга, способных значительно повысить эффективность транспортировки и гарантировать стабильное качество смеси на всех этапах процесса [5–7].

Настоящее исследование направлено на разработку подхода к контролю уровня воздухомыщения, необходимого для эффективной транспортировки и укладки закладочных смесей. Реализация данной методики позволяет как расширить понимание влияния аэрации на ключевые реологические параметры, так и разработать практические рекомендации, ориентированные на повышение продуктивности процессов в горных выработках. Вклад статьи заключается в дополнении и углублении существующих методов контроля воздухомыщения с акцентом на их адаптацию и использование в условиях реального производственного цикла.

Обеспечение контроля за уровнем воздухомыщения в закладочных смесях в режиме реального времени представляет собой фундаментальную задачу, от решения которой зависят реологические параметры, эффективность перемещения и качество укладки в подземных условиях. Управляемый при помощи аэраторов и мониторинговых систем процесс аэрации оказывает глубокое влияние на такие характеристики, как вязкость, плотность и текучесть, тем самым определяя стабильность и надежность укладочных работ [8]. Современные горнодобывающие предприятия, предъявляющие высокие требования к точности и надежности процессов, особенно нуждаются в разработке подобных методик [9].

Внедрение указанной методики открывает возможность существенно улучшить транспортные свойства закладочных смесей, снижая их вязкость и увеличивая текучесть, а также предотвращая появление таких проблем, как засоры трубо-

проводов и неравномерное распределение материалов. Эти аспекты критически важны для поддержания устойчивости горных выработок и снижения рисков их деформации [10–12]. Более того, применение динамических систем контроля насыщения воздухом позволяет оперативно адаптироваться к изменяющимся условиям транспортировки, что способствует минимизации потерь давления и значительному повышению эффективности всей системы.

Таким образом, создание данной методики становится ключевым фактором оптимизации технологических процессов, связанных с укладкой закладочных смесей. Это решение не только способствует снижению эксплуатационных затрат и повышению экологической устойчивости, но и значительно увеличивает общую производительность горнодобывающих предприятий.

Цель исследований: разработка методики контроля уровня воздухомыщения закладочных смесей в реальном времени.

Методы исследований

В рамках экспериментального исследования использовалась специально разработанная установка, воспроизводящая процессы аэрации и транспортировки закладочных смесей. Она включала насос вытеснения, резервуары для смешивания и накопления, трубопроводную систему с контрольно-измерительными приборами, а также магистральные и донные аэраторы. Для регистрации параметров применялись пьезометры, манометры, расходомеры и ультразвуковые скоростемеры.

Исследование предусматривало следующие этапы: дозирование компонентов смеси, их смешивание в шаровой мельнице, аэрацию с использованием аэраторов в резервуарах, транспортировку смеси по трубопроводу и измерение ключевых параметров: плотности, расхода, перепада давления, скорости потока и объема воздуха. По завершении каждого цикла аэрированные пробы смеси извлекались из накопительного резервуара для последующего анализа.

Лабораторная установка, сконструированная авторами самостоятельно, демонстрирует высокий уровень проработки и глубину исследования. Она представляет собой комплексный инженерный объект, включающий насос вытеснения, магистральные и донные аэраторы, а также систему измерения расхода и давления, что позволяет точно контролировать условия эксперимента. Для изучения вязкости и сдвигового напряжения использовался ротационный вискозиметр Rheotest RN 4.1, что позволило выявить корреляцию между градиентом скорости и напряжением сдвига при различных уровнях насыщения воздухом. Прочностные свойства исследовались на кубических образцах, которые после затвердевания в нормальных условиях в течение 3–180 суток подвергались испытаниям на сжатие. Структура затвердевших образцов анализировалась посредством рентгеноструктурного метода, что позволило оценить влияние аэрации на формирование микроструктуры материала.

Обработка данных в аналитической части исследования проводилась с использованием статистических методов, что позволило систематизировать результаты экспериментов. На основе этих данных были разработаны математические модели, которые иллюстрируют, как уровень воздухомыщения влияет на ключевые параметры смеси, включая ее прочность и реологические свойства, предоставляя всестороннее представление о влиянии аэрации.

Для обеспечения надежности и воспроизводимости результатов исследований была применена комбинация стандартных аналитических методик, признанных в горнодобывающей отрасли, и авторской технологии аэрирования, защищенной патентом № 214953. Такой подход не только повысил точность выполненных испытаний, но и подтвердил их воспроизводимость. Анализ экспериментальных данных с использованием методов математической статистики продемонстрировал статистическую значимость обнаруженных закономерностей, что подчеркивает высокий потенциал разработанных подходов для их практического использования в промышленности.

Результаты исследования

Насыщенность твердеющих смесей воздухом оказывает значительное влияние на их основные реологические свойства, включая текучесть, плотность и вязкость. Этот показатель играет ключевую роль в обеспечении эффективности транспортировки и надежности укладки смесей, особенно в условиях подземных горных выработок, где стабильность материала критически важна [13]. Внесение изменений в содержание воздуха в смеси изменяет ее физические параметры: плотность, объемную и массовую концентрации, что непосредственно отражается на ее текучести и устойчивости в процессе перемещения.

Данные, полученные в ходе исследования и представленные в таблице, иллюстрируют зависимость указанных характеристик от уровня воздухомыщения. Увеличение объема воздуха приводит к снижению плотности и концентраций, что способствует улучшению текучести. Однако такие изменения требуют внимательного анализа и учета при проектировании систем транспортировки, чтобы избежать возможных сложностей и обеспечить устойчивость материала.

Таблица / Table

Изменение физического состояния аэрированной смеси / Change in the physical state of the aerated mixture

Показатель	Значение				
	0 (исходный)	2	3	4	5
Содержание воздуха, %	0	0,562	0,525	0,498	0,40
Объемная концентрация, %	0,585	0,562	0,525	0,498	0,40
Стандартная массовая концентрация, %	0,77	0,75	0,72	0,70	0,61
Плотность, кг/м ³	1 821	1 786	1 734	1 697	1 560

Приведенные результаты позволяют глубже понять, каким образом уровень воздухомыщения влияет на ключевые свойства смеси. Эти изменения оказывают существенное воздействие на ее реологические характеристики, включая плотность, текучесть и концентрации, что критически важно для эффективной транспортировки и укладки материала.

Изменения, воздействующие на реологические характеристики смеси:

1. *Влияние на плотность смеси:* с увеличением содержания воздуха наблюдается снижение плотности, что свидетельствует о повышении текучести и упрощении перемещения по трубопроводам. Однако такая динамика требует учета возможного влияния на прочностные свойства смеси, что делает оптимизацию параметров ключевой задачей.

2. *Роль объемной концентрации:* уменьшение объемной

концентрации при аэрации способствует улучшению распределения частиц, снижению гидравлического сопротивления и обеспечению стабильной скорости потока, что помогает предотвращать образование пробок в транспортных системах.

3. *Снижение стандартной массовой концентрации:* этот процесс отражает уменьшение удерживающей способности смеси, что может быть полезно для снижения энергозатрат при транспортировке, сохраняя при этом необходимую текучесть.

Полученные данные имеют не только теоретическое значение, но и практическую направленность, становясь основой для оптимизации транспортировки и укладки закладочных смесей, а также они открывают возможности для разработки новых подходов управления параметрами смесей в динамических условиях эксплуатации, что повышает общую эффективность процесса.

Влияние аэрации на реологические свойства смеси

Экспериментальные исследования в лабораторных условиях выявили существенное влияние содержания воздуха на ключевые характеристики твердеющих смесей, такие как текучесть и вязкость.

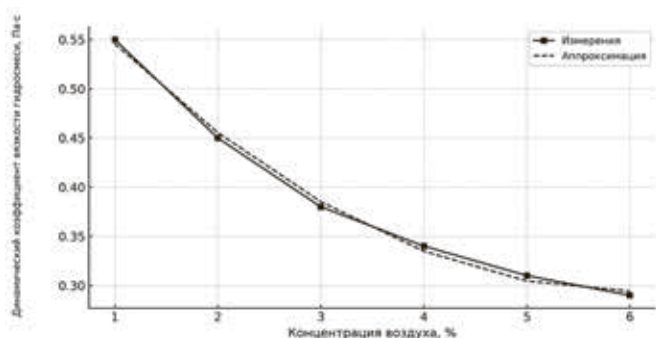


Рис. 1. Изменение динамического коэффициента вязкости (η) гидросмеси в зависимости от концентрации воздуха; соответствующее снижение концентрации твердой фазы от 0,562 до 0,216 % /

Fig. 1. Dependence of the dynamic viscosity coefficient (η) of the hydraulic mixture on air content, with a corresponding reduction in solids content from 0.562 to 0.216 %

Анализ данных, представленных на рисунке 1, позволяет установить устойчивую тенденцию к снижению динамического коэффициента вязкости гидросмеси при увеличении объемной доли воздуха до 5 %.

Такая зависимость указывает на существенное влияние аэрации на формирование реологических свойств исследуемой системы. В условиях насыщения воздушной фазой в объеме смеси возникают микропузырьки, нарушающие непрерывность жидкой среды и ослабляющие межчастичное взаимодействие, в результате чего наблюдается увеличение текучести, обусловленное частичной потерей структурной связанности.

Дополнительно после аэрации фиксируется рост доли частиц размером менее 0,08 мм, что может указывать на перераспределение агрегатов и измененную динамику взвешенной фазы, способствующую дальнейшему снижению вязкости. В соответствии с результатами экспериментов, при достижении 5 % воздушной составляющей вязкость снижается на 15–20 %, локально – до 25 %. Этот эффект сопровождается улучшением условий перемещения материала в трубопроводе. Таким образом, аэрация влияет не только на внутреннюю структуру смеси, но и на параметры, определя-

ющие устойчивость и эффективность ее транспортировки в замкнутых магистральных системах.

Обсуждение

Гидродинамические аэраторы, применяемые в ходе экспериментов, оказали значительное влияние на улучшение реологических параметров смеси за счет равномерного насыщения ее воздушными пузырьками. Основным принцип их действия заключается во введении мелкодисперсного воздуха в поток смеси, что способствует изменению ее структуры. Экспериментально установлено, что использование этих устройств на различных этапах транспортировки смеси позволяет поддерживать стабильность реологических свойств, обеспечивая снижение вязкости и повышение текучести, что, в свою очередь, улучшает эффективность перемещения смеси по трубопроводам.

Внедрение гидродинамических аэраторов в трубопроводные системы предполагает способность эффективно регулировать уровень насыщения смеси воздухом [14]. Такой подход может быть особенно полезным для поддержания текучести материала при прохождении сложных участков трубопровода. Аэрация, обеспечиваемая указанными приборами, не может способствовать улучшению качества смеси и ее транспортируемости, но позволит значительно сократить гидравлические потери, возникающие в процессе транспортировки.

Потери напора демонстрируют тенденцию к снижению с увеличением концентрации воздуха в смеси, что отражено на графиках, представленных на рисунках 2. При этом снижение наклона линейных участков кривых свидетельствует о влиянии воздухонасыщения. Пунктирные линии, проведенные в продолжение этих линейных участков до пересечения с осью, отображающей потери напора, позволяют определить координаты, соответствующие начальному уклону i_0 . Выявлено, что значения начального уклона i_0 возрастают по мере уменьшения концентрации воздуха, что подчеркивает значимость контроля данного параметра для оптимизации транспортировки смеси.

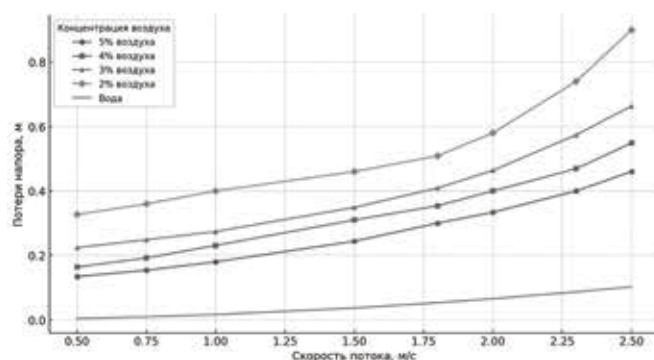


Рис. 2. Зависимость удельных потерь напора от средней скорости потока гидросмеси в трубопроводе для различных концентраций воздуха

Fig. 2. Graphical dependencies of specific head losses on the average flow velocity of the hydraulic mixture in the pipeline for various air concentrations in the mixture: 1 %, 2 %, 3 %, 4 %, and 5 %, respectively

На основании проведенного исследования разрабатываемая методика контроля включает последовательность этапов, направленных на мониторинг и управление уровнем возду-

хонасыщения в смеси, а также на регулирование ее ключевых реологических характеристик.

Проведенные эксперименты показали, что увеличение содержания воздуха в смеси приводит к значительному снижению ее вязкости и повышению текучести, что улучшает ее транспортные свойства. Например, при концентрации воздуха 5 % было зафиксировано уменьшение вязкости на 15 % по сравнению с первоначальным состоянием (0 % воздухом). Вязкость является одним из ключевых параметров, влияющих на успешность транспортировки закладочных смесей по трубопроводным системам [15]. Лабораторные исследования показали, что увеличение концентрации воздуха до 5 % приводит к значительному снижению этого показателя примерно на 25 %. Так, при насыщении смеси воздухом на 2 % наблюдалось уменьшение вязкости на 12 %, а при уровне 5 % снижение достигло уже 25 %.

Не менее значимым параметром, наряду с вязкостью, является скорость движения смеси в трубопроводе. Результаты проведенных исследований продемонстрировали, что повышение концентрации воздуха оказывает существенное влияние на увеличение скорости потока. В частности, при увеличении содержания воздуха с 2 до 5 % наблюдался рост скорости смеси на 12–15 %, что подтверждается данными, представленными в графическом формате.

Экспериментальные исследования, охватывающие работу магистральных и донных аэраторов, продемонстрировали, что последние обеспечивают наивысшую эффективность при достижении требуемого уровня воздухомыщения. Донные устройства создают мелкодисперсные пузырьки воздуха, что существенно улучшает реологические свойства смеси. Например, при концентрации воздуха 5 % использование донного аэратора позволило снизить вязкость смеси на 20 %. Это, в свою очередь, значительно ускорило транспортировку смеси по трубопроводам и минимизировало потери напора в системе.

Для эффективного контроля процесса были определены основные параметры:

1. *Концентрация воздуха* – фиксируется с применением специальных датчиков, регистрирующих колебания содержания газа в смеси, что дает возможность оперативно регулировать работу аэратора.

2. *Вязкость смеси* – контролируется с использованием реометров, которые позволяют оценивать изменения реологических свойств смеси на различных уровнях ее насыщения воздухом.

3. *Скорость потока смеси* – определяется через измерения, проводимые расходомерами и датчиками давления, регистрирующими скорость потока и уровень потерь напора.

4. *Настройка работы аэратора* – охватывает контроль подачи воздуха и воды, а также настройку оптимального режима функционирования устройства для поддержания заданной концентрации воздуха в смеси.

В связи с этим для достижения точного контроля уровня воздухомыщения смеси в режиме реального времени предложено использовать комплексное оборудование, включающее датчики и регуляторы, взаимодействующие для создания оптимальных условий транспортировки:

– *датчики давления* – фиксируют изменения в трубопроводной системе, анализируя потери напора, которые могут быть обусловлены изменениями концентрации воздуха в смеси;

– *расходомеры* – контролируют объемы перемещаемой смеси и подаваемого воздуха, что позволяет точно рассчитывать необходимое количество воздуха для поддержания заданной концентрации;

– *регуляторы расхода воздуха и воды* – настраивают параметры работы аэратора в динамическом режиме, обеспечивая поддержание требуемого уровня насыщения смеси воздухом на всех этапах ее перемещения.

На основе указанных параметров может быть разработана автоматизированная система контроля воздухомыщения смеси, способная в режиме реального времени адаптироваться к изменениям условий и поддерживать стабильные параметры, необходимые для эффективного транспортирования и качественной укладки смеси.

Контроль характеристик смеси осуществляется на различных стадиях, что позволяет отслеживать динамику изменений в реологических свойствах и уровне ее насыщения воздухом.

Стадии работы со смесью:

1. *Этап подготовки смеси.* На начальной стадии в закладочную смесь вводится воздух с использованием аэратора, причем его концентрация регулируется в зависимости от параметров смеси. Уровень насыщения фиксируется с помощью датчиков расхода и давления, а экспериментальные данные указывают, что концентрация воздуха на этом этапе может колебаться от 1 до 5 %, определяясь характеристиками смеси и режимом работы оборудования.

2. *Перемещение смеси через трубопроводы.* В процессе транспортировки смеси по трубопроводам, различающимся по диаметру и длине, уровень воздухомыщения подвержен изменениям, обусловленным воздействием таких факторов, как гидравлическое сопротивление, протяженность магистралей и давление в системе. Для наблюдения за этими изменениями на ключевых участках трубопровода устанавливаются датчики давления и расхода, обеспечивающие сбор данных в реальном времени.

3. *Процесс подачи смеси в горные выработки.* На этапе подачи смеси в подземные выработки требуется поддерживать оптимальную концентрацию воздуха, чтобы избежать образования пробок и обеспечить снижение вязкости материала. Для управления этим процессом применяются регуляторы расхода воздуха и воды, которые, ориентируясь на результаты измерений, динамически адаптируют объемы подачи компонентов, гарантируя стабильность работы системы.

Этапы регулирования и мониторинга воздухомыщения

Регулирование и контроль уровня воздухомыщения смеси осуществляется поэтапно, что позволяет обеспечить ее стабильные характеристики на всех стадиях процесса.

Этапы уровня воздухомыщения смеси:

1. *Начальный мониторинг и настройка системы.* На первом этапе, после подготовки смеси с заданной концентрацией воздуха, проводится контроль показателей при помощи датчиков давления и расхода. Полученные значения сравниваются с установленными параметрами, а данные отправляются в центральную систему управления для анализа и настройки дальнейших процессов.

2. *Динамическая корректировка в процессе транспортировки.* Во время перемещения смеси по трубопроводу система автоматически отслеживает изменения concentra-

ции воздуха и вязкости. При выявлении отклонений регуляторы расхода воздуха и воды адаптируют подачу компонентов. Например, если концентрация воздуха составляет 3 % и вязкость оказывается слишком высокой, подача воздуха увеличивается до 5 %, что позволяет снизить вязкость на 15–20 %, как подтверждается экспериментальными результатами.

3. *Финальный этап контроля перед укладкой.* Непосредственно перед подачей смеси в горные выработки проводится завершающая проверка ее параметров, таких как вязкость и текучесть. Если значения не соответствуют установленным требованиям, система автоматически регулирует подачу воздуха или воды, чтобы смесь оставалась в пределах оптимальных характеристик для безопасной и эффективной транспортировки.

Адаптивное управление подачей воздуха и воды для оптимизации условий транспортировки

Для поддержания стабильных параметров транспортировки смеси используется система регуляторов, интегрированная с датчиками давления, расхода и уровня насыщения воздухом. Эти регуляторы работают синхронно, обеспечивая управление вязкостью и воздухомасщением смеси в реальном времени.

Система регуляторов включает в себя:

– *регулятор подачи воздуха* – этот механизм контролирует объем воздуха, вводимого через аэратор, для поддержания заданной концентрации в смеси. Отклонения от оптимального уровня насыщения могут привести к значительному изменению вязкости и ухудшению транспортных свойств. Эксперименты подтвердили, что концентрация воздуха на уровне 5 % обеспечивает максимальную текучесть смеси и ее устойчивость в процессе транспортировки;

– *регулятор подачи воды* – управляет количеством воды, вводимой в смесь, что позволяет регулировать ее вязкость и текучесть. Увеличение содержания воды снижает вязкость, способствуя улучшению ее транспортируемости по трубопроводу и минимизации гидравлического сопротивления. Такая настройка повышает эффективность транспортировки смеси даже на сложных участках.

Реализация данной методики позволяет осуществлять всесторонний контроль параметров смеси на каждом этапе ее перемещения, что обеспечивает значительное улучшение реологических характеристик материала и существенно повышает производительность трубопроводных систем.

Создание системы контроля уровня воздухомасщения закладочных смесей в реальном времени предполагается ключевым этапом в повышении эффективности их транспортировки и укладки в условиях подземных горных выработок. Предложенная методика, основанная на использовании мониторинга параметров давления и расхода смеси, а также управлении подачей воздуха и воды через регуляторы, способствует результативности в улучшении реологических свойств материала и обеспечении его стабильной доставки на значительные расстояния.

Разработанный подход, сформированный с учетом выводов предыдущих исследований, обладает рядом таких значимых преимуществ, как:

– *оптимизация реологических характеристик смеси.* Точный контроль уровня насыщения воздухом способствует снижению вязкости и увеличению текучести. Это в свою оче-

ред, позволяет уменьшить потери напора и обеспечить более рациональное использование насосных мощностей;

– *увеличение производительности транспортировки.* За счет настройки работы трубопроводных систем сокращаются гидравлические потери, что обеспечивает надежность и стабильность подачи смеси в горные выработки.

Реализация контроля в динамическом режиме обеспечивает оперативную адаптацию к изменениям, возникающим в процессе транспортировки. Такой подход не только повышает уровень безопасности, но и предотвращает образование заторов и других потенциальных нарушений технологического процесса.

Рекомендации для дальнейших исследований

Несмотря на достигнутые успехи в проведенных экспериментах, контроль параметров воздухомасщения требует дальнейшего совершенствования для повышения точности и устойчивости функционирования систем. Анализ текущих данных позволяет определить основные направления, которые требуют более детального изучения и разработки усовершенствованных подходов.

Основные направления перспективной работы:

Инновационные подходы к созданию датчиков. Необходимо разработать новые сенсорные технологии, которые смогут с исключительной точностью фиксировать содержание воздуха в смеси на каждом этапе ее перемещения. Это обеспечит возможность более глубокого анализа изменений в реологических свойствах смеси и оперативного внедрения корректирующих решений, улучшая общую управляемость процессов.

Интегрированные системы автоматического регулирования. Предлагается внедрение полностью автоматизированных систем, способных не только отслеживать уровень воздухомасщения, но и в реальном времени вносить корректировки в параметры смеси. Это решение сведет к минимуму влияние человеческого фактора, обеспечивая высокую точность и надежность транспортировки.

Детальное исследование влияния аэрационных устройств. Расширение спектра исследований, направленных на изучение воздействия различных видов аэраторов, таких как донные и магистральные, на параметры смеси в реальных условиях эксплуатации. Это позволит оптимально настроить процессы аэрации в соответствии с характеристиками конкретных трубопроводных систем и транспортируемых составов.

Синхронизация с существующими технологическими платформами. Разработка рекомендаций по интеграции систем контроля воздуха с текущими технологиями, применяемыми в закладочных работах, включает настройку совместимости с насосными станциями, системами подачи и мониторинга. Такой подход обеспечит высокую степень взаимодействия и синергии между всеми компонентами технологического комплекса.

Выводы

1. Результаты исследования посвящены экспериментальной и теоретической проработке системы контроля степени воздухомасщения закладочных смесей, включая выбор технических средств, разработку критериев оценки и обоснование эффективности в контексте условий подземной транспортировки.

2. Продолжение исследований в указанных направлениях будет способствовать к созданию более продвинутых подходов управления и контроля технологическими процессами. Эти разработки не только повысят рентабельность и улучшат

эксплуатационные характеристики закладочных операций, но и оптимизируют транспортировку смесей в условиях подземных выработок, что существенно увеличит их общую эффективность.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Hefni M. Reinforcing Cemented Paste Backfill With Basalt Fiber: A Path Towards Sustainable Practice in Mine Backfilling. *Paper presented at the International Geomechanics Symposium*. Al Khobar, Saudi Arabia, October 2023. DOI: 10.56952/IGS-2023-0137.
2. Li Y, Fu J, Yang J, et al. Research on Slurry Flowability and Mechanical Properties of Cemented Paste Backfill: Effects of Cement-to-Tailings Mass Ratio and Mass Concentration. *Materials*. 2024;17(10):2222. DOI: 10.3390/ma17102222.
3. Liu X, Yang D, Wang W. Experimental Study on the Cross-Scale Relationship of Cemented Backfill under the Action of an Air-Entraining Agent. *Fractal and Fractional*. 2023;7(11):821. DOI: 10.3390/fractalfract7110821.
4. Zhang Y, Zhang S, Nie Q, Shen L, Wang W. Mechanical Properties and Microscopic Mechanism of a Multi-Cementitious System Comprising Cement, Fly Ash, and Steel Slag Powder. *Materials*. 2023;16(22):7195. DOI: 10.3390/ma16227195.
5. Должиков ПН, Пронский ДВ, Пронская НВ. Исследования тампонажно-закладочных ресурсосберегающих смесей для ликвидации выработанного пространства. *Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле*. 2023;4:590-8. [Dolzhiikov PN, Pronskiy DV, Pronskaya NV. Research of resource-saving plugging and backfill mixtures for the elimination of mined-out spaces. *Bulletin of Tula State University. Earth Sciences*. 2023;4:590-8 (In Russ.)]
6. Шапошник ЮН, Шапошник СН. Рациональные технологии формирования закладочных массивов на подземных рудниках АО «Казцинк». Усть-Каменогорск, 2023: 69-74. [Shaposhnik YuN, Shaposhnik SN. Rational technologies for the formation of backfill massifs at underground mines of JSC Kazzinc. Ust-Kamenogorsk, 2023: 69-74 (In Russ.)]
7. Симон АА. Обоснование рациональных составов твердеющих закладочных смесей на рудниках Талнаха. *Перспектив Свободный – 2023: Мат-лы XIX Межд. науч. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых, Красноярск, 24–29 апреля 2023 года*. Красноярск, 2023: 485-9. [Simon AA Justification of rational compositions of hardening filling mixtures at Talnakh mines. *Prospect Svobodny – 2023: Proceedings of the XIX International Scientific Conference of Students, Postgraduates and Young Scientists, Krasnoyarsk, April 24-29, 2023*. Krasnoyarsk, 2023: 485-9 (In Russ.)]
8. Евсеев Т. А., Кириллин Д. С., Минеева В. А. Контролирование доставки закладочной смеси и оперативной ликвидации забутки трубопроводов в условиях подземного рудника «Интернациональный» *Молодежь и научно-технический прогресс в современном мире: Сб. мат-лов XII Всерос. науч.-практ. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых, Москва, 20–21 апреля 2023 года*. Москва, 2023: 30-5. [Evseev T. A., Kirillin D. S., Mineeva V. A. Controlling the delivery of backfill mixture and prompt elimination of pipeline backfill in the conditions of the Internatsionalny underground mine. *Youth and scientific and technological progress in the modern world: Collection of materials from the XII All-Russian scientific and practical conference of students, graduate students and young scientists, Moscow, April 20–21, 2023*. Moscow, 2023: 30–5. (In Russ.)]
9. Li S, Yang J, Enmark G. Air entrainment and transport in a bottom outlet controlled by a cylindrical gate. *IOP Conference Series. Earth and Environmental Science*. 2023;1136(1):012033. DOI: 10.1088/1755-1315/1136/1/012033.
10. Kabiri-Samani A, Jafarinasab N, Khozani Z. Relationship between two-phase flow in bottom outlet and air-core vortices at intake. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Water Management*. 2023;177(4):521-31. DOI: 10.1680/jwama.21.00055
11. Wu K, Feng Y, Xu Y. Research on Method for Detecting Pipeline Blockages Based on Fluid Oscillation Theory. *Energies*. 2022;15(15):5373. DOI: 10.3390/en15155373.
12. Kelly DA, Garden M, Sharif K, Campbell D, Gormley M. A Novel Approach to Detecting Blockages in Sewers and Drains: The Reflected Wave Technique. *Buildings*. 2024; 14:3138. doi: 10.3390/buildings14103138.
13. Волчихина АА, Васильева МА. Комплексный подход увеличения длины транспортирования твердеющей закладочной смеси. *Социально-экономические и экологические проблемы горной промышленности, строительства и энергетики: Мат-лы 19-й Межд. конф. по проблемам горной промышленности, строительства и энергетики, Тула, 09–10 ноября 2023 года*. Тула, 2023:104–110. [Volchikhina AA, Vasilyeva MA. Integrated approach to increasing the transportation length of hardening backfill mixture. *Socio-economic and environmental problems of the mining industry, construction and energy: Proceedings of the 19th International Conference on Problems of Mining, Construction and Energy, Tula, November 09-10, 2023*. Tula, 2023:104-10. (In Russ.)]
14. Орехов ГВ. Гидромеханический способ аэрации открытых водных объектов в условиях городской застройки. *Градостроительство и архитектура*. 2022;3(48):62-71. [Orekhov GV. Hydromechanical method of aeration of open water bodies in urban development conditions. *Urban development and architecture*. 2022;3(48):62-71 (In Russ.)]. DOI: 10.17673/Vestnik.2022.03.09.
15. Wang W, Yu B, Xu W, et al. Pipeline Transport Performance of Paste Backfill Slurry in Long-Distance Underground Backfilling: A Review. *Minerals*. 2024;14(12):1238. DOI: 10.3390/min14121238.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Максим Сергеевич Песочинский – аспирант кафедры подземной разработки месторождений Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Сибирский федеральный университет», Институт горного дела, геологии и геотехнологий, 660095, г. Красноярск, Российская Федерация, e-mail: grice007@yandex.ru

ABOUT THE AUTHORS

Maksim S. Pesochinskiy – PhD student at the Department of Underground Mining of Mineral Deposits, Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education «Siberian Federal University», Institute of Mining, Geology and Geotechnology, 660095, Krasnoyarsk, Russian Federation, e-mail: grice007@yandex.ru

Александр Николаевич Анушенков –

д-р техн. наук, заведующий кафедрой подземной разработки месторождений Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Сибирский федеральный университет»,
Институт горного дела, геологии и геотехнологий, 660095,
г. Красноярск, Российская Федерация,
e-mail: Aanushenkov@sfu-kras.ru

Alexander N. Anushenkov –

Doctor of Technical Sciences, Head of the Department of Underground Mining of Mineral Deposits, Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education “Siberian Federal University”, Institute of Mining, Geology and Geotechnology, 660095, Krasnoyarsk, Russian Federation,
e-mail: Aanushenkov@sfu-kras.ru

Критерии авторства / Contribution:

авторы внесли равный вклад в проведение исследования и подготовку статьи. / The authors contributed equally to the research and preparation of the manuscript.

Конфликт интересов / Conflict of interest:

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

Информация о статье

Поступила в редакцию: 04.03.2025.

Поступила после рецензирования: 04.04.2025.

Принята к публикации: 21.04.2025.

Article info

Received: 04.03.2025.

Revised: 04.04.2025.

Accepted: 21.04.2025.

ОСОБЕННОСТИ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СЖИЖЕННОГО ПРИРОДНОГО ГАЗА КАК ГАЗОМОТОРНОГО ТОПЛИВА НА АВТОТРАНСПОРТЕ

Г. М. Дубов[✉], М. Ю. Яцевич, Д. М. Якобсон, Д. А. Бороненков

*Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева,
г. Кемерово, Российская Федерация*

✉ dubovgm@kuzstu.ru

Аннотация. Приводится анализ экологических преимуществ, экономических аспектов и технических особенностей при использовании сжиженного природного газа как моторного топлива. В частности, обосновывается преимущество использования природного газа по отношению к нефтяному топливу в части снижения вредных выбросов. По ряду факторов обосновывается экономическая целесообразность его внедрения и применения. Приводятся сравнительные данные по эффективности использования природного газа как моторного топлива в зависимости от его агрегатного состояния (сжатого и сжиженного). Особое внимание уделяется состоянию инфраструктуры и ситуации рынка сжиженного природного газа России. Обобщены данные по газификации технологического транспорта в России. Обосновывается утверждение о том, что по отношению к зарубежным странам российский рынок сжиженного природного газа как газомоторного топлива недостаточно развит. И это, в частности, подтверждается слабо развитым производством малотоннажного СПГ и заправочной инфраструктуры. На основе проведенного анализа представлены выводы о том, что в настоящее время недостаточно научных исследований в части оценки и обоснования особенностей и перспектив применения сжиженного природного газа как моторного топлива, в том числе и на технологическом карьерном транспорте.

Ключевые слова: сжиженный природный газ, сжатый природный газ, технологический карьерный транспорт, экологические преимущества, экономические аспекты, технические особенности

Для цитирования: Дубов ГМ, Яцевич МЮ, Якобсон ДМ и др. Особенности и перспективы использования сжиженного природного газа как газомоторного топлива на автотранспорте. *Маркшейдерия и недропользование*. 2025;25(2):41-48. <https://doi.org/10.56195/20793332-2025-25-2-41-48>.

PECULIARITIES AND PROSPECTS FOR THE USE OF LIQUEFIED NATURAL GAS AS A GAS MOTOR FUEL IN MOTOR VEHICLES

G. M. Dubov, M. Yu. Yatsevich, D. M. Yakobson, D. A. Boronenkov

T. F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, Kemerovo, Russian Federation

dubovgm@kuzstu.ru

Abstract. The article analyzes the environmental advantages, economic aspects and technical features of using liquefied natural gas as a motor fuel. In particular, the advantage of using natural gas in relation to petroleum fuel in terms of reducing harmful emissions is substantiated. The economic feasibility of its introduction and application is substantiated by a number of factors. Comparative data on the efficiency of natural gas use as a motor fuel depending on its aggregate state (compressed and liquefied) are given. Special attention is paid to the state of infrastructure and the situation on the LNG market in Russia. Data on gasification of technological transport in Russia are given. The article substantiates the assertion that the Russian LNG market as a gas motor fuel is underdeveloped in relation to foreign countries. And this, in particular, is confirmed by the underdeveloped production of low-tonnage LNG and refueling infrastructure. On the basis of the analysis the conclusions are presented that at present there is insufficient scientific research in terms of assessment and substantiation of features and prospects of LNG application as a motor fuel, including technological quarry transport.

Keywords: liquefied natural gas, compressed natural gas, technological quarry transportation, environmental benefits, economic aspects, technical features

For citation: Dubov GM, Yatsevich MYu, Yakobson DM, et al. Peculiarities and prospects for the use of liquefied natural gas as a gas motor fuel in motor vehicles. *Mine Surveying and Subsurface Use*. 2025;25(2):41-48. (In Russ.). <https://doi.org/10.56195/20793332-2025-25-2-41-48>.

Введение

Сегодня экологические проблемы находятся в центре глобальной повестки дня, что приводит к изменениям в традиционных источниках энергии, используемых в качестве топлива для автомобилей и технологических транспортных средств. Позитивные изменения в «зеленой» повестке дня способствовали ужесточению стандартов качества топлива и воздействия его использования на окружающую среду. Наряду с экологическими проблемами существуют также проблемы экономической эффективности, где ключевым моментом является достижение максимальной энергоэффективности при минимальных затратах. Другими словами, важно обеспечить наилучший баланс между расходом топлива и эффективностью грузоперевозок.

Сжиженный природный газ (СПГ) является одной из наиболее перспективных альтернатив традиционному дизельному и бензиновому топливу. Интерес России к использованию его в качестве моторного топлива в последние годы значительно возрос. Однако переход на новые виды топлива всегда происходит постепенно. Первым шагом является оценка целесообразности такой трансформации с учетом основных требований рынка: экологической безопасности, экономической выгоды, практической эффективности и доступности ресурсов.

Россия обладает большими запасами природного газа, в несколько раз превышающими ее запасы нефти, что делает его использование для технического транспорта экономически выгодным. После финансово-экономического анализа следующим шагом является оценка ожидаемых результатов и показателей эффективности. Последний шаг – расчет времени, необходимого для создания качественной инфраструктуры, способной обеспечить широкое использование СПГ в транспортном секторе.

Сегодня дизельных заправок больше, чем газовых, не говоря уже о станциях с СПГ. Хотя автомобили, работающие на газомоторном топливе, уже проходили испытания, активный интерес к переходу на альтернативные виды топлива начал формироваться лишь в середине 2010-х годов. Рост цен на дизельное топливо и экологические проблемы увеличивают спрос на экологически чистые источники энергии, что делает решение этих проблем более актуальным.

Цель исследований: изучить особенности и перспективы использования сжиженного природного газа (СПГ) в качестве газомоторного топлива на автотранспорте с акцентом на его экономическую эффективность, экологические преимущества и технические характеристики, а также определить влияние внедрения СПГ на развитие автомобильного сектора в контексте современных тенденций и законодательных инициатив.

Методы исследований

В настоящей работе при помощи анализа вторичных данных был произведен обзор литературы: сбор и анализ существующих научных статей, отчетов и исследований по СПГ,

его свойствам и применению, оценка предыдущих экспериментов и результатов.

Кроме того, осуществлен и статистический анализ – изучение официальной статистики и отчетов по использованию СПГ в разных странах, включая данные о выбросах, затратах и экономической эффективности.

Методом кейс-стадий произведены анализ конкретных примеров применения СПГ в различных областях автотранспорта, оценка результатов внедрения и выявление ключевых факторов успеха.

Методом сравнительного анализа было произведено сравнение с другими видами топлива, а именно выявлены различия между СПГ и другими альтернативными топливами (КПГ, СУГ) и оценка плюсов и минусов каждого топлива.

Результаты исследований

В данной статье представлены результаты исследований состояния и перспектив использования сжиженного природного газа (СПГ) в качестве моторного топлива для автотранспортных средств. Подчеркнуты экологические преимущества его использования, экономическая целесообразность и необходимость развития соответствующей инфраструктуры.

Полученные результаты могут быть полезными для разработки стратегий внедрения СПГ в автотранспортной отрасли, особенно в сфере горно-технологического транспорта. Это создает фундамент для устойчивого развития автотранспорта и уменьшения негативного влияния на окружающую среду.

Экологические преимущества

С целью обеспечения энергетической безопасности многие страны активно диверсифицируют энергетические ресурсы в транспортном секторе. Одним из наиболее перспективных вариантов является использование природного газа в качестве моторного топлива.

Здесь можно выделить два основных направления:

- использование природного газа (метана),
- использование углеводородных газов (пропан-бутановых смесей).

Опыт показал, что сжатый природный газ (СПГ) и сжиженный углеводородный газ (СУГ) уже могут использоваться в двигателях внутреннего сгорания (ДВС). В ближайшем будущем ожидается широкое использование сжиженного природного газа (СПГ). По мнению экспертов, индустрия сжиженного газа потенциально способна оказать долгосрочное влияние на мировую культуру энергопотребления и ознаменовать начало новой эры безопасной и экологически чистой энергетики [1].

КПГ и СПГ – экологически чистое автомобильное топливо на основе метана. Его использование позволяет снизить вредное загрязнение в десятки раз по сравнению с традиционными нефтепродуктами. Кроме того, использование газомоторного топлива может помочь снизить выбросы парниковых газов от транспортных средств более чем на 25 % [2].

Использование природного газа в качестве автомобильного топлива имеет множество существенных преимуществ:

- в 2–3 раза меньше токсичных веществ в атмосфере (в 2,5 раза меньше оксидов азота, в 10 раз меньше выбросов углекислого газа, в 3–5 раз меньше выбросов свинца, серы и горючих соединений);

- снижается на 3–5 дБ (А) шум двигателя;
- температура самовозгорания метана составляет 550 °С, пропан-бутана – 450 °С, а дизельного топлива и бензина – 250–300 °С.

Значительная часть мирового потребления энергии приходится на автомобили. Транспортные средства, работающие на бензине, играют важную роль в повседневной жизни, но также являются одним из основных источников загрязнения окружающей среды. Ежегодно автомобильные двигатели выбрасывают в атмосферу 11,2 млн тонн токсичных веществ. Большую часть этих выбросов составляют: диоксид углерода (CO) – 9 млн тонн, углеводороды (CH) – 1,23 млн тонн и диоксид азота (NO₂) – 1,63 млн тонн. Кроме того, в воздух попадает 27 тысяч тонн бензола, 17 500 тонн формальдегида и 1,5 тонны бензопирена. Согласно исследованиям, от 50 до 90 % загрязнения воздуха происходит из-за выхлопов автомобилей.

Эксперты полагают, что экологические проблемы можно решить только за счет развития экологически чистых транспортных технологий и внедрения чистых видов топлива. Для стабилизации экологической обстановки в городских местностях при минимальных финансовых затратах газомоторное топливо является единственной реальной альтернативой традиционным нефтяным топливам. Исследования показывают, что широкое использование бензина и дизельного топлива на 60 % вреднее для здоровья человека, чем широкое использование природного газа в качестве газомоторного топлива (ГМТ) [3].

Информация, представленная в таблице 1, показывает, что транспортные средства, работающие на сжиженном природном газе, снижают выбросы вредных веществ по сравнению с автомобилями, работающими на бензине. Например, автомобиль Chevrolet Lacetti, производства АО «Дженерал Моторс Узбекистан» (ныне АО «УЗАВТО МОТОРС»), подходит для двух видов топлива: бензина и сжиженного природного газа (метана). Эксперимент выявил, что при его использовании на метане концентрация CO, CH и NO₂ снизилась в среднем на 22–65 % и составила 1,174 тонн в год [4].

Таблица 1 / Table 1

Выбросы вредных веществ и их сокращение при переоборудовании автомобилей Chevrolet Lacetti на газовое топливо / Emissions of harmful substances and their reduction when converting cars Chevrolet Lacetti to gas fuel

Компонент	Выбросы вредных веществ автомобиля на нефтяном (бензиновом) топливе, т/год	Выбросы вредных веществ автомобиля на СПГ, т/год	Сокращение выбросов вредных веществ при эксплуатации автомобиля на СПГ, т/год
CO	1,704	0,587	1,117 (65 %)
CH	0,284	0,207	0,077 (27 %)
NO ₂	0,113	0,138	0,025 (22 %)
SO ₂	0,005	-	-
C ₂₀ H ₁₂	0,54 × 10 ⁻⁶	-	-
Всего	2,106	0,932	1,174 (56 %)

Проанализировав использование природного газа в качестве автомобильного топлива, можно сделать вывод, что негативное воздействие на окружающую среду будет значительно снижено. Использование природного газа снижает выбросы более чем на 25 %, а двигатели, работающие на сжиженном природном газе (СПГ), производят меньше шума, что также снижает акустическое воздействие. Однако для комплексной оценки необходимо учитывать и другие аспекты.

Экономические преимущества

Природный газ (метан) используется в качестве топлива для двигателей внутреннего сгорания в двух формах: сжатый природный газ (КПГ) и сжиженный природный газ (СПГ).

Опыт отечественных и зарубежных специалистов подтверждает то, что природный газ с точки зрения эксплуатационных и экологических свойств имеет существенные преимущества перед другими видами топлива. К ним относятся: снижение эксплуатационных расходов, снижение вредных выбросов транспортных средств, частичная замена нефтяного топлива и соответствие самым строгим экологическим стандартам, таким как «Евро-5» и в некоторых случаях «Евро-6».

В качестве преимуществ использования природного газа как транспортного топлива выступают следующие факторы:

- с точки зрения энергетической ценности цена природного газа значительно ниже, чем эквивалентное количество топлива, получаемого из нефти;

- переоборудование автомобиля на природный газ не требует существенных изменений конструкции двигателя, за исключением установки специального газового оборудования;

- мощность двигателя остается на изначальном уровне;

- ресурс двигателя повышается в 1,5 раза;

- расход топлива снижается на 20–30 %;

- сокращаются общие транспортные и эксплуатационные расходы;

- снижается объем затрат на техническое обслуживание.

В соответствии с рядом объективных показателей, сжиженный природный газ (СПГ) является одним из наиболее перспективных видов газообразного топлива, отвечающим экологическим нормам и обеспечивающим высокую экономическую выгоду. При тех же темпах потребления цена СПГ в 1,5–2 раза ниже, чем у дизеля. Наибольшая экономия может быть достигнута при переводе на СПГ тяжелых и сверхтяжелых грузовиков и автобусов, курсирующих по маршрутам дальнего следования. Эти автомобили имеют большой ежедневный пробег и высокий расход топлива, поэтому перевод их на СПГ может существенно снизить эксплуатационные расходы перевозчика [5].

За рубежом наблюдается четкая тенденция использования СПГ в грузовом и общественном транспорте. Такие страны, как Франция, Великобритания, Нидерланды, Германия, Япония и США, активно используют СПГ для городских и междугородних дизельных транспортных средств. Исследования, проведенные в последние годы компаниями Ford, MAN, Saviem, Toyo Menka и другими, подтвердили техническую осуществимость и экономическую выгоду от масштабного применения СПГ в автомобильном транспорте.

Многие страны активно работают над переводом на сжиженный природный газ (СПГ) специальной техники, такой как тракторы, буксиры, бульдозеры, тяжелые грузовики и карьерные самосвалы. Например, в Китае имеется 240 тысяч тяжелых грузовиков, работающих на СПГ, в США – 5 тысяч, а в Европе – 1 500.

Китайские карьерные самосвалы HOWO компании SINOTRUK также используют СПГ. По результатам испытаний было выявлено, что экономия топлива в денежном выражении увеличилась вдвое. Для СПГ используются топливные баки стандартных форм и размеров, сравнимые с баками для дизельного топлива, что обеспечивает значительный объем хода при одной заправке [6, 7].

В России СПГ широко применяется в карьерной технике, например на самосвалах «БелАЗ». Экономия топлива и повышение периода до следующей заправки являются основными факторами активного внедрения этого вида газомоторного топлива для техники, применяемой при осуществлении открытых работ по разработке ископаемых.

Технические особенности при использовании

Современные исследования, проведенные зарубежными компаниями, показывают, что переход на сжиженный природный газ (СПГ) позволяет устранить недостатки использования сжатого природного газа (КПГ). Замена КПГ на СПГ существенно улучшает технические параметры автомобиля: уменьшает объем и вес топливной системы, увеличивает грузоподъемность и запас хода на одной заправке. За счет сжижения количество газа уменьшается почти в 600 раз по сравнению с его нормальным состоянием, в результате чего топливная система становится в 3–4 раза легче системы при использовании СПГ. При переходе на СПГ дальность хода автомобиля, при одной заправке, значительно превышает дальность хода аналогичного автомобиля, использующего традиционные виды топлива, такие как бензин или дизельное топливо.

В таблице 2 представлены сравнительные характеристики распространенных топливных систем грузовых автомобилей, использующих КПГ и СПГ в качестве моторного топлива [8].

Таблица 2 / Table 2

Сравнительные характеристики топливных систем автомобиля при использовании компримированного природного газа и сжиженного природного газа / Comparative characteristics of vehicle fuel systems when using CNG and LNG

Показатель	КПГ	СПГ
Запас газа, кг	75	75
Вместимость л	400	175
Рабочее давление, МПа	20	1,05
Число емкостей, шт.	8	1
Объем пространства, необходимый для размещения, м ³	1,4	0,6
Масса, кг	740	85
Удельная металлоемкость, кг массы / кг газа	10	1,15

Сегодня заводские грузовики, работающие на сжиженном природном газе (СПГ), обладают такой же мощностью и крутящим моментом, что и дизельные грузовики.

В ходе эксплуатации автомобилей с двигателями в 330 и 400 л. с., относящихся к классам «Евро-5» и «Евро-6», установлено, что средний расход сжиженного газа на 100 километров составляет 25,9 кг. На уровень расхода топлива влияют такие факторы, как тип и вес груза, характеристики маршрута, наличие заправочной инфраструктуры, рельеф местности и климатические условия.

Основным параметром для грузовика является пробег между заправками. Сегодня СПГ представляет достаточный уровень автономности: «КамАЗ» – 1 600 км; «Урал» – 1 000 км; Scania – 1 000 км; Iveco – 1 500 км; Volvo – 1 000 км.

Важным аспектом является хранение СПГ в автомобиле. Природный газ должен поступать в двигатель при определенных температуре, давлении и расходе. В простейшей системе давления в топливном баке он используется для преодоления гидравлических потерь в теплообменнике и трубах и подачи необходимого количества топлива.

Для улучшения характеристик расхода топлива, особенно в высокоэффективных двигателях с искровым зажиганием, применяется так называемый «теплый» СПГ. Сложные топливные системы могут работать на «холодном» СПГ. «Холодный» СПГ применяется при температуре ниже -142 °С и давлении 3–6 атмосфер, а «теплый» СПГ – при температуре от -125 до -135 °С и давлении 6–12 атмосфер. «Холодный» СПГ характеризуется более высокой плотностью, чем «теплый» СПГ, что позволяет хранить больше топлива на борту автомобиля и в течение более длительных периодов. Однако это топливо имеет низкое давление и требует дополнительного оборудования для его поднятия перед попаданием в двигатель. Заправка автомобиля «холодным» СПГ увеличивает запас хода на 12 % по сравнению с «горячим» СПГ и продлевает срок хранения с 5 до 10 дней (рис. 1) [9].

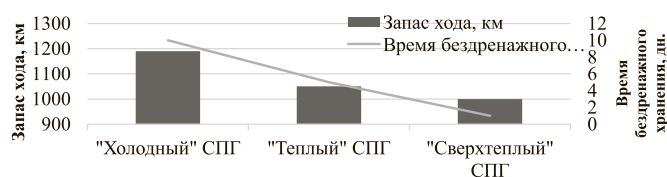


Рис. 1. Влияние типа заправки сжиженным природным газом на дальность движения транспортного средства и время бездренажного хранения / Fig. 1. Effect of LNG fuelling type on vehicle range and drainage-free storage time

Работа двигателя в газодизельном режиме на сжиженном природном газе (СПГ) обеспечивает более стабильные температурные характеристики для каждого ряда цилиндров двигателя внутреннего сгорания по сравнению с работой на дизельном топливе. Кроме того, экологическая эффективность и экономическая выгода от эксплуатации такой техники, как, например, газодизельные самосвалы «БелАЗ», на участках технических трасс значительно выше, чем у таких же машин, работающих только на дизеле [10].

За счет более высокого октанового числа газообразного топлива степень сжатия газовых двигателей может быть увеличена на 25–40 % по сравнению с бензиновыми двигателями. Высокая взрывостойкость сжиженного газа и его способность хорошо смешиваться с воздухом значительно

улучшают работу газовых двигателей за счет увеличения степени сжатия. Кроме того, при работе на СПГ шум двигателя снижается на 7–8 дБ [11].

Состояние российского рынка СПГ

На сегодняшний день наиболее эффективной считается технология малотоннажного производства СПГ, реализуемая в виде компактных модулей, располагаемых на открытых площадках. Данное решение не требует масштабных строительных работ, поэтому существенно снижает объем необходимых инвестиций. Природный газ сжижается для транспортировки, а после регазифицируется в месте потребления. В настоящее время большая часть природного газа используется для производства электроэнергии. Однако при использовании СПГ в качестве автомобильного топлива процесс регазификации происходит непосредственно в топливной системе автомобиля.

В мировой практике СПГ активно используется, особенно для заправки судов и в качестве топлива для грузоперевозок на дальние расстояния. Китай является бесспорным лидером по использованию СПГ на транспорте: около 6 миллионов автомобилей используют газомоторное топливо, в стране имеется более 3 тысяч заправочных станций СПГ. Это делает Китай крупнейшим рынком газомоторного топлива в мире (для сравнения: в Европе всего 212 станций). Потребление природного газа в транспортной отрасли растет с каждым годом. Основную долю потребления составляют большегрузные магистральные тягачи, работающие на СПГ, количество которых в Китае превысило 240 тысяч единиц. В России сеть криогенных автозаправочных станций все еще находится на стадии развития и расширения своей географии [12].

Сейчас Евросоюз обсуждает возможность запрета продажи автомобилей с бензиновым двигателем к 2035 году. Некоторые страны ЕС планируют ввести данные ограничения раньше. Если такие меры будут приняты, это приведет к годовому снижению продаж автомобилей, работающих на традиционных видах топлива.

Россия занимает восьмое место среди 17 стран-экспортеров сжиженного природного газа (СПГ). По оценкам экспертов, доля отечественных производителей на мировом рынке СПГ составляет около 4–5 %, но есть планы увеличить эту долю до 20 % к 2030 году.

На рисунке 2 представлен прогноз развития транспорта СПГ в России [13].

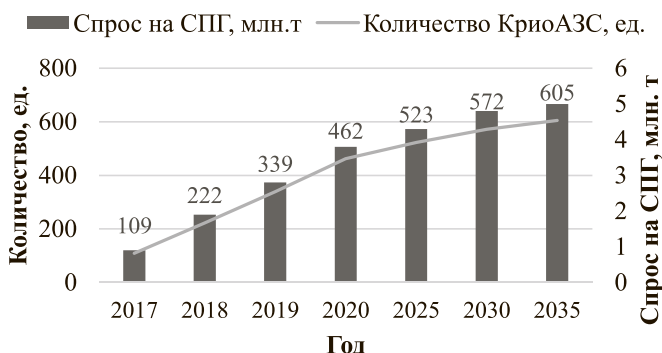


Рис. 2. Прогноз спроса на сжиженный природный газ и количества криоавтозаправочных станций к 2035 году /

Fig. 2. Forecast of LNG demand and number of cryo-fuelling stations by 2035



Рис. 3. Прогноз количества транспорта, работающего на сжиженном природном газе в России к 2035 году /

Fig. 3. Forecast of the number of LNG-fuelled vehicles in Russia by 2035

Расширение сети АЗС

Увеличение количества заправок сжиженного природного газа (СПГ) привело к повышению его использования на технологическом транспорте, что, в свою очередь, ускорило переход на такое топливо.

Каковы реальные показатели развития рынка СПГ?

По данным правительственных источников, в настоящее время только 8 из 11 небольших заводов производят сжиженный нефтяной газ для внутреннего потребления. Количество криогенных автозаправок также остается небольшим: в России действуют всего 24 такие станции. Если разобраться, то, например, 14 криогенных АЗС «НОВАТЭКа» обслуживают всего 156 юридических лиц. При этом продажи СПГ поставщика в 2021 году выросли в 9,6 раза по сравнению с прошлым годом [14].

Какие проблемы тормозят развитие рынка СПГ?

Во-первых, основным препятствием является подключение производственных мощностей (заводов, производящих СПГ) к газотранспортной системе. Во-вторых, существенным ограничением является то, что стандарты проектирования и эксплуатации объектов СПГ слишком строгие, что напрямую влияет на стоимость проектирования и строительства объекта. В целях снижения затрат «НОВАТЭК» отказался от строительства стационарных низкотемпературных АЗС и перешел на полностью модульные АЗС. Решение также позволяет ускорить ввод в эксплуатацию нового объекта. Таким образом, компания обеспечила сеть заправок между Уральским и Северо-Западными регионами. Например, «НОВАТЭК» поставляет СПГ для трассы Москва – Санкт-Петербург и трассы «Урал» (Москва – Челябинск – Екатеринбург). Решен также вопрос с дозаправкой автомобилей на трассе М7 «Волга». Компания активно строит заводы по производству СПГ в Московской и Самарской областях проектной мощностью 14 тысяч тонн в год каждый.

Что касается Санкт-Петербурга, где дневной пассажиропоток составляет 2,4 млн, он может стать первым городом, в котором автобусов на СПГ будет больше, чем автобусов на дизельном топливе. Этот проект привлек внимание «ЛиАЗа», «Волгабаса», «НЕФАЗа», «МАЗа» и других производителей. Городские автобусы, работающие на сжиженном газе, уже курсируют в Челябинске. Город закупил 87 автобусов, работающих на сжиженном газе, марок «МАЗ», «ЛиАЗ» и «Волгабас», что составляет треть от общего автобусного парка.

Анализ показывает, что СПГ наиболее эффективен на дальнемагистральных маршрутах, на которых работают ма-

гистральные тягачи и междугородные автобусы. Учитывая широкий модельный ряд отечественных производителей, можно ожидать повышения интереса к расширению рынка СПГ. Однако рынок средних и легких коммерческих автомобилей пока останется в стороне из-за экономических факторов, связанных со стоимостью сжатого природного газа (КСПГ) по сравнению со сжиженным природным газом (СПГ).

Большие перспективы есть у железнодорожного и водного транспорта по переходу на СПГ. Еще одно перспективное направление – коммунальное и строительное машиностроение. Нельзя исключать возможности применения СПГ в авиационной отрасли. Однако эксперты считают, что для устранения ограничений развития необходимо скоординировать деятельность различных отраслей, создать соответствующую инфраструктуру и облегчить требования к строительству АЗС [15].

Высокий спрос на 90-тонные самосвалы побудил «БЕЛАЗ» разработать газовую версию этой модели. Этот тип самосвалов остается одним из популярных автомобилей на мировом рынке, занимая почти 50 % рынка. «БелАЗ-7558Н», первый в мире 90-тонный самосвал, работающий на сжиженном природном газе, был представлен на выставке угольной и горнодобывающей промышленности России в Новокузнецке в 2022 году. Автомобиль оснащен большим криогенным резервуаром, которого хватает на полную смену продолжительностью около 10 час. Этот самосвал имеет газовый двигатель мощностью 1 068 л. с. и современный тяговый привод переменного тока. В проект включена IMS – интеллектуальная система мониторинга и прогнозной аналитики, разработанная компанией. Автомобиль соответствует всем стандартам безопасности, эффективности и производительности, необходимым для открытых горных работ. Испытания показали, что газовые двигатели на 35 % экономичнее дизельных. С учетом роста цены на дизтопливо и постоянных затрат на сжиженный газ при эксплуатации «БелАЗ-7558Н» можно добиться ежегодной экономии в размере 10 миллионов рублей на один автомобиль. В 2024 году на Международной конференции «Электрификация горного транспорта» «БЕЛАЗ» представил первый в мире 130-тонный самосвал «БелАЗ-7513Р», работающий на сжиженном природном газе. Белорусский производитель уверенно удерживает лидерство на мировом рынке в наиболее популярном сегменте грузоподъемно-

стью 130–136 тонн, что составляет более 70 % от общего предложения грузовиков этого класса [16].

Заключение

1. При анализе современного состояния вопроса применения СПГ, как возможного альтернативного топлива для транспортного сектора, возникает закономерный вывод, а именно применение СПГ является конкурентоспособным решением, реализуемым в сфере транспорта. Это связано прежде всего с решением экологических проблем в части снижения выбросов вредных веществ, в способности газа адаптироваться к транспортным средствам, в увеличении времени работы транспорта без дозаправки и наконец в более низкой стоимости по отношению к нефтяным видам моторных топлив (бензин и дизель).

2. Одной из проблем в России, связанной с масштабным использованием СПГ на транспорте, является медленное развитие крио-АЗС. Хотя их численность увеличивается с каждым годом, она намного ниже, чем в Китае, Европе и США. Планируется, что к 2030 году Россия займет 20 % мирового рынка СПГ, что в 4–5 раз превышает нынешний показатель. Следует также отметить, что на сегодняшний день проводится недостаточно исследований связанных с эффективностью использования СПГ в качестве моторного топлива для транспортных средств.

3. Растущий интерес к альтернативным источникам энергии и планы правительства по развитию отрасли неизбежно приведут к активизации исследований и оптимизации перехода на сжиженный природный газ, как одного из перспективных видов моторного топлива. Особенно это касается технологического карьерного транспорта, используемого в горнодобывающей отрасли.

Выводы

1. В статье приведены результаты исследований состояния и перспектив использования сжиженного природного газа (СПГ) как моторного топлива на автотранспорте, подчеркнуты его экологические преимущества, экономическая целесообразность и необходимость развития инфраструктуры.

2. Результаты исследований могут быть полезными при разработке стратегий по внедрению СПГ в автотранспортной отрасли и, в частности, на горно-технологическом транспорте, а также для формирования государственной политики, направленной на поддержку экологически чистых технологий и оптимизацию использования природных ресурсов в России и мире.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Федорова ЕБ. Современное состояние и развитие мировой индустрии сжиженного природного газа: технологии и оборудование. Москва, 2011:159. [Fedorova EB. Modern state and development of the world industry of liquefied natural gas: technologies and equipment. Moscow, 2011:159 (In Russ.)]
2. Климентьев А, Ишмуратова М, Сун Д и др. Справочные материалы. Карта российской СПГ отрасли – 2022 [Klimentiev A, Ishmuratova A, Sun D, et al. Reference materials. Map of the Russian LNG industry 2022 (In Russ.)]. URL: <http://nasslng.ru/assets/files/spravochnye-materialy-spgkarta2022-14.02.2022.pdf>
3. Ростех создал оборудование для контроля утечек газа для газомоторного транспорта. [Rostec has created the equipment for gas leakage control for gas motor transport (In Russ.)]. URL: <https://rostec.ru/media/pressrelease/rostezh-sozdal-oborudovanie-dlya-kontrolya-utechek-gaza-dlya-gazomotornogo-transporta>.
4. Марков ВА. Проблемы использования природного газа в качестве моторного топлива для городского автотранспорта. *Грузовик*. [Markov VA. Problems of using natural gas as motor fuel for urban motor. *Truck*. 2015;4:6-12 (In Russ.)]
5. Голубенко НВ. Об использовании природного газа в качестве моторного топлива в целях экологизации автотранспорта. *Современные автомобильные материалы и технологии (САМИТ-2015): сб. ст. VII Межд. науч.-техн. конф.* Курск, 2015: 32-4. [Golubenko NV. On the use of natural gas as motor fuel for the purpose of ecologisation of motor transport. *Modern Automobile Materials and Technologies (SAMIT-2015): collection of articles of the VII International Scientific and Technical Conference*. Kursk, 2015: 32-34 (In Russ.)]

6. Кузнецов ДВ, Одаев ДГ, Линьков ЯЕ. Особенности выбора технологического автотранспорта для разработки глубоких карьеров Севера. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2017;5:54-65. [Kuznetsov DV, Odaev DG, Linkov YE. Features of the choice of technological vehicles for the development of deep quarries of the North. *Mining information and analytical bulletin (scientific and technical journal)*. 2017;5:54-65 (In Russ.)]
7. Воронцова СД. Развитие новых автодорожных направлений международных транспортных коридоров в Российской Федерации. *Транспорт Российской Федерации*. 2016;1(62):10-15. [Vorontsova SD. Development of new road directions of international transport corridors in the Russian Federation. *Transport of the Russian Federation*. 2016;1(62):10-15 (In Russ.)]
8. Технология получения малотоннажного СПГ с двумя контурами охлаждения. *Neftegaz.ru*. 2018;2:50-4. [Technology of low-tonnage LNG production with two cooling circuits. *Neftegaz.ru*. 2018;2:50-4 (In Russ.)]
9. Узнардов ИМ. Энергетический кризис в Европе и перспективы низкоуглеродной экономики. *Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Общественные науки*. 2022;2:95-101. [Uznarodov IM. Energy crisis in Europe and the prospects of low-carbon economy. *News of higher educational institutions. North Caucasus region. Social Sciences*. 2022;2:95-101 (In Russ.)]. DOI: 10.18522/2687-0770-2022-2-95-101.
10. Дубов ГМ, Трухманов ДС, Чегошев АА и др. Снижение техногенного воздействия на окружающую среду посредством использования альтернативных видов энергоносителей при эксплуатации тяжелых карьерных самосвалов. *Горное оборудование и электромеханика*. 2021;5(157):19-28. [Dubov GM, Trukhmanov DS, Chegoshev AA, et al. Reduction of technogenic impact on the environment through the use of alternative types of energy carriers in the operation of heavy dump trucks. *Mining equipment and electromechanics*. 2021;5(157):19-28 (In Russ.)]. DOI: 10.26730/1816-4528-2021-5-19-28.
11. Кондратенко АД, Карпов АБ, Козлов АМ и др. Российские малотоннажные производства по сжижению природного газа. *Нефтегазохимия*. 2016;4:31-6. [Kondratenko AD, Karpov AB, Kozlov AM, et al. Russian low-tonnage natural gas liquefaction production. *NefteGaz-okhimiya*. 2016;4:31-6 (In Russ.)]
12. Кириллов НГ. Рынок сжиженного газа: российские перспективы. *Энергетика и промышленность России*. 2009;1:31. [Kirillov NG. Liquefied gas market: Russian prospects. *Energy and Industry of Russia*. 2009;1:31 (In Russ.)]
13. Девяткин ДВ, Мовчан ЯЮ, Сметанина ЕВ. Рынок СПГ: влияние пандемии и тенденции развития. *Инновации. Наука. Образование*. 2021;34:2781-8. [Devyatkin DV, Movchan YaYu, Smetanina EV. LNG market: pandemic impact and development trends. *Innovations. Science. Education*. 2021;34:2781-8 (In Russ.)]
14. Джурхабаев РР, Кулмагамбетов АБ, Баринов НВ. СПГ как замена традиционному топливу. *Студенческий форум*. 2020;30(123):56-7. [Dzhurkhabaev RR, Kulmagambetov AB, Barinov NV. LNG as a replacement for traditional fuel. *Student Forum*. 2020;30(123):56-7 (In Russ.)]
15. Пономарев АВ. Перспективы развития СПГ в России. *Вестник науки*. 2021;4(45):185-90. [Ponomarev AV. Prospects of LNG development in Russia. *Science bulletin*. 2021;4(45):185-90 (In Russ.)]
16. Газовые самосвалы «БелАЗ». *Горная промышленность*. 2024;2:14. [Gas dump trucks BelAZ. *Mining industry*. 2024;2:14 (In Russ.)]

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Георгий Михайлович Дубов –

канд. техн. наук, доцент, Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева, 650000, г. Кемерово, Российская Федерация, e-mail: dubovgm@kuzstu.ru

Мария Юрьевна Яцевич –

канд. философ. наук, доцент, Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева, 650000, г. Кемерово, Российская Федерация, e-mail: yamu.phil@kuzstu.ru

Даниил Максимович Якобсон – аспирант, Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева, 650000, г. Кемерово, Российская Федерация, e-mail: daneel3000@gmail.com

Данил Александрович Бороненков – аспирант, Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева, 650000, г. Кемерово, Российская Федерация, e-mail: danil.boronenkov@inbox.ru

Критерии авторства / Contribution:

Г. М. Дубов – научный менеджмент, концептуализация исследования, сбор и анализ данных, выводы; М. Ю. Яцевич – постановка исследовательской задачи, выводы, написание текста; Д. М. Якобсон – проведение исследований, обработка результатов; Д. А. Бороненков – обзор литературы, сбор и анализ данных. Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи. / G. M. Dubov – research management, conceptualisation of the study, data collection and analysis, conclusions; M. Yu. Yatsевич – setting the research problem, conclusions, writing the text; D. M. Yakobson – research management, processing of results; D. A. Boronenkov – literature review, data collection and analysis. All authors read and approved the final version of the manuscript.

ABOUT THE AUTHORS

Georgy M. Dubov –

C. Sc. in Engineering, Associate Professor, T. F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, 650000, Kemerovo, Russian Federation, e-mail: dubovgm@kuzstu.ru

Maria Yu. Yatsевич –

C. Sc. in Philosophy, Associate Professor, T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, 650000, Kemerovo, Russian Federation, e-mail: yamu.phil@kuzstu.ru

Daniil M. Yakobson –

Post-graduate Student, T. F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, 650000, Kemerovo, Russian Federation, e-mail: daneel3000@gmail.com

Danil A. Boronenkov –

Post-graduate Student, T. F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, 650000, Kemerovo, Russian Federation, e-mail: daneel3000@gmail.com

Конфликт интересов / Conflict of interest:

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

Информация о статье

Поступила в редакцию: 13.03.2025.

Поступила после рецензирования: 07.04.2025.

Принята к публикации: 23.04.2025.

Article info

Received: 13.03.2025.

Revised: 07.04.2025.

Accepted: 23.04.2025.

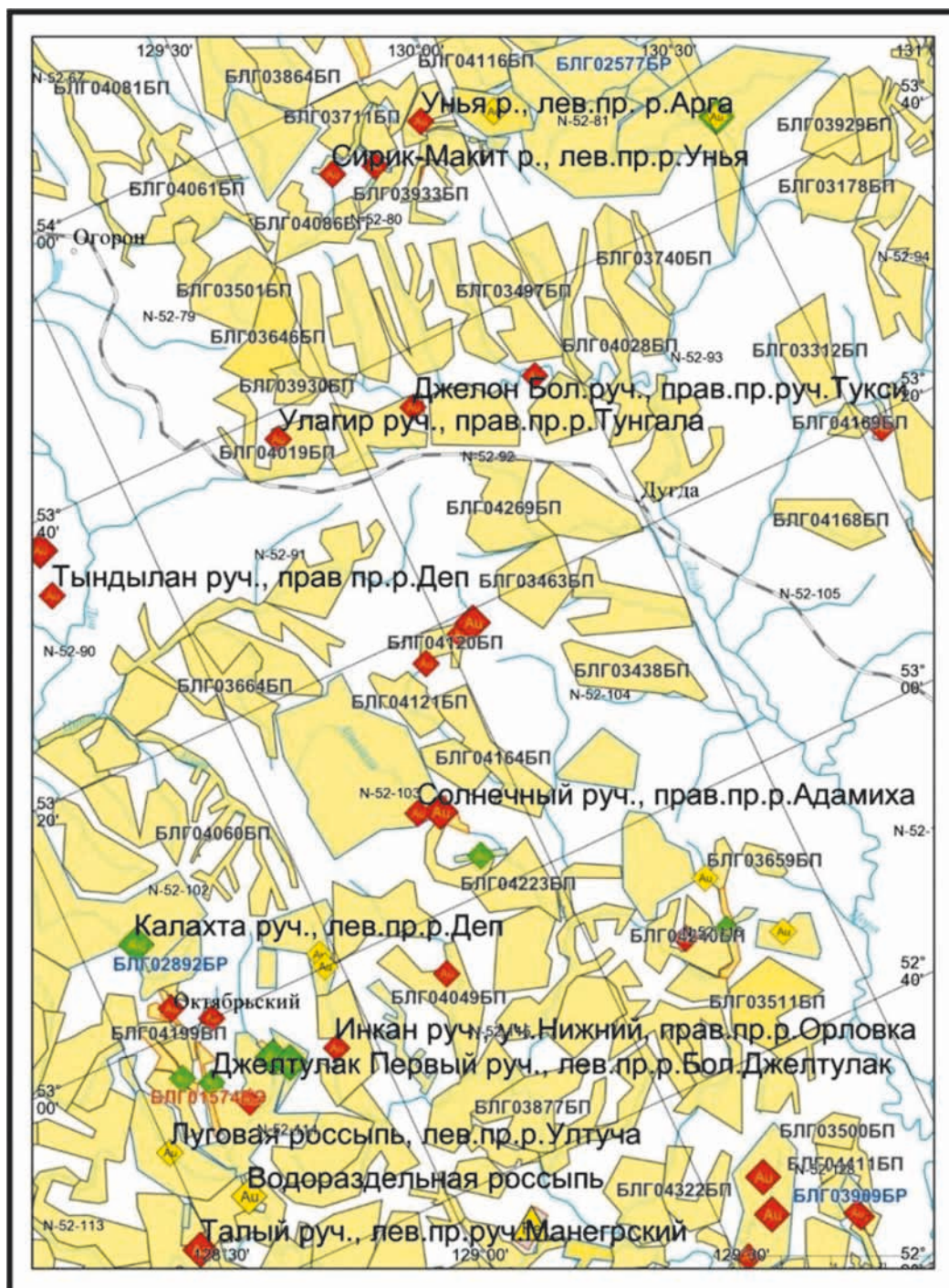


Рис. Плотность распределения лицензий заявительного принципа на выборочной площади Амурской области: контур лицензий; россыпные месторождения; рудные месторождения / Fig. Density of distribution of licenses of the application principle in the sample area of the Amur Oblast: license outline, placer deposits, ore deposits

Стратиграфические подразделения							Гидрогеологические подразделения		Характеристика горизонта							
Зонотема	Эротема	Система	Отдел	Ярус, надгоризонт горизонт	Индекс	Мощность (м)	Колонка	Индекс водоносного горизонта	Наименование горизонта Характеристика пород	Мощность (м)	Коэфф. фильтрации (м/сут)	Высота напора (м)	Уд. дебит (л/сек)	Минер-ция (г/дм3)	Гидрохим. тип воды	
Фанерозой	Кайнозой	Четвертичная	Совре-мен.		alV	3-12		alV	Водоносный современный аллювиальный горизонт	3-12	0,07-2,6	б/н	0,08-2	0,3-0,8	HCO ₃ CaMg	
			Нижний		alI-III	4-18		alI-III	Водоносный средне-верхнечетвертичный аллювиальный горизонт	до 16	0,2-2,6	б/н	0,01-0,1	0,2-0,9	HCO ₃ (SO ₄) MgCa	
				Верхний		prI-III	30		prI-III	Локальноводоносный нижне-верхнечетвертичный перигляциальный горизонт	8-12	0,1-0,5	б/н	0,2-1,2	0,2-1,2	HCO ₃ Ca
		Неогеновая	Плиоцен		aN ₂	0-8		aN ₂	Водоносный плиоценовый аллювиальный горизонт	0-8	0,47	б/н	0,04	0,3	HCO ₃ MgCa	
	Меловая	Верхний	Сантонский	K ₂ st	6-15		K ₂ t-st	Водоносный турон-сантонский терригенно-карбонатный горизонт. Мел, опоки, мергели	5-10	2-6	0-16	0,3-2,5	0,1-0,8	HCO ₃ CaMg HCO ₃ Ca(Na+K)		
			Коньякский	K ₂ k	4-16											
			Туронский	K ₂ t	1-6											
		Нижний	Сеноманский	K ₂ s	6-16		Ka-s	Водоносный апт-сеноманский терригенный горизонт. Пески с прослоями глин	15-20	5-10	0-10,5	0,2-0,6	0,1-0,6	HCO ₃ CaMg		
			Альбский	K ₁ al	4-16											
			Аптский	K ₁ a	4-8											
			Барремский	K ₁ br	1-5											
			Готеривский	K ₁ g	2-12										K ₁ b-a	Слабоводоносный берриасс-аптский терригенный комплекс. Глины, пески
		Валанжинский	K ₁ v	2-8												
		Юрская	Средний	Волжский	J ₃ v	2-10		J ₂ k	Водоупорный келловейский терригенный горизонт. Глины	25-35	-	-	-	-	-	
				Келловейский	J ₂ k	15-36		J ₂ bt	Водоносный батский терригенный горизонт. Пески, глины, алевриты	8-32	0,3-18,5	26-59	0,2-2,5	0,4	HCO ₃ (Cl) MgCa	
				Батский	J ₂ bt	2-40										
	Верхний	Франский	Фамен	Задонско-елецкий	D ₃ zd-el	4-8		D ₃ ev-zd	Слабоводоносный евлановско-задонский карбонатно-терригенный горизонт	25	0,2-0,8 до 2,7-18,5	0,8-10	0,2-0,5	HCO ₃ (Cl) MgCa		
				Ливенский	D ₃ lv	13										
				Евланский	D ₃ ev	18										
			Воронежский	D ₃ vr	12-20		D ₃ vr	Водоносный воронежский карбонатно-терригенный горизонт. Доломиты, известняки с прослоями глин, песчаников.	12-20							
			Петинский	D ₃ pt	1-8		D ₃ pt	Водоупорный петинский терригенный горизонт. Алевриты, глины	6-12	-	-	-	-	-		
			Семилукский	D ₃ sm	10-15		D ₃ sr-sm	Водоносный саргаевско-семилукский терригенно-карбонатный комплекс. Известняки, мергели, глины	16-40	2-5	2,8-3,3	0,4	HCO ₃ CaMg			
			Саргаевский	D ₃ sr	12-27											
			Тиманский	D ₃ tm	25-60											
			Пашийский	D ₃ ps	25-60		D ₃ st-tm	Слабоводоносный старооскольско-тиманский терригенный комплекс. Рудные брекчии, пески, глины	15-35	0,12-0,34	б/н	0,12-1,4	0,4	HCO ₃ CaNa (Mg)		
			Муллинский	D ₂ ml	7-17											
			Ардатовский	D ₂ ar	15-30											
			Воробьевский	D ₂ vb	18-40											
			Средний	Эйфельский	Черноярский	D ₂ cr	2-8		D ₂ cr	Водоупорный черноярский терригенно-карбонатный горизонт. Глины с прослоями известняков	8	-	-	-	-	-
					Мосоловский	D ₂ ms	15-30		D ₂ ms	Водоносный мосоловский карбонатный горизонт. Известняки, мергели, глины	20	0,02-5	150	0,2-0,4	0,3-0,5 до 2,3-4,9	HCO ₃ Cl Na+K
					Клинцовский	D ₂ kl	15-25		D ₂ rZ	Водоносный ряжский терригенный комплекс. Пески, глины, песчаники, алевриты, известняки	20-30	6-8	220	0,2-12	0,4-0,7	HCO ₃
					Ряжский	D ₂ rZ	15-40									
					Протерозой				PR ₁	> 2200		AR-PR	Слабоводоносная архей-протерозойская зона трещиноватых кристаллических и метаморфических пород. Мартитовые пески, зоны трещин в сланцах, кварцитах, гранитоидах		0,002-2,3	250
Архей							AR	> 1200								

Рис. 1. Гидрогеологическая колонка района исследований /
Fig. 1. Hydrogeological column of the research area

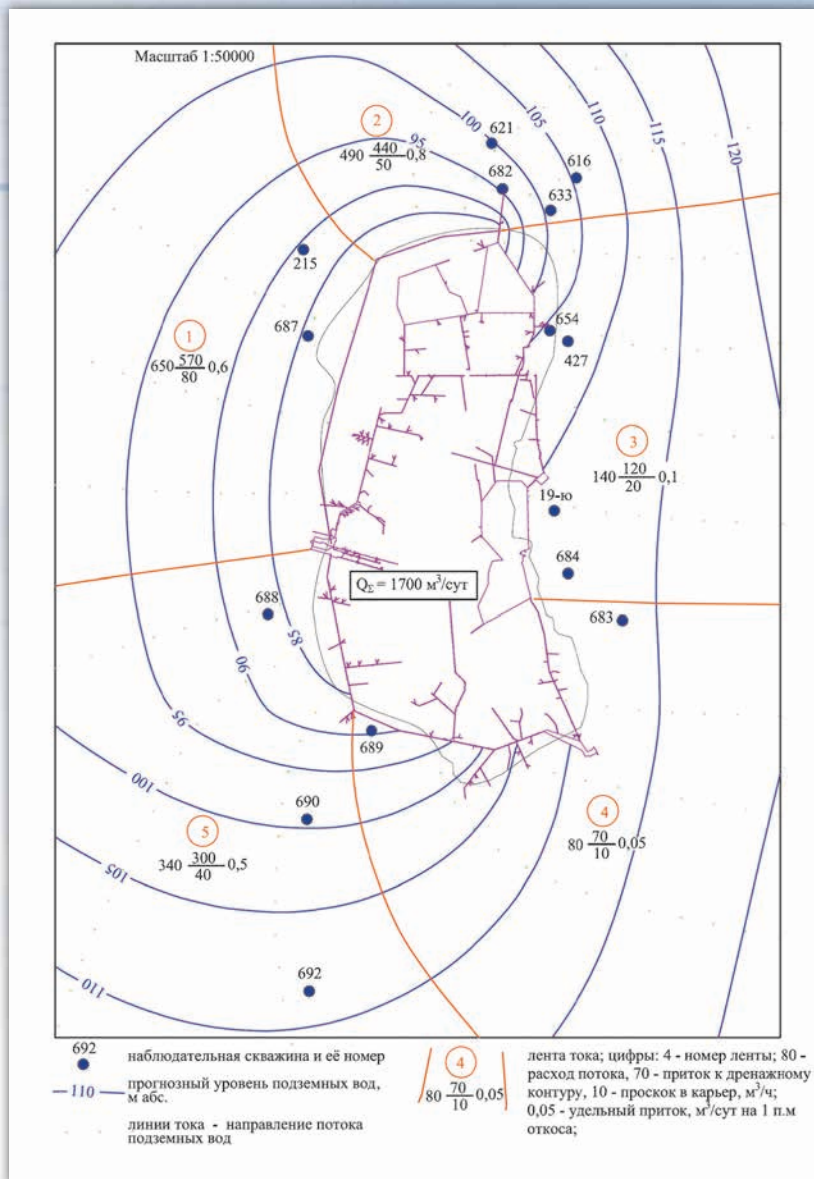


Рис. 3. Прогнозная оценка удельных водопритокков подземных вод из батского водоносного горизонта в карьер на 2032 год /
 Fig. 3. Forecast assessment of specific water inflows of groundwater from the Bathonian aquifer into the quarry for 2032

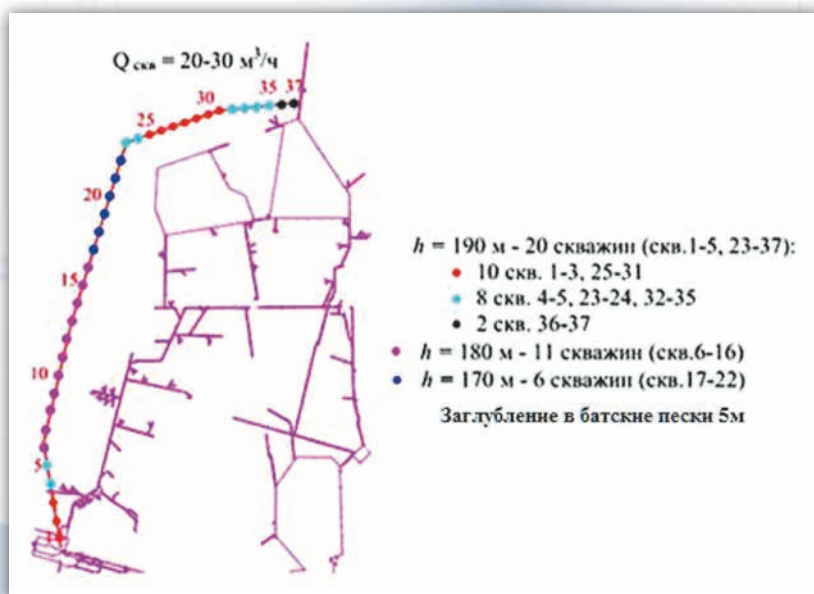


Рис. 4. Расположение ВДС на участке северо-западного борта карьера /
 Fig. 4. Location of the drainage wells on the north-western side of the quarry

V Международная премия

ПРИМИТЕ УЧАСТИЕ
ДО 23 ИЮНЯ 2025

ТАЛАНТЛИВАЯ
ЖЕНЩИНА
В СОВРЕМЕННОЙ ИНДУСТРИИ
2025
ОКРЫЛЕННЫЕ
УСПЕХОМ

Организатор

MODERN

WOMEN IN

INDUSTRIES

www.wim-industries.ru

0+

Гарантия
24 месяца

СТАЛКЕР 80-24, 15-24

КОМПЛЕКС
ТРАССОПОИСКОВЫЙ

ПРИЕМНИК ПТ-24

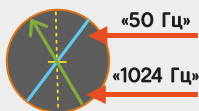
- GPS-выноска подземных трасс с последующим наложением на карту;
- встроенный GPS/ГЛОНАСС модуль;
- высокоточное позиционирование (до 1 см.) совместно с RTK-планшетом PrinCe LT700H;
- использование смартфона вместо внешнего GPS-трекера.



ФУНКЦИЯ «КОМПАС» С РЕЖИМОМ «ВТОРАЯ ЛИНИЯ»

Одновременное схематическое отображение на дисплее искомой коммуникации и трассы с протекающим током 50, 100 или 300 Гц.

- Время работы – до 20 часов;
- увеличенный, сверхяркий цветной дисплей;
- диапазон рабочих температур: от -30 до +55 °С.



ГЕНЕРАТОР ГТ-80

- Мощность и ток до 80 Вт, 12 А;
- фиксированные частоты генератора: 273, 526, 1024, 8928, 32768 Гц;
- выбор произвольной частоты от 300 до 10000 Гц для работы с приемниками других производителей;
- дистанционное управление генератором через сеть GSM;
- отложенный старт;
- встроенный индуктор обеспечивает наведение сигнала 33 кГц в линию с поверхностью земли;
- бесконтактная подача сигнала при помощи передающих клещей КИ-50 или КИ-100;
- встроенный аккумулятор;
- совместим со всеми приемниками серии «Сталкер».

ГЕНЕРАТОР ГТ-15

- Мощность 10 Вт;
- встроенный индуктор для бесконтактной подачи сигнала в коммуникацию.

Локализация и диагностика
подземных коммуникаций



0+

на правах рекламы



РАДИО-СЕРВИС

426000, г. Ижевск, а/я 10047, ул. Пушкинская, 268, тел.: (3412) 43-91-44
факс: (3412) 43-92-63, e-mail: office@radio-service.ru, www.radio-service.ru

СДЕЛАНО
В РОССИИ

ОРГАНИЗАЦИОННО-УПРАВЛЕНЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ЭФФЕКТИВНОГО РАЗВИТИЯ РОССЫПНОЙ ЗОЛОТОДОБЫЧИ: ТЕНДЕНЦИИ И ВАРИАНТЫ РЕШЕНИЯ

Г. С. Мирзеханов^{1✉}, З. Г. Мирзеханова²

¹Институт горного дела ДВО РАН, г. Хабаровск, Российская Федерация

²Институт водных и экологических проблем ДВО РАН, г. Хабаровск, Российская Федерация

✉ mgs_gold@mail.ru

Аннотация. Эффективное развитие россыпной золотодобычи зависит от многих факторов. Одним из них является несовершенство законодательства, в результате чего формируются проблемы не только у предприятий, добывающих драгметаллы, но и у золотодобывающей отрасли, а также у государства. Часть проблем усугубляется некомпетентностью, а иногда и предубежденностью проверяющих органов, например Министерства природных ресурсов Амурской области, часть – непониманием текущей ситуации на полигонах деятельности недропользователей. В работе рассмотрены лишь четыре группы проблем, наиболее значимые на текущий момент. Раскрыты негативные аспекты проявления проблем для участников процесса россыпной золотодобычи и страны. По каждой группе проблем представлен краткий анализ, их проявления и предложены возможные варианты их разрешения.

Ключевые слова: россыпная золотодобыча, развитие отрасли, проблемы, законодательство, варианты решения

Благодарности, признательность, финансирование: работа выполнена в рамках госзадания № 075-00399-25-01.

Для цитирования: Мирзеханов ГС, Мирзеханова ЗГ. Организационно-управленческие проблемы эффективного развития россыпной золотодобычи: тенденции и варианты решения. *Маркшейдерия и недропользование*. 2025;25(2):53-59. <https://doi.org/10.56195/20793332-2025-25-2-53-59>.

ORGANIZATIONAL AND MANAGERIAL PROBLEMS OF EFFECTIVE DEVELOPMENT OF ALLUVIAL GOLD MINING: TRENDS, OPTIONS FOR SOLUTION

G. S. Mirzekhanov^{1✉}, Z. G. Mirzekhanova²

¹Institute of Mining Engineering, FEB RAS, Khabarovsk, Russian Federation

²Institute of Water and Ecological Problems, Far Eastern Branch of Russian Academy of Sciences,
Khabarovsk, Russian Federation

✉ mgs_gold@mail.ru

Abstract. Effective development of alluvial gold mining depends on many factors. One of them is imperfection of legislation, which results in problems not only for the enterprises extracting metal, but also for the industry and the state. Some of the problems are aggravated by the incompetence and bias of inspection bodies, some of them – by misunderstanding of the current situation «on the ground». The paper considers only 4 groups of problems, the most significant at the moment. Negative aspects of the problems for the participants of the alluvial gold mining process and the country are revealed. For each group of problems a very brief analysis of their manifestation is presented and possible options for their resolution are proposed.

Keywords: alluvial gold mining, industry development, problems, legislation, solution options

Acknowledgments, funding, financial Support: The work was performed as part of state assignment No. 075-00399-25-01.

For citation: Mirzekhanov GS, Mirzekhanova ZG. Organizational and managerial problems of effective development of alluvial gold mining: trends, options for solution. *Mine Surveying and Subsurface Use*. 2025;25(2):53-59. (In Russ.). <https://doi.org/10.56195/20793332-2025-25-2-53-59>.

Введение

В последние годы Российская Федерация сохраняет за собой лидирующие позиции в мире по добыче золота. Немаловажную роль в этом успехе играет россыпное золото. В общей структуре золотодобычи его объем составляет в среднем 25 %. При этом в различных регионах РФ его доля различна и колеблется от 5,6 до 70 % [1, 2]. Увеличение добычи драгоценного металла, в том числе россыпной составляющей, является одной из важнейших задач, стоящей перед отраслью. Однако ее решение зависит от многих факторов, среди которых доминирующее положение занимает блок законодательных нормативно-правовых актов, принимаемых на уровне Правительства РФ и правительств субъектов Федерации, а также от корректировки ранее принятых документов.

Цель работы: анализ проблем, касающихся ряда законодательных актов в решении поставленных Правительством РФ задач по наращиванию объемов золотодобычи, поиск вариантов их решения, а также анализ ситуации на местах в преодолении возникающих сложностей.

Материал и методы исследования

Информационной базой послужили нормативные документы в области недр- и лесопользования. Исходные материалы получены из официальных сайтов органов государственной власти субъектов РФ, предоставленных в открытом доступе. При проведении исследования были использованы: сравнительный анализ, метод экспертных оценок и другие методы, основанные на комплексном подходе к поставленным проблемам. Применялись элементы системного, структурно-функционального, нормативного, институционального анализа.

Результаты и их обсуждение

Правительством РФ в период пандемии и позднее, с началом СВО, малому и среднему предпринимательству был предоставлен ряд льгот. Они касаются кредитования, отсрочек арендных платежей, смягчения ответственности за административные правонарушения, моратория на плановые и внеплановые проверки. Эффект от их реализации, безусловно, очевиден. Он в первую очередь проявляется в снижении напряженности в процессе работ, результативности по конечному итогу. Между тем некоторые вопросы все еще требуют анализа и решения.

Существующие в настоящее время проблемы можно сгруппировать следующим образом:

1. Проблемы, связанные с волонтаризмом проверяющих организаций, некорректностью действующих методических указаний, используемых ими.
2. Проблемы, касающиеся лицензионно-организационной деятельности и механизмов ее реализации.
3. Проблемы, возникающие с финансовой нагрузкой, связанной с принятием законодательных актов, лишенных достаточного обоснования.
4. Проблемы, формирующиеся при реализации «Закона о вольнопринимательстве».

Рассмотрим эти проблемы, их реальное проявление в практической деятельности и возможные варианты разрешения.

1. Проблемы интерпретации результатов плановых и внеплановых проверок, а также процедуры их проведения.

По указанию генерального прокурора РФ Игоря Краснова в 2021 году были осуществлены рейдовые

проверки, инициированные Министерствами природных ресурсов субъектов Федерации. Их результатом стало существенное пополнение бюджета вследствие штрафных санкций за административные нарушения, повлекшие загрязнение водных объектов. Обоснованные наказания не вызывают сомнений, но неправомерные и неоправданные порождают формирование конфликтных ситуаций.

В первую очередь следует обратить внимание на то, что проверки проводились с нарушениями не только процедурного порядка самих проверок, но и вопреки действующему приказу Министерства природных ресурсов Российской Федерации [3] и условий согласованных договоров по водопользованию с МПР субъектов РФ. В этих документах однозначно определено, что *место отбора проб по контролю за качеством сточных вод (контрольный створ) должно быть расположено в 500 м ниже выпуска сточных вод*. Соответственно, при несоблюдении требований регламента пробоотбора расчет размера вреда, причиненного водным объектам вследствие нарушения водного законодательства, также произведен с нарушением условий утвержденной методики [4].

Второй немаловажный аспект заключается в том, что расчет нормативов предельно допустимых концентраций (ПДК) вредных и взвешенных веществ в контрольном створе водного объекта различных рыбохозяйственных категорий, согласно приказу Минсельхоза РФ [5], не соответствует реальности. Так, ПДК водных объектов рыбохозяйственного значения высшей и первой категории не должны превышать фоновые значения на 0,25 мг/дм³, второй категории – 0,75 мг/дм³. Как отмечают многие недропользователи, при таком подходе обозначенные требования становятся практически невыполнимыми, а значит, даже при соблюдении всех технологических регламентов претензии, наказания и последующие санкции неизбежны.

С другой стороны, эти требования невыполнимы и в техническом отношении. Лабораторное оборудование ЦЛАТИ, используемое для определения содержаний взвешенных веществ, имеет разрешенную погрешность $\Delta \pm 10-15 \%$, и при фоновых содержаниях взвешенных веществ в водном объекте 5–20 мг/дм³ погрешность значительно превышает значение 0,25 или 0,75. Соответственно, требования приказа Минсельхоза РФ в таком случае нереализуемо и некорректно. Стоит отметить и то, что в действующих инструкциях и методиках, согласно которым в технических проектах производится расчет водопользования, значения 0,25 или 0,75 используются как один из коэффициентов в расчетной формуле ПДК ($C_{\text{гр}}$) в водном объекте после перемешивания на удалении 500 м от места спуска сточных вод [6]. То есть это не просто сложение фоновых содержаний взвешенных веществ 0,25 мг/дм³ (или 0,75 мг/дм³), а расчет ПДК с учетом водного баланса водного объекта, сточных вод и содержаний взвешенных веществ в них с учетом данных коэффициентов. Однако даже при таком подходе разница значений расчетных содержаний взвешенных веществ в фоновом и контрольных стовах незначительна и находится в пределах 10 % погрешности (фон – 20 мг/дм³, контрольный створ – 22 мг/дм³). То есть значения остаются в пределах допустимой погрешности.

В приказе Минсельхоза РФ в водных объектах рыбохозяйственного значения при содержании в межень более 30 мг/дм³ природных взвешенных веществ допускается увеличе-

ние содержания в сточных водах в пределах 5 %, что также значительно ниже погрешности анализа. Соответственно, надо искать другие подходы в экологической политике россыпной добычи [7].

Чтобы не создавать подобных ситуаций Минсельхозу РФ необходимо внести корректировку в требования к содержаниям взвешенных веществ в сточных водах с учетом неоднородности естественных потоков водного объекта и уровня допустимой погрешности используемых приборов для определения содержания взвешенных веществ.

2. Заявительный принцип лицензирования – это один из способов существенно увеличить объем финансовых поступлений в бюджет страны за счет ускоренного вовлечения в оборот минеральных ресурсов, решить проблему трудоустройства части населения.

Приказом МПР РФ № 61 от 15 марта 2005 года, изменении к нему от 27 января 2014 года № 37 и позднее Приказом Минприроды РФ от 10 ноября 2016 № 583 «Об утверждении Порядка рассмотрения заявок на получение права пользования недрами для геологического изучения недр (за исключением недр на участках недр федерального значения и участках недр местного значения)» в отношении участков недр с прогнозными ресурсами P_1 и P_2 (до 2020 года) и P_1 (после 2020 года) определен заявительный принцип предоставления поисковых лицензий [8, 9].

Еще в 2017 году министр МПР РФ С. Донской отмечал, что всего за полгода применения приказа количество поданных заявок выросло по сравнению с 2013 годом в 20 раз и достигло нескольких сотен. В 2017 году было выдано более 1 500 подобных лицензий. В Амурской области только за один год было выдано более 900 лицензий. В целом по Российской Федерации с 2014 по 2021 год было подано заявок на золото 9 845, выдано 4 273, отказано 4 247 заявителям и 1 320 находились на рассмотрении [10]. К концу 2022 года число выданных лицензий заявительного принципа ТПИ (твердые полезные ископаемые) превысило 20 тысяч.

На отдельных территориях Амурской области Хабаровского края свободных площадей нет. Вся территория занята заявленными лицензионными участками. (Смотри цв. вклейку на стр. 49).

По оценке экспертов, подавляющей частью лицензий владеют люди, далекие от геологического изучения недр и их разработки. Чаще всего это инвесторы, основной вид деятельности которых связан с оленеводством, дорожным строительством, производством пищевых продуктов, дилерскими операциями и др. Даже Московская организация «НКО «Союз Россвинпром» получила более 10 поисковых лицензий в Зейском районе Амурской области [11]. Лицензии заявительного принципа приобретают статус высоколиквидных ценных бумаг и становятся предметом преступных коррупционных схем [12, 13]. Их скупают китайские бизнесмены, в переоформлении лицензий им активно помогают российские «специалисты».

По информации министра природных ресурсов и экологии РФ А. Козлова, за семь лет благодаря заявительному принципу открыто 319 месторождений полезных ископаемых [14]. Среди них несколько достаточно крупных объектов рудного золота в Забайкалье (Лугокан), Якутии (месторождение «Роман») и др. В целом перспективы открытия новых месторождений еще существуют.

Между тем многие субъекты Федерации (Амурская и Камчатская области, Забайкалье, Красноярский край) поставили вопрос о моратории заявительного принципа лицензирования. Ситуация объясняется тем, что подавляющее число недропользователей, например Амурской области, имеющих поисковые лицензии, по мнению губернатора региона, не предпринимают активных действий по производству геологоразведочных работ.

Проблема состоит и в том, что новые компании ведут разработку россыпного золота на стадии геологоразведочных работ. Эта деятельность осуществляется без постановки запасов на баланс, согласованных технических проектов, договоров аренды лесных участков, водопользования и т. д. Такие предприятия наносят значительный вред природным комплексам. Они еще не включены в реестр золотодобывающих предприятий, и любое загрязнение водного объекта в районе их действия будет отнесено на счет недропользователей, находящихся в реестре.

Значительная часть подобных лицензий, особенно в Амурской области, через подставных лиц продана китайским бизнесменам, что предопределяет изменение структуры недро- и землепользования региона в целом. При этом важно отметить, что активно проводится отработка объектов техногенного комплекса в составе лицензий заявительного принципа без постановки запасов россыпного золота на баланс и оформления разрешительных документов. Руководителям субъектов РФ следует обратить внимание не только на вопросы экологического характера, но и побеспокоиться о неучтенном драгметалле. А также о причинах, почему российские граждане – собственники заявительных лицензий успешно их продают китайским бизнесменам, выполняя работу по обеспечению иностранных собственников всей необходимой документацией, включая подготовку отчетов, защиту запасов, оформление согласований и др.

Учитывая масштабность лицензирования по заявительному принципу, в будущем и «юниорного» движения [15], а также функционирование неконтролируемой биржи «купли-продажи» лицензий, остановить или ограничить данные процессы будет со временем все сложнее. Предпринимать соответствующие мероприятия следует незамедлительно.

Необходимо запретить продажу (переоформление) заявительных лицензий (юниорных) без утвержденных запасов категории C₁. Тогда есть надежда, что активность «продавцов-покупателей» несколько снизится.

3. Решение экологических проблем, даже далеких от недропользователей, происходит за счет повышения финансовой нагрузки на предприятия.

В Правительстве России в начале июля 2021 года обсуждался вопрос о внесении изменений в налоговую систему, которые позволили бы увеличить поступления в бюджет дополнительно на 400 млрд рублей ежегодно. В первую очередь усиление нагрузки подразумевалось возложить на предприятия, которые добывали сырье, виды которого ранее не попали под повышение НДС (налог на добычу полезных ископаемых), в частности на драгметаллы [16, с. 10].

Под повышение НДС драгметалл в 2021 году не попал, но к рекультивации нарушенных земель, производимой недропользователями по мере отработки месторождения, после которого достигается высокое качество естественного возобновления лесов, успешно добавили лесовосстановление [17,

18]. Согласно этим документам, Лесной кодекс был дополнен положениями, требующими восстановления лесов всеми предприятиями, чья деятельность связана с их вырубкой. Предприятиям вменяется в обязанность «компенсационное» лесовосстановление на площадях, равных использованным, не позднее чем через один год.

Выполнение указанных требований существенно увеличило нагрузку на предприятия. В 2020 году расходы на лесовосстановление почти приравнялись к НДС. Цена на лесовосстановление 1 га нарушенных земель доходила до 200 тыс. рублей. По этому поводу недропользователи высказывались неоднократно, обращаясь в Правительство РФ, Госдуму. В 2021 году был принят новый Федеральный закон, согласно которому компенсационное лесовосстановление было отменено. Но лишь в случае осуществления рубок лесных насаждений при проведении геологического изучения недр. А сроки выполнения обязательств по лесовосстановлению были увеличены до трех лет [19]. По существу ничего не изменилось.

Сохранение и восстановление природных ресурсов не вызывает дискуссий. Недропользователь проводит на всей площади нарушенных земель как минимум горнотехнический этап рекультивации, создавая условия для естественного возобновления, что в реальности и происходит в течение 3–5 лет [20–25]. Теперь, согласно новым законам, дополнительно вменяется проведение компенсационного лесовосстановления в любой точке субъекта Федерации, но не в пределах нарушенных недропользователем земель. Таким образом предприятие производит затраты дважды: на рекультивацию нарушенных земель при отработке месторождений и компенсационное лесовосстановление на площадях, которые к вырубке лесов не имеют никакого отношения.

Вопрос для недропользователей в настоящее время даже не в том, что приходится компенсационным лесовосстановлением существенно повышать финансовую нагрузку, а в том, что возникла еще одна сфера согласований: заявка согласования на лесовосстановление, поиск исполнителя, проект лесовосстановления. Для недропользователя было бы проще и понятней, если бы при Министерстве лесного хозяйства субъектов Федерации был создан Фонд компенсационного лесовосстановления, который в течение трех лет после вырубки лесных насаждений равными долями пополнялся недропользователями и другими организациями, вырубаящими лесные насаждения.

Стоимость восстановления 1 га лесного участка необходимо определять с учетом частичного бюджетного финансирования структур, которые будут его проводить. В ином случае прямые отчисления и бесконтрольная стоимость этого процесса могут привести к финансовому перебору определенных структур. Так, например, в 2022 году стоимость компенсационного лесовосстановления нарушенных земель только по одному субъекту РФ превышала 1,0 млрд рублей.

Президент Российского союза промышленников и предпринимателей Александр Шохин отметил: «Многие из упомянутых фискальных инициатив уже обсуждались, но в комплексе это выглядит как «фронтальное» повышение налогов» – если до кого-то не добрались в 2021 году, доберутся в 2022-м» [16, с. 10].

Депутаты Госдумы в складывающейся экономической и геополитической ситуации на мировых рынках, где глобальный спрос на золото в 2024 году вырос до рекордного уровня, не могут оставить без внимания деятельность недропользователей

на внутреннем рынке, что выразилось в изменениях в статье 343 части 2 Налогового кодекса (НК) Российской Федерации, принятых Федеральным законом 22 апреля 2024 года № 96-ФЗ [26]. С 1 июня 2024 года налог на добычу полезных ископаемых был увеличен на 78 тыс. рублей.

4. Еще одна проблема – так называемое старательское движение – разрешение физическим лицам золотодобычи на определенных условиях.

Проблема необычайно актуальна, обсуждается как на уровне Правительства РФ, так и непосредственно старателями. В случае принятия закона «О вольном приносе», разрешающего физическим лицам осуществлять золотодобычу на определенных условиях, становится легальной существующая незаконная добыча в отдельных районах Магаданской и Амурской областей, Хабаровского края, Республики Саха (Якутия) с относительно развитой инфраструктурой.

С началом использования технических нововведений (металлодетекторы, мини-драги, сборные бутары и др.) этот процесс существенно активизировался. Так называемые хищники, или вольные старатели, моют золото не только на старых отработках, но и на территориях действующих лицензий. Законопроект неоднократно отклоняли, мотивируя необходимостью сохранить контроль за деятельностью вольных старателей.

Очередной вариант нового законопроекта планировали принять до конца 2023 года, но до сих пор его нет. Отношение к нему в обществе крайне неоднозначное, что объясняется довольно большим объемом грядущих нерешенных вопросов, а за ними и последующих проблем. В первую очередь это касается вопросов по реализации металла, контроля за этим процессом, нейтрализации криминальной обстановки, углублению экологических проблем и расширению площади их локализации и много другое. При этом важно подчеркнуть, что по еще не принятому законопроекту Правительство РФ планирует ввести ряд льгот вольным старателям. Предлагается, например, отменить НДС с добычи до 1 кг, что следует рассматривать как возможность найти варианты уйти от его уплаты и более весомых количеств драгметалла.

Следует отметить, что, с одной стороны, многие губернаторы потребовали ввести мораторий на заявительный принцип лицензирования, ссылаясь на нарушения экологических и горно-геологических условий недропользования. В некоторых субъектах РФ ограничения уже введены в действие, с другой стороны – руководство Минвостокразвития проталкивает законопроект о «вольном приносе», что может привести к еще большему воздействию на природные системы.

Вице-премьер РФ, полномочный представитель президента в ДФО Юрий Трутнев считает, что закон поможет бороться с нелегальным оборотом драгоценного металла и решить ряд социальных вопросов, в том числе легально стать старателями местному населению [27]. Но кадровый вопрос имеет и оборотную сторону. Кадрово-механизаторов катастрофически не хватает для золотодобывающих предприятий. Количество работающих в сфере недропользования иностранцев (граждан Киргизии и Узбекистана) с каждым годом растет. А российское население уже более 20 лет «ждет» принятия закона о «вольном приносе» и не хочет работать на действующих предприятиях даже за хорошую зарплату. Это порождает целый ряд проблем для государства и недропользователей, а желающих стать вольными старателями удивительно много.

Оптимистические настроения для желающих стать вольными старателями, но не имеющих представления об их потенциальной деятельности, может заметно снизиться. Раньше можно было найти участки, где можно было мыть золото: отработанных россыпей было достаточно много. А сегодня вся территория субъектов российского Дальнего Востока и Сибири, где имеются хотя бы косвенные сведения о металле, лицензирована.

Как отмечает В. И. Таракановский, за прошлый год предприятия, которые добывают до 30 кг золота в год (их оказалось 239), смогли суммарно добыть 2,5 т металла. При этом они использовали бульдозеры и другую технику. Надеяться, что новый закон позволит увеличить добычу России на 6–13 % (от 5 до 10 т в год), совершенно не реалистично [28]. По данным ЦНИГРИ за 2014–2021 годы, в рамках заявительного принципа лицензирования объем инвестиций составил всего 25,3 млрд рублей, что в 10 раз меньше запланированного изначально [27]. В действующих рамках законов и сложившейся на сегодня ситуации с лицензированием мы в лучшем случае получим цифру 1–2 % от годовой добычи, и, возможно, этот прирост ограничится первыми годами действия нового закона.

Чтобы заработал законопроект «Вольный принос»,

необходимо: открыть доступ к россыпным месторождениям, числящимся в нераспределенном фонде госбаланса; выбрать мелкие объекты с запасами до 30 кг, не представляющими в ближайшее время интереса для действующих предприятий.

Выводы

1. Рассмотренные проблемы являются лишь незначительной частью многочисленных административных решений, принимаемых без должного обсуждения со специалистами или обсуждаемых после невозвратной необходимости их принятия.

2. Вероятно, один из вариантов рассмотрения обозначенных вопросов и многих других проблем – это создание для налогоплательщиков (на условиях компромиссных соглашений) обстановки деятельности производств, исходя из регламентов нормативно-правовых документов, которые выстроены с учетом реальных положений в природной среде.

3. Необходимо устранить проблемы недопонимания между специалистами-производственниками и специалистами-чиновниками одних и тех же вопросов. Только в диалоге можно ожидать эффективного результата от деятельности, ориентированной на благо нашей страны.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Лаломов АВ, Владимирцева ОВ, Бочнева АА. Роль россыпных месторождений в золотодобывающей промышленности России. *Золото и технологии*. 2022; 4(58):36–45. [Lalomov AV, Vladimirtseva OV, Bochneva AA. The role of placer deposits in the gold mining industry of Russia. *Gold and technology*. 2022;4(58):36–45 (In Russ.).]
2. Гальцева НВ, Шарыпова ОА. Золотодобывающая промышленность России: санкционные шоки. *Пространственная экономика*. 2023;19(2):70–93. [Galceva NV, Sharypova OA. Gold mining industry of Russia: sanctions shocks. *Spatial economy*. 2023;19(2):70–93. (In Russ.).] DOI: 10.14530/se.2023.2.070–093.
3. Об утверждении Методики разработки нормативов допустимых сбросов загрязняющих веществ в водные объекты для водопользователей: Приказ Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации от 29.12.2020 № 1118. [Order of the Ministry of Natural Resources and Ecology of the Russian Federation No. 1118 dated 12/29/2020 «On Approval of the Methodology for Developing Standards for Permissible discharges of Pollutants into water bodies for water users» (In Russ.).] URL: <http://docs.cntd.ru/document/573275596?ysclid=ll0a-jxskrj539591303>.
4. Об утверждении Методики исчисления размера вреда, причиненного водным объектам вследствие нарушения водного законодательства: Приказ Минприроды России от 13 апреля 2009 г. № 87 (с изменениями и дополнениями 31 января 2014 г., 26 августа 2015 г.). [Order of the Ministry of Natural Resources of the Russian Federation No. 87 dated April 13, 2009 «On approval of the Methodology for calculating the amount of damage caused to Water bodies due to violations of Water Legislation» (with amendments and Additions on January 31, 2014, August 26, 2015) (In Russ.).] URL: <http://base.garant.ru/12167365/?ysclid=ll0apzcs928013046>.
5. Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения: Приказ Министерства сельского хозяйства Российской Федерации от 13.12.2016 № 552. [Order of the Ministry of Agriculture of the Russian Federation No. 552 dated December 13, 2016 «On approval of water quality standards for water bodies of fishery significance, including standards for maximum permissible concentrations of harmful substances in the waters of water bodies of fishery significance» (In Russ.).] URL: <http://docs.cntd.ru/document/420389120?ysclid=ll0arxxfub392438631>.
6. Личаев ВР, Есенеvская ЛН, Чикин ЮМ. Руководство по выбору и проектированию систем водоснабжения, водоотведения и способам водоподготовки при разработке россыпных месторождений. Иркутск, 1990: 159. [Lichaev VR, Esenevskaya LN, Chikin YuM. Guidelines for the selection and design of water supply systems, drainage and methods of water treatment in the development of placer deposits. Irkutsk, 1990: 159 (In Russ.).]
7. Tuokuu FXD, Idemudia U, Gruber JS, et al. Identifying and clarifying environmental policy best practices for the mining industry. A systematic review. *Journal of Cleaner Production*. 2019;222:922–33.
8. Об утверждении порядка рассмотрения заявок на получение права пользования недрами для геологического изучения недр (за исключением недр на участках недр федерального значения): Приказ Минприроды России от 15 марта 2005 г. № 61. [Order of the Ministry of Natural Resources of the Russian Federation No. 61 dated March 15, 2005 «On Approval of the Procedure for Consideration of Applications for the Right to Use the Subsoil for Geological exploration of the Subsoil (with the exception of the subsoil in the Subsoil areas of Federal Significance)» (In Russ.).] URL: <http://docs.cntd.ru/document/901928720?ysclid=ll0b341wvq345497895.07.2023>.
9. Об утверждении Порядка рассмотрения заявок на получение права пользования недрами для геологического изучения недр (за исключением недр на участках недр федерального значения и участках недр местного значения): Приказ Минприроды России от 10.11.2016 № 583 (ред. от 09.12.2020). [Order of the Ministry of Natural Resources of the Russian Federation dated 10.11.2016 N 583 (ed. dated 09.12.2020) On Approval of the Procedure for Consideration of Applications for the Right to Use the Subsoil for Geological Exploration of the Subsoil (with the exception of the subsoil in the subsoil areas of Federal Significance and subsoil areas of Local Significance) (In Russ.).] URL: <http://docs.cntd.ru/document/420383932?ysclid=ll0b7oikh4347065123>.

10. Лунышин ПД. Заявительный принцип занесло на скользкую дорогу. *Золото и технологии*. 2021;2(52):54-8 [Lunyashin PD. The declarative principle skidded on a slippery road. *Gold and Technology*. 2021;2(52):54-8 (In Russ.)]
11. Иванов ВН. О проблемах ГРП до и после санкций Запада. О вольном приносе. *Золото и технологии*. 2022;3(57):40-6. [Ivanov VN. On the problems of exploration before and after Western sanctions. About free bringing. *Gold and technologies*. 2022;3(57):40-6. (In Russ.)]
12. Verbrugge B, Geenen S. The gold commodity frontier: A fresh perspective on change and diversity in the global gold mining economy. *The Extractive Industries and Society*. 2019;6(2):413-23.
13. Sayne A, Gillies A, Watkins A. Twelve Red Flags: Corruption Risks in the Award of Extractive Sector Licenses and Contracts. New York: Natural Resource Governance Institute, 2017:56.
14. Обзор основных событий в золотодобывающей отрасли по итогам сентября – декабря 2022 года. *Золото и технологии*. 2022;4(58):10. [Overview of the main events in the gold mining industry following the results of September-December 2022. *Gold and Technology*. 2022;4(58):10. (In Russ.)]
15. Об утверждении Порядка установления факта открытия месторождения полезных ископаемых, выдачи свидетельства об установлении факта открытия месторождения полезных ископаемых и внесения изменений в свидетельство об установлении факта открытия месторождения полезных ископаемых: Приказ Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации, Федерального агентства по недропользованию от 26.10.2021 № 796/19. [Order of the Ministry of Natural Resources and Ecology of the Russian Federation, Federal Agency for Subsoil Use dated 26.10.2021 No. 796/19 «On approval of the Procedure for establishing the fact of discovery of a mineral deposit, issuing a certificate of establishing the fact of discovery of a mineral deposit and Amending the certificate of establishing the fact of discovery of a mineral deposit» (In Russ.)]. URL: <http://docs.cntd.ru/document/727535256?ysclid=ll0c4jlymq349706438>.
16. Обзор основных событий в золотодобывающей отрасли по итогам июля – сентября 2021 года. *Золото и технологии*. 2021;3(53):10. [Overview of the main events in the gold mining industry following the results of July-September 2021. *Gold and technology*. 2021;3(53):10. (In Russ.)]
17. О внесении изменений в Лесной кодекс Российской Федерации и отдельные законодательные акты Российской Федерации в части совершенствования: Федеральный закон № 212-ФЗ от 19.07.2018 г. [Federal Law No. 212-FZ of 07/19/2018 «On Amendments to the Forest Code of the Russian Federation and Certain Legislative Acts of the Russian Federation in terms of improvement» (In Russ.)]. URL: <http://normativ.kontur.ru/document?moduleId=1&documentId=317094&ysclid=ll0dmu3zis776805657>.
18. Об утверждении Правил выполнения работ по лесовосстановлению или лесоразведению лицами, использующими леса в соответствии со статьями 43-46 Лесного кодекса Российской Федерации, и лицами, обратившимися с ходатайством или заявлением об изменении целевого назначения лесного участка: Постановление Правительства Российской Федерации от 07.05.2019 № 566. [Resolution of the Government of the Russian Federation of 07.05.2019 No. 566 «On approval of the Rules for the performance of reforestation or afforestation by persons using forests in accordance with Articles 43-46 of the Forest Code of the Russian Federation, and persons who have applied with a petition or application to change the purpose of the forest area» (In Russ.)]. URL: <http://docs.cntd.ru/document/554506302?ysclid=ll0dq05be699260179>.
19. О внесении изменений в Лесной кодекс Российской Федерации в части совершенствования воспроизводства лесов и лесоразведения: Федеральный закон от 02.07.2021 № 303-ФЗ. [Federal Law No. 303-FZ dated 02.07.2021 «On Amendments to the Forest Code of the Russian Federation regarding the improvement of forest reproduction and afforestation». (In Russ.)]. URL: <http://docs.cntd.ru/document/607141888?ysclid=ll0drsuslm491703520>.
20. Галченко ЮП. Экспериментальные исследования демутиации растительных сообществ в зоне техногенного воздействия рудников. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2015;1:223-33. [Galchenko YuP. Experimental studies of the demutation of plant communities in the zone of technogenic impact of mines. *Mining Information and Analytical Bulletin*. 2015;1:223-33]
21. Mirzekhanova Z, Ostrouchov A. Transformation of Natural Systems Disturbed by Gold Placer Mining in the Khabarovsk Territory. *Springer Nature Journal of Mining Science*. 2019;54(3):435-43. [Mirzekhanova Z, Ostrouchov A. Transformation of Natural Systems Disturbed by Gold Placer Mining in the Khabarovsk Territory. *Springer Nature Journal of Mining Science*. 2019;54(3):435-43 (In Russ.)]. DOI: 10.1134/S1062739118033834.
22. Капелькина ЛП. О естественном зарастании и рекультивации нарушенных земель Севера. *Успехи современного естествознания*. 2012;11:98-102. [Kapelkina LP. On natural overgrowth and recultivation of disturbed lands of the North. *The successes of modern natural science*. 2012;11:98-102 (In Russ.)]
23. Калабин ГВ, Моисеенко ТИ, Горный ВИ, et al. Спутниковый мониторинг природной среды при открытой разработке Олимпиадинского золоторудного месторождения. *Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых*. 2013;1:177-84. [Kalabin GV, Moiseenko TI, Gorny VI, et al. Satellite monitoring of the natural environment during open-pit mining of the Olympiadininsky gold deposit. *Physico-technical problems of mineral development*. 2013;1:177-84. (In Russ.)]
24. Калабин ГВ, Галченко ЮД. Оценка изменений природных систем вследствие техногенных воздействий горнодобывающих предприятий по данным спутниковых измерений. *Горный журнал*. 2017;11:11-116. [Kalabin GV, Galchenko YuD. Assessment of changes in natural systems due to man-made impacts of mining enterprises according to satellite measurements. *Mining magazine*. 2017;11:11-116. (In Russ.)]
25. Алешенко ВП. Лес салят – проблемы растут. *Золото Востока России*. 2021;1-2(5-6):6-9. [Aleshchenko VP. The forest is planted – the problems are growing. *Gold of the East of Russia*. 2021;1-2(5-6):6-9. (In Russ.)]
26. О внесении изменений в часть вторую Налогового кодекса Российской Федерации и статью 3 Федерального закона «О внесении изменений в часть вторую Налогового кодекса Российской Федерации и статью 1 Федерального закона «О внесении изменений в часть вторую Налогового кодекса Российской Федерации»: Федеральный закон № 96-ФЗ от 22.04.2024. [Federal Law dated No. 96-ФЗ «On Amending Part two of the Tax Code of the Russian Federation and Article 3 of the Federal Law» On Amendments to Part two of the Tax Code of the Russian Federation and Article 1 of the Federal Law «On Amendments to Part Second Tax Code of the Russian Federation 04.22.2024»]. URL: <http://publication.pravo.gov.ru/document/0001202404220043>.
27. Обзор основных событий в золотодобывающей отрасли по итогам июля – сентября 2021 года. *Золото и технологии*. 2022;1(59):14. [Overview of the main events in the gold mining industry following the results of July-September 2021. *Gold and Technologies*. 2022;1(59):14 (In Russ.)]
28. Обзор событий. *Золотодобыча*. 2022;5(282):67. [Review of events. *Gold mining*. 2022;5(282):67 (In Russ.)]

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ**Гаджи Сиражудинович Мирзеханов –**

доктор геолого-минералогических наук, главный научный сотрудник лаборатории Разработки россыпных месторождений, Институт горного дела ДВО РАН, 680000, г. Хабаровск, Российская Федерация, e-mail: mgs_gold@mail.ru

Зоя Гавриловна Мирзеханова –

доктор географических наук, профессор, главный научный сотрудник лаборатории оптимизации регионального природопользования. Институт водных и экологических проблем ДВО РАН, 680000, г. Хабаровск, Российская Федерация, e-mail: lorp@ivep.as.khb.ru

ABOUT THE AUTHORS**Gadzhi S. Mirzekhanov –**

Doctor of Geologist-Mineralogical Sciences, Chief Researcher of the Laboratory of Placer Deposit Development, Institute of Mining, Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, 680000, Khabarovsk, Russian Federation, e-mail: mgs_gold@mail.ru

Zoya G. Mirzekhanova –

Doctor of Geographical Sciences, Professor, Chief Researcher of the Laboratory of Optimization of Regional Environmental Management Institute of Water and Environmental Problems, Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, 680000, Khabarovsk, Russian Federation, e-mail: lorp@ivep.as.khb.ru

Критерии авторства / Contribution:

Г. С. Мирзеханов – генерация идеи исследований, получение данных для анализа, анализ библиографических материалов, написание текста статьи, оформление картографического материала; З. Г. Мирзеханова – выполнение работ по систематизации материалов, написание текста статьи, анализ библиографических материалов, редактирование. / G. S. Mirzekhanov – generation of research ideas, obtaining data for analysis, analysis of bibliographic materials, writing the text of the article, design of cartographic material; Z. G. – Mirzekhanova systematisation of materials, writing the text of the article, analysis of bibliographic materials, editing.

Конфликт интересов / Conflict of interest:

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

Информация о статье

Поступила в редакцию: 04.02.2025.

Поступила после рецензирования: 15.03.2025.

Принята к публикации: 02.04.2025.

Article info

Received: 04.02.2025.

Revised: 15.03.2025.

Accepted: 02.04.2025.

ИССЛЕДОВАНИЕ ГАЗОПРОНИЦАЕМОСТИ ПОРОД МЕЖДУПЛАСТИЙ ПОСЛЕ ИХ ПОДРАБОТКИ И НАДРАБОТКИ С УЧЕТОМ ГЕОДИНАМИЧЕСКИХ И ГЕОМЕХАНИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ

М. Г. Лупий[✉]

АО «СУЭК-Кузбасс», г. Ленинск-Кузнецкий, Российская Федерация

✉ lupiy@msk.suek.ru

Аннотация. Приведен прогноз геодинамических и геомеханических процессов при отработке угольных пластов, влияющих на метановыделение в шахтах. Проведен анализ геомеханических процессов и установлены периоды неустойчивого и устойчивого смещения подработанной и надработанной толщи горного массива. Установлено, что если размеры разгруженных зон по простиранию и падению не превышают протяженности активных зон, то вся поверхность спутника является активно газоотдающей поверхностью. Именно в активной части зоны смещения наблюдается наибольшая пористость и газопроницаемость под- и надработанных толщ. Приведено приближенное аналитическое решение обратной фильтрационной задачи о перетоке метана из подрабатываемых и надрабатываемых пластов. Получено уравнение для расчета средних значений коэффициента газопроницаемости вмещающих пород в зависимости от мощности пород междупластий, скорости продвижения очистного забоя и других горнотехнических факторов. Результаты расчетов могут быть использованы при прогнозе газовыделения из сближенных пластов, а также при проектировании дегазации. Приводится методика прогноза метанообильности подготовительных выработок при проведении их по надработанным пластам с учетом изменения метаноносности и фильтрационных свойств массива вследствие надработки. Методика базируется на исходных данных, известных на стадии проектирования, и учитывает основные параметры, определяющие метанообильность подготовительных выработок.

Ключевые слова: дегазация, угольный пласт, газопроницаемость пород, метанообильность, подработка и надработка пласта, метан, подготовительная выработка, газоразделение

Благодарности: автор выражает благодарность доктору технических наук, профессору К. С. Коликову за консультации и сотрудникам шахты «Талдинская-Западная-1» за проведение экспериментальных исследований

Для цитирования: Лупий М. Г. Исследование газопроницаемости пород междупластий после их подработки и надработки с учетом геодинамических и геомеханических факторов. *Маркшейдерия и недропользование*. 2025;25(2):60-68. <https://doi.org/10.56195/20793332-2025-25-2-60-68>.

STUDY OF THE GAS PERMEABILITY OF PERMEABILITY OF ROCK INTERPLATES AFTER THEIR UNDERMINING AND OVERWORKING, TAKING INTO ACCOUNT GEODYNAMIC AND GEOMECHANICAL FACTORS

M. G. Lupiy[✉]

JSC SUEK-Kuzbass, Leninsk-Kuznetsky, Russian Federation

✉ lupiy@msk.suek.ru

Abstract. The article presents a forecast of geodynamic and geomechanical processes during coal seam extraction that affect methane emissions in mines. An analysis of geomechanical processes has been conducted, and the periods of non-steady and steady-state displacements in the undermined and overworked strata of the rock mass have been identified. It has been established that if the dimensions of the unloaded zones along the strike and dip do not exceed the extent of the active zones, the entire surface of the satellite

is an actively gas-emitting surface. The highest porosity and gas permeability of the undermined and overworked strata are observed in the active part of the displacement zone. An approximate analytical solution to the inverse filtration problem of methane flow from the undermined and overworked seams is presented. An equation has been derived to calculate the average values of the gas permeability coefficient of the surrounding rocks, depending on the thickness of the interlayer rocks, the advance rate of the working face, and other mining factors. The results of the calculations can be used to predict gas emissions from adjacent seams and in the design of degassing. A methodology for predicting methane content in development workings driven through overworked seams is provided, taking into account changes in methane content and filtration properties of the rock mass due to overworking. The methodology is based on initial data known at the design stage and considers the main parameters determining the methane content in development workings.

Keywords: degassing, coal seam, rock permeability, methane content, undermining and overworking of seams, methane, development workings, gas emission

Acknowledgments: The author expresses his gratitude to the Doctor of Technical Sciences, professor. Kolikov K. S. for advice and to the staff of sh. Taldinskaya-Zapadnaya-1 for conducting experimental research.

For citation: Lupiy MG. Study of the gas permeability of permeability of rock interplates after their undermining and overworking, taking into account geodynamic and geomechanical factors. *Mine Surveying and Subsurface Use*. 2025;25(2):60-68. (In Russ.). <https://doi.org/10.56195/20793332-2025-25-2-60-68>.

Введение

Ряд авторов указывают, что в течение геологических периодов за счет естественной миграции происходит перераспределение газа по всей вмещающей толще пород [1–3]. В зависимости от совокупности геологических условий вмещающие породы могут насыщаться газом по-разному. Если газопроницаемость пород выше газопроницаемости угля, то процесс миграции может привести к равномерному перераспределению газа в толще пород или вызвать пониженную газоносность угольных пластов. Если газопроницаемость угля выше газопроницаемости пород, то газоносность вмещающих пород значительно ниже газоносности угля. Учитывая тот факт, что мощность пород междупластий гораздо больше мощности угольных пластов, можно принять их по запасам заключенного газа равноценными [4, 5].

Однако из-за высокой сорбционной способности угля нужно признать, что угольные пласты, попадая в зону разгрузки, становятся источниками дополнительного поступления десорбированного газа в выработки разрабатываемого пласта. Для того чтобы учесть дополнительное поступление газа, выделяющееся при разгрузке пластов-спутников, будем считать, что угленосная толща представляет газовую залежь свободного метана, в которой содержатся внутренние источники (пласты-спутники) с преимущественным содержанием в них сорбированного метана [6–8].

Механизм перемещения газа из газовой залежи можно объяснить характером сдвижения междупластовой толщи пород и перераспределением напряжений в зоне влияния очистной выемки. Оработка угольного пласта вызывает деформацию вмещающих горных пород. По степени и характеру влияния очистной выработки на массив горных пород в области влияния выработки могут быть выделены следующие зоны: обрушения, полных сдвижений, разгрузки и опорного давления.

Высота зоны беспорядочного обрушения в зависимости от коэффициента разрыхления пород достигает 3–4-кратной мощности пласта. Выше этой зоны обрушение происходит в виде отдельных блоков, в результате чего образуется зона прогиба горных пород с образованием трещин и разломов. Зоны беспорядочного обрушения и прогиба горных пород образуют зону полных сдвижений. В пределах зоны полных сдвижений образуются полости и трещины, сообщающиеся между собой и с выработанным пространством. Пори-

стость, а следовательно, и проницаемость пород в этой зоне резко возрастает, обуславливая интенсивную миграцию газа. Выше зоны полных сдвижений оседание пород происходит без разрыва их сплошности; расслоения пород, как правило, изолированы друг от друга и от выработанного пространства, поэтому миграция метана через эту зону может происходить только по естественным порам и трещинам. Но естественная газопроницаемость вмещающих пород на глубине ведения горных работ настолько низка, что при существующих градиентах давлений движение газа может происходить только по законам диффузии. Вследствие малой скорости диффузионного потока газовыделение из вмещающей толщи, расположенной выше зоны полных сдвижений, существенного влияния на загазованность выработанного пространства не оказывает.

Следовательно, можно считать установленным, что основное газовыделение в выработанное пространство разрабатываемого пласта происходит из зоны полных сдвижений. Высота зоны полных сдвижений зависит от многих горно-геологических и горнотехнических факторов. Для определения масштабов газовыделения из под- и надрабатываемых пластов и из горных пород, вмещающих эти пласты, необходимо знать изменение газопроницаемости угленосной толщи на любом расстоянии от разрабатываемого пласта. Изменение газопроницаемости вызывается как изменением напряженного состояния пород за счет перераспределения горного давления, так и изменением давления газа, заключенного во вмещающей толще [9, 10].

На первой стадии развития работ, когда пласты-спутники не попали в зону полных сдвижений, происходит изменение фильтрационных свойств только вмещающей толщи, и содержащийся в ней свободный газ по открывшимся порам и трещинам не выделяется в выработанное пространство. Продолжительность этого периода невелика и зависит от высоты залегания спутника, свойств вмещающих пород и скорости развития горных работ.

Во второй период, когда пласты-спутники попали в зону полных сдвижений, происходит их разгрузка от горного давления, и заключенный в них сорбированный газ, переходя в свободное состояние, по открывшимся трещинам и порам устремляется в выработанное пространство. При равномерном продвижении забоя в период между обрушениями кровли происходит постоянная разгрузка пластов-спутников, в результате этого можно считать интенсивность газовыделения

из спутников постоянной. Постоянство газовыделения из них нарушается только в момент посадки основной кровли, в результате чего происходит мгновенная разгрузка пластов-спутников, и дополнительная масса десорбированного газа вызывает неравномерность газовыделения в выработанное пространство [11, 12].

Для того чтобы получить дифференциальное уравнение, описывающее указанный характер перемещения метана в выработки разрабатываемого пласта, необходимо установить зависимость газопроницаемости от смещения пород и от величины давления заключенного в них газа. Кроме того, необходимо найти характер изменения давления газа в под- и надрабатываемой толще пород.

При одной и той же метаноносности количества метана, выделяющиеся в шахте, неодинаковы. Если в шахтном поле залегает один пласт, разрабатываемый сразу на всю мощность, как бы ни была высока его метаноносность, количество выделяющихся при его разработке газов всегда будет меньше его природной метаноносности. Если же в поле шахты залегает несколько пластов, то в выработки пластов, разрабатываемых в первую очередь, поступают большие количества газа из смежных пластов, в несколько раз превышающие его природную метаноносность. Чем больше угля содержится в недрах, чем на большей глубине ведутся работы и чем меньше одновременно разрабатывается пластов, расположенных в шахтном поле, тем большие количества метана поступают в шахту на тонну добываемого угля. Угольные месторождения чрезвычайно разнообразны по числу и мощности пластов угля и расстоянию между ними [13, 14].

Цель исследований: повышение эффективности и безопасности горных работ по газовому фактору на выемочных участках шахт АО «СУЭК-Кузбасс», отработывающих угольные пласты с тяжелыми кровлями с учетом опасных геодинамических и геомеханических факторов.

Методика исследований: комплексная, включающая анализ литературных источников, анализ шахтных данных, аналитические исследования газодинамических процессов на выемочных участках и состояния массива горных пород при отработке пластов с тяжелыми кровлями.

Результаты исследований

Значительное влияние на интенсивность газовыделений оказывает глубина разработки [15, 16]. Чем больше глубина разработки, тем выше при прочих равных условиях природная метаноносность угольных пластов. На большей глубине интенсивнее происходит трещинообразование горных пород, которое захватывает смежные пласты, дегазируемые в выработки разрабатываемого пласта. В результате этого количества газа, поступающие на тонну добываемого угля, в два-три раза и более превышают природную метаноносность разрабатываемого пласта.

Большой диапазон в метаноносности угольных пластов, наличие дегазированных зон в верхних частях месторождений, различная насыщенность недр угольными пластами разной мощности и степени сближенности, рассредоточенность горных работ по глубине залегания угольных пластов и принятый порядок разработки, при котором число одновременно разрабатываемых пластов в несколько раз меньше числа дегазируемых смежных пластов, обусловили различную характеристику шахт по количеству выделяющихся в них газов.

Высокая интенсивность газовыделений, превышающая в несколько раз метаноносность разрабатываемых пластов, обусловлена дегазацией смежных неразрабатываемых пластов угля.

Метаноносность угленосных толщ обуславливается:

- а) степенью угленасыщенности;
- б) пористостью углей и вмещающих пород.

Наибольшая концентрация метана (т.е. наибольшая газонасыщенность) приурочена к углям, поэтому в угленосной толще необходимо выделять зоны повышенной метаноносности, которые в большинстве случаев располагаются в угленосных толщах неравномерно и зависят от распределения и группировки угольных пластов и пропластков в различных частях свит.

Наибольшая метаноносность угленосной толщи приурочена к зонам более высокой угленасыщенности в различных частях свит. Газообильность горных выработок по отдельному рабочему пласту следует относить к дегазации всей газоносной толщи. Газ, находящийся в свободной фазе, в основной своей массе заключен в порах угля и вмещающих его пород, а также в трещинах, не имеющих связи с земной поверхностью. Коллекторная способность угленосной толщи в основном определяется пористостью углей и пород [17, 18].

Горной геомеханикой [19, 20] установлены периоды неустановившегося и установившегося сдвижения подработанной толщи. Период неустановившегося сдвижения делится на два этапа: первый – от начала очистной выемки до выхода вершины эллипсоида разгрузки на земную поверхность, второй – от начала возникновения на поверхности земли мульды сдвижения до появления в ней плоского дна. В этот период подрабатываемая толща представляет собой многослойную плиту переменной мощности, опертую по периметру (или на двух опорах). Период установившегося сдвижения подработанной толщи начинается после образования плоского дна мульды сдвижения на поверхности. В этот период многослойная плита закреплена в одном конце.

Если говорить о пластах-спутниках, то под периодом неустановившегося сдвижения спутника будем понимать время от начала очистной выемки на одном из пластов свиты до образования плоского дна в спутнике, а под периодом установившегося сдвижения – время после образования плоского дна в спутнике.

Для надработанных спутников период неустановившегося сдвижения делится на два этапа: первый – распространение зоны надработки на предельно возможную глубину, второй – формирование активной зоны сдвижений. Если размеры разгруженных зон по простиранию и падению не превышают протяженности активных зон, то вся поверхность спутника является активно газоотдающей поверхностью. Именно в активной части зоны сдвижения наблюдается наибольшая пористость и газопроницаемость под- и надработанных толщ. Как правило, пока эллипсоид разгрузки не коснулся поверхности, непосредственная кровля не обрушается. Можно считать, что первая посадка непосредственной кровли происходит после выхода эллипсоида разгрузки на поверхность земли и образования консолей. Образование консолей и их изгиб по мере дальнейшего подвигания очистного забоя приводит к их обрушению и возникновению зоны полных сдвижений. До вскрытия пласта-спутника областью полных сдвижений выделение газа задерживается, в результате в окружающих породах накапливается метан, десорби-

руемый в процессе увеличения пористости угля и снижения газового давления.

Известно, что в процессе под- и наработки сближенных пластов изменяются фильтрационные свойства вмещающих пород. Причем закономерности этих изменений весьма сложны и до настоящего времени до конца не изучены. Вместе с тем при разработке динамического метода расчета вентиляции шахт, включающего в себя предварительный расчет ожидаемого газовыделения из сближенных угольных пластов, а также при проектировании их дегазации в ряде случаев необходимо знать хотя бы приближенное значение коэффициента газопроницаемости пород, попадающих в зону разгрузки [21–23].

Для нахождения этого коэффициента решим приближенно обратную фильтрационную задачу. С этой целью рассмотрим область фильтрации, представленную на рисунке 1, и применим метод материального баланса, предложенный Л. С. Лейбензоном [24]. Можно с достаточной для практики точностью предположить, что метан из сближенного пласта поступает из области $CDD'C'$ через поверхность, равную площади выемочного поля, а также считать, что движение газа из сближенного пласта в выработанное пространство одномерно-параллельное.

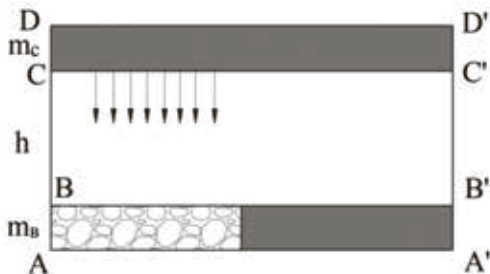


Рис. 1. Схема области решения задачи фильтрации метана из сближенного пласта в выработанное пространство /

Fig. 1. Diagram of the solution area for the problem of methane filtration from the adjacent reservoir into the depleted space

Выберем систему координат, начало которой поместим на линии BB' . Тогда по физическим условиям задачи давление газа должно удовлетворять следующим граничным условиям:

$$\left. \begin{aligned} P &= P_a \text{ на линии } BB' \\ \frac{\partial P}{\partial x} &= 0 \text{ на линии } DD' \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

Функция давления, удовлетворяющая условиям (1), может быть взята в соответствии с работой [4] в виде

$$P = P_a + \sin \left[\frac{\pi x}{2(h + m_c)} \right] A(t), \quad (2)$$

где P – давление метана в спутнике, МПа;

P_a – атмосферное давление (давление на линии BB'), МПа;

x – расстояние от кровли разрабатываемого пласта до любой точки области решения, м;

h – мощность пород междупластья, м;

m_c – неизвестная функция времени, подлежащая определению;

t – время с начала поступления метана в разрабатываемый пласт, сут.

Если наличием свободного газа пренебречь, то объем метана в выделенной области пласта-спутника будет равен

$$M = \frac{abP\omega}{1 + bP}, \quad (3)$$

где M – объем метана, m^3 ;

a, b – константы уравнения Ленгмюра;

ω – рассматриваемый объем пласта-спутника, равный

$$\omega = \gamma m_c L l, \quad (4)$$

здесь γ – удельный вес угля, t^3/m ;

L и l – соответственно длина и ширина выемочного поля, м.

С учетом рекомендаций работы [4] объемный расход газа через CC' будет равен

$$J = -\frac{dM}{dt} = -\frac{dabLl\gamma}{(1 + bP_0)^2 dt} \int_0^{h+m_c} \left\{ P_a + \sin \left[\frac{\pi x}{2(h + m_c)} \right] \right\} A(t) dx, \quad (5)$$

где J – объемный расход газа, m^3 ;

P_0 – природное давление метана в сближенном пласте, МПа.

Производя интегрирование и дифференцирование последнего выражения, получим

$$J = -\frac{abLl\gamma}{(1 + bP_0)^2} \left[m_c P_a + \frac{2(h + m_c)}{\pi} \cos \frac{\pi h}{2(h + m_c)} \right] \frac{dA}{dt}. \quad (6)$$

С другой стороны, если фильтрационные свойства пород междупластья характеризовать некоторым осредненным коэффициентом газопроницаемости k , величину которого считать постоянной, то объемный расход метана через BB' будет также равен по уравнению Дарси

$$J = \frac{kLl}{2\mu P_a} \left(P \frac{\partial P}{\partial x} \right)_{x=0}, \quad (7)$$

где μ – динамическая вязкость метана.

Производя дифференцирование последнего выражения с учетом выражения (2) и применяя осреднение по Л. С. Лейбензону, для площади фильтрации метана из сближенного пласта, равной в среднем $0,5Ll$, получим

$$J = \frac{k(P_0 + P_a)Ll\pi A(t)}{8\mu P_a(h + m_c)}. \quad (8)$$

Из сравнения уравнений (6) и (8) следует

$$\frac{dA}{A} = -\theta dt, \quad (9)$$

где θ – коэффициент, равный

$$\theta = \frac{k(P_0 + P_a)\pi^2(1 + bP_0)^2}{8\mu P_a(h + m_c)ab\gamma \left[\pi m_c P_a + 2(h + m_c) \cos \frac{\pi h}{2(h + m_c)} \right]}. \quad (10)$$

Решение уравнения (9) имеет вид

$$A = A_0 E^{-\theta t}, \quad (11)$$

где постоянная интегрированная A_0 определяется из начального условия $P_{t=0} = P_0$ и равна

$$A_0 = \frac{4(P_0 - P_a)}{\pi}. \quad (12)$$

Из уравнения (8) с учетом выражений (11) и (12) получим уравнение для определения интенсивности газовыделения из спутника

$$J = \frac{k(P_0^2 + P_a^2)Ll}{2\mu P_a(h + m_c)} e^{-\theta t}. \quad (13)$$

Суммарное газовыделение из сближенного пласта за период отработки выемочного поля будет равно

$$G = m_c Ll \gamma (x - x_0)(1 - e^{-\theta t}), \quad (14)$$

где G – суммарное газовыделение, м^3 ;

x – природная метаноносность сближенного пласта, $\text{м}^3/\text{т}$;

x_0 – метаноносность угля при атмосферном давлении, $\text{м}^3/\text{т}$;

t – время отработки выемочного поля, сут;

$$t = \frac{L}{V}, \quad (15)$$

здесь V – скорость подвигания очистного забоя, $\text{м}/\text{сут}$.

Относительное газовыделение из сближенного пласта определяется путем деления величины G , рассчитанной по уравнению (14), на величину запасов угля выемочного поля равную $m_b Ll \gamma$,

$$g_{\text{сп}} = \frac{m_c}{m_b} (x - x_0) \left(1 - e^{-\frac{\theta L}{V}}\right), \quad (16)$$

где $g_{\text{сп}}$ – относительное газовыделение из сближенного пласта, $\text{м}^3/\text{м}^2$.

С другой стороны, согласно нормативному документу [22], относительное газовыделение из сближенного пласта определяется по уравнению

$$g_{\text{сп}} = \frac{m_c}{m_b} (x - x_0) \left(1 - \frac{h}{h_p}\right), \quad (17)$$

где h – расстояние по нормали между разрабатываемым и смежным пластами, м ;

h_p – расстояние по нормали между разрабатываемым и смежным пластами, при котором газовыделение из последнего практически равно нулю, м .

Для условий надработки [25] расстояние до границы нулевого газовыделения принимается m , а для условий подработки при управлении кровлей полным обрушением рассчитывается по уравнению

$$h_p = 40m_b(1,2 + \cos \alpha_{\text{пл}}), \quad (18)$$

где $\alpha_{\text{пл}}$ – угол падения пласта, град.

Приравняв правые части выражений (16) и (17), получим

$$\theta = -\frac{V}{L} \ln \frac{h}{h_p}. \quad (19)$$

Последнее соотношение позволяет с учетом уравнений (10) и (18) определить искомый коэффициент газопрооницаемости вмещающих пород по формуле

$$k = \frac{8\mu ab P_a \gamma V (h + m_c) \ln \frac{h_p}{h} \left[\pi m_c P_a + 2(h + m_c) \cos \frac{\pi h}{2(h + m_c)} \right]}{\pi^2 (P_0 + P_a)(1 + b P_0)^2 L}. \quad (20)$$

Специфической особенностью прогноза метанообильности подготовительных выработок, проводимых по надработанным угольным пластам, является необходимость учета изменения метаноносности и фильтрационных свойств, обусловленных разгрузкой массива от горного давления.

Действующими нормативными документами по прогнозу метанообильности горных выработок [25] учитывается изменение метаноносности за счет надработки только в области,

ограниченной расстоянием по нормали от надрабатывающего пласта 35–50 м. Причем рекомендации нормативных документов по определению этой области носят противоречивый характер как в части предельного ее расстояния, так и в части влияния мощности надрабатывающего пласта на изменение метаноносности массива. Кроме того, в этих нормативных документах при расчете метановыделения в подготовительные выработки не учитывается изменение фильтрационных свойств пластов за счет надработки.

Противоречивость рекомендаций нормативных документов и недостаточная их обоснованность предопределили необходимость проведения исследований с целью уточнения методики прогноза метановыделения в подготовительные выработки при проведении по надработанным пластам, а также зависимости остаточной после надработки метаноносности пласта, метановыделения с обнаженных поверхностей и отбитого угля.

Исследования выполнены на шахтах Кузбасса в 22 подготовительных выработках, проводимых в надработанной и ненадработанной зонах. Объекты исследований выбирались таким образом, чтобы представилось возможным проследить изменение в широком диапазоне глубины залегания пластов, их природной метаноносности, вынимаемой мощности надрабатывающих пластов, кратности пород междупластья и технологических параметров проведения выработок.

Уточнение зависимости остаточной после надработки метаноносности угольных пластов производилось с целью выяснения влияния вынимаемой мощности и надрабатывающего слоя на величину остаточной метаноносности. Для этого прямым [26] и косвенным по фактической метанообильности подготовительных выработок [27] методами устанавливались природная и остаточная после надработки метаноносности угольных пластов. На основании исследований установлена тесная корреляционная связь степени дегазации надработанных пластов от соотношения мощности пород междупластья к вынимаемой мощности надрабатывающего пласта (рис. 2):

$$K_d = \frac{X - X_{\text{ост}}}{X} = \left(\frac{h_i}{m_b}\right)^{-0,83}, \quad (21)$$

где K_d – степень дегазации надработанных пластов;

X – природная метаноносность пласта, $\text{м}^3/\text{т}$;

$X_{\text{ост}}$ – остаточная после надработки метаноносность пласта, $\text{м}^3/\text{т}$;

h_i – мощность пород междупластья, м ;

m_b – вынимаемая мощность надрабатывающего пласта, м .

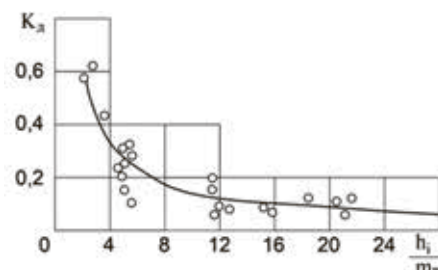


Рис. 2. Изменение степени дегазации надработанных пластов в зависимости от кратности междупластья /

Fig. 2. Change in the degree of degassing of the accumulated layers depending on the multiplicity of the interlayer

Решив выражение (21) относительно остаточной после надработки метаноносности пласта, получим зависимость ее

от мощности пород междупластья и вынимаемой мощности надрабатывающего пласта

$$X_{\text{ост}} = X - X \left(\frac{h_i}{m_B} \right)^{-0,83} \quad (22)$$

Установленная зависимость (2) принципиально отличается от принятой в работе [22] тем, что учитывает влияние вынимаемой мощности надрабатывающего пласта на остаточную метаноспособность, имеет расширенную область ее использования по кратности междупластья, которая находится в пределах от 2 до 22, и меньшую погрешность определения.

Как показывают сопоставительные расчеты, относительные ошибки определения остаточной после надработки метаноспособности пласта при мощности пород междупластья до 35 м по формуле (22) находятся в пределах от -10 до +20 % (рис. 3а), а по рекомендациям [22], – в пределах от -60 до +30 % (рис. 3б). При этом отмечается четкая тенденция завышения результатов расчета по сравнению с фактическими данными. При сопоставительных расчетах в 13 случаях (87 %) из 15 результаты расчетов завышены по сравнению с фактическими значениями остаточной после надработки метаноспособности пластов.

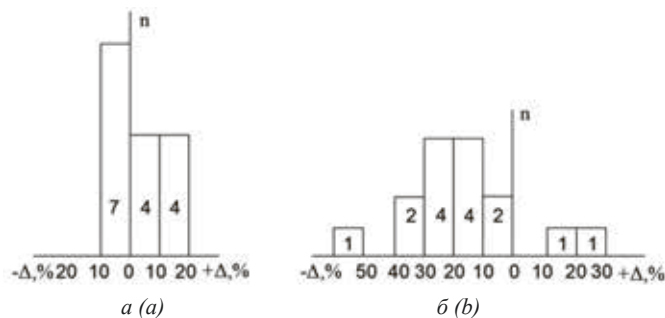


Рис. 3. Гистограммы распределения относительных ошибок определения остаточной метаноспособности надработанных пластов: а – по формуле (22); б – по рекомендациям [22] / Fig. 3. Histograms of the distribution of relative errors in determining the residual methane content of overworked formations: а – according to formula (22); б – according to recommendations [22]

Исследования газовой динамики надработанных пластов Кузбасса [28] позволили установить, что начальная интенсивность метановыделения с обнаженных поверхностей надработанных пластов по сравнению с ненадработанными, уменьшаясь пропорционально величине снижения метаноспособности, имеет квадратичный характер в функции остаточной метаноспособности и может описываться аналогичной зависимостью

$$g_0 = a(X_{\text{ост}} - X_0)^2, \quad (23)$$

где g_0 – начальная интенсивность метановыделения с обнаженных поверхностей пласта, $\text{м}^3/\text{м}^2 \text{ сут}$;

a – эмпирический коэффициент, равный для пластов верхней группы свиты 0,065 и для пластов нижней группы свиты 0,085;

X_0 – остаточная метаноспособность угля, $\text{м}^3/\text{т}$; принимается равной 3,0 для пластов нижней группы свиты и 3,95 для пластов верхней группы свиты.

Коэффициент, характеризующий темп снижения интенсивности метановыделения во времени с обнаженных поверхностей пласта, для проводимых по надработанному угольному массиву в 1,2–1,3 раза выше, чем для выработок, проводимых по ненадработанным пластам. Увеличение этого коэффициента подтверждает изменение фильтрационных

свойств в результате надработки пластов и свидетельствует об ускорении процесса затухания метановыделения с обнаженных поверхностей пласта.

Установлено, что коэффициент, учитывающий темп снижения интенсивности метановыделения во времени, для верхней и нижней групп пластов свиты описывается соответственно зависимостями

$$n = 1,26 - 0,66 \lg(X_{\text{ост}} - 4), \quad (24)$$

$$n = 0,931 - 0,55 \lg(X_{\text{ост}} - 3), \quad (25)$$

где n – коэффициент, учитывающий темп снижения интенсивности метановыделения во времени.

Метановыделение с обнаженных поверхностей пласта в подготовительную выработку, проводимую по надработанному угольному массиву, рекомендуется рассчитывать по формуле

$$I_1 = 0,0014mV \frac{g_0}{n} t^n, \quad (26)$$

где I_1 – метановыделение с обнаженных поверхностей пласта, $\text{м}^3/\text{мин}$;

m – мощность угольных пачек пласта, м;

V – скорость проведения выработки, м/сут.

При исследовании метановыделения из отбитого угля имелось в виду, что существующие в нормативных документах зависимости позволяют определять только среднее метановыделение и не учитывают такие параметры, как производительность комбайна и время пребывания отбитого угля в пределах выработки. Поэтому исследования метановыделения из отбитого угля проводились с таким расчетом, чтобы представилось возможным уточнить в этой части существующие зависимости.

На основании комплекса исследований по кинетике газоразделения из отбитого угля, определению метаноспособности в зоне выемки и остаточной метаноспособности угля, выданного из подготовительных выработок, установлена количественная зависимость для определения метановыделения из отбитого угля

$$I_2 = \frac{8,6 \cdot 10^{-3} X_B^2 P t_{\text{тр}} 0,35 \exp(-0,3 \sqrt{X_B - X_1})}{\exp(-0,3 \sqrt{X_B - X_1})}, \quad (27)$$

где I_2 – метановыделение из отбитого угля, $\text{м}^3/\text{мин}$;

X_B – метаноспособность угля в зоне выемки, $\text{м}^3/\text{т}$;

X_1 – остаточная метаноспособность отбитого угля, $\text{м}^3/\text{т}$;

P – производительность комбайна, т/мин;

$t_{\text{тр}}$ – время пребывания отбитого угля в выработке, мин.

$$X_B = X_{\text{ост}} - \exp(-0,13V) (X_{\text{ост}} - X_0). \quad (28)$$

$$X_1 = X_B \exp(-0,15 t_{\text{тр}}^{0,3}). \quad (29)$$

Выполненные по 100 пробам исследования метаноспособности угля в зоне выемки и остаточной метаноспособности угля, выданного из подготовительных выработок, позволили установить зависимости для их определения от основных природных и горнотехнических факторов, которые имеют вид (рис. 4).

Таким образом, на основании выполненных исследований уточнена методика прогноза метанообильности подготовительных выработок при проведении их по надработанным угольным пластам. Эта методика отличается от существующих тем, что позволяет учитывать влияние изменения фильтрационных свойств угольного массива, обусловленного на-

дработкой, на метановыделение с обнаженных поверхностей пласта и отбитого угля. Реализация разработанной методики на практике позволит повысить достоверность прогноза метановыделения в подготовительные выработки, проводимые по надработанным угольным пластам.

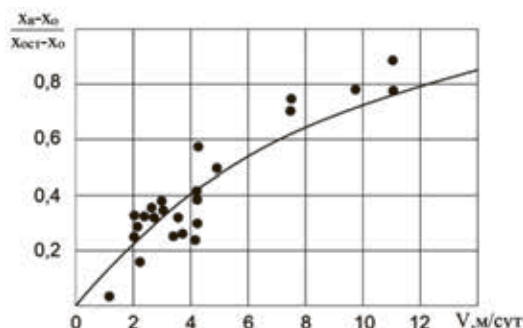


Рис. 4. Изменение относительной величины метаносодержания угля в зоне выемки в зависимости от скорости продвижения подготовительных выработок /

Fig. 4. Change in the relative value of methane content of coal in the excavation area depending on the rate of advance of preparatory workings

Основное газовыделение в выработанное пространство разрабатываемого пласта происходит из зоны полных сдвижений. Высота зоны полных сдвижений зависит от горно-геологических и горнотехнических факторов. Характер изменения пористости в под- и надработываемой толще пород зависит от величины смещений, возникающих в результате отработки одного из пластов. В период процесса сдвижения пород под влиянием горных работ газовое давление изменяется по параболической зависимости, при этом начальное давление угленосной толщи изменяется по принятой гидростатической зависимости. Масштабы газовыделения в выработанное пространство из под- и надработываемых пластов и вмещающих пород зависят от газопроницаемости газового массива, напряженно-деформированного состояния и газового давления среды. Удельное газовыделение в начальный период происходит только за счет свободного газа угленосной толщи; после того, как пласт-спутник попал в зону полных сдвижений, газовыделение будет происходить в основном за счет десорбированного газа пласта-спутника.

Имеющиеся в настоящее время сведения о характере распределения напряженного состояния нетронутого горного массива довольно противоречивы и бессистемны. С одной стороны, в литературе отражен практический опыт ведения горных работ, который показывает наличие зональности газодинамических и геомеханических проявлений при разработке. Она обычно возникает на участках сложного залегания массива и вполне может быть обусловлена природными, то есть тектоническими аномалиями напряженного состояния пород. С другой стороны, ряд исследователей аргументировано отрицают саму возможность наличия в осадочных массивах остаточных напряжений тектонического происхождения. На этом основании они уделяют основное внимание техногенным и технологическим факторам, считая, что силовое поле нетронутого массива формируется исключительно гравитационными, то есть равномерно распределенными в его объеме силами.

Существование указанного противоречия привело к тому, что в отраслевых нормативных документах и инструкциях в настоящее время роль тектонической нарушенности, особен-

но пликативной, существенно занижена. При этом не объяснена зональность геомеханических и газодинамических проявлений при разработке, отсутствуют достоверные методы моделирования природной поверхности залегания массива, не раскрыта связь его формы с напряженным состоянием, не разработаны подходы по количественной оценке проявлений горного давления в выработках и т. д. Все это заставляет глубже исследовать напряженное состояние нетронутого массива, особенно в пликативно нарушенных зонах, в которых возможно накопление значительного объема метана [29, 30].

Геодинамические исследования [31, 32] нами проведены на шахте «Талдинская-Западная-1». Участок горного отвода шахты «Талдинская-Западная-1» приурочен к призмковой части Караканской синклинали. Ось складки простирается с северо-запада на юго-восток с пологим погружением на юго-восток. Призмковая часть складки – широкая с пологими углами падения крыльев. Углы падения крыльев различаются, в силу чего складка характеризуется ассиметричным строением. Оба крыла синклинали в основном имеют пологое падение, однако вблизи разрывных нарушений углы падения становятся более крутыми: до 30° – восточное ее крыло (вблизи крупного надвига IV) и до $40\text{--}60^\circ$ – западное крыло.

На других участках разрывная тектоника в пределах участка развита слабо. Упомянутое выше нарушение IV простирается на южном фланге участка. Амплитуда смещения крыльев нарушения IV по сместителю до 350 м. В кинематическом отношении нарушение IV представляет собой согласный надвиг, вдоль которого наблюдается зона нарушенных и дробленых пород. Мощность этой зоны изменяется от 6 до 30 м. На границе слияния с Воробьевским взбросом ее мощность увеличивается до 500 м. Этот разрыв оперяют несколько малоамплитудных согласных нарушений. Всего на исследуемом участке было выявлено 13 геодинамически активных структур, в той или иной степени влияющих на метаносодержание шахты.

После геолого-геофизической интерпретации [33–35] результатов, проведенных в контуре выемочного столба 70-10 шахты «Талдинская-Западная-1» исследований, было выделено три участка по классам управляемости активной кровли, типам устойчивости пород непосредственной кровли и нагрузочным свойствам основной кровли. Разрушение тяжелых кровель сопровождается образованием многоярусной системы блоков в непосредственной и основной кровли пласта. В простейшем случае шаг обрушения непосредственной и основной кровли соответствует размерам обрабатываемых блоков, но при условии, когда $L_0/h_0 < 1$ (где L_0 и h_0 соответственно длина и высота блока), блоки могут зависать, образуя арочную систему. В этом случае шаг обрушения кровли не равен, но равен длине блоков, составляющих арочную систему. В образовавшихся зависших арочных системах скапливается метан, который впоследствии при посадке основной кровли способствует загазированию очистного забоя, что подтверждается проведенными исследованиями в условиях лавы 70-09 шахты «Талдинская-Западная-1» (более 70 % случаев загазирования).

Закключение

1. Установлена зависимость коэффициента газопроницаемости вмещающих пород от мощности пород междупластий, скорости продвижения очистного забоя и других горнотехни-

ческих факторов на основе аналитического решения обратной фильтрационной задачи о перетоке метана из под- и надрабатываемых пластов.

2. На основании выполненных исследований уточнена методика прогноза метанообильности подготовительных выработок при проведении их по надработанным угольным пластам. Эта методика отличается от существующих тем, что позволяет учитывать влияние изменения фильтрационных свойств угольного массива, обусловленного надработкой, на метановыделение с обнаженных поверхностей пласта и отбитого угля. Реализация разработанной методики на практике позволит повысить достоверность прогноза метановыделения в подготовительные выработки, проводимые по надработанным угольным пластам.

3. Наличие или близкое расположение к выемочным участкам высокопроизводительных очистных забоев, геодинамически активных структур, характеризующихся наличием зон напряженных горных пород, чередующихся с зонами ослабленных трещиноватых пород, являются важным факто-

ром риска при производстве подземных горных работ, так как вдоль этих структур с раздвиговой (реже – сдвиговой) кинематикой возможно проявление повышенных газовыделений.

Выводы

1. В статье приведены результаты исследований прогноза геодинамических и геомеханических процессов при отработке угольных пластов, влияющих на метановыделение в шахтах. Проведен анализ геомеханических процессов и установлены периоды неустановившегося и установившегося сдвижений подработанной и надработанной толщи горного массива. Установлено, что если размеры разгруженных зон по простиранию и падению не превышают протяженности активных зон, то вся поверхность спутника является активно газоотдающей поверхностью.

2. Результаты расчетов могут быть использованы при прогнозе газовой выделении из сближенных пластов, а также при проектировании вентиляции и дегазации выемочных участков.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

- Li L, Liu D, Cai Y, et al. Coal structure and its implications for coalbed methane exploitation: a review. *Energy & Fuels*. 2020;35(1):86-110. DOI: 10.1021/acs.energyfuels.0c03309.
- Yang F, Xu S. Sedimentation and Reservoirs of Marine Shale in South China. *Springer*. 2024; 225. DOI: 10.1007/978-981-97-5361-1.
- Боговявленский ВИ. Природные и техногенные угрозы при освоении месторождений горючих ископаемых в криолитосфере Земли. *Горная промышленность*. 2020;(1):97-118. DOI: 10.30686/1609-9192-2020-1-97-118. [Bogoyavlensky VI. Natural and man-made threats during development of fossil fuel deposits in the Earth's cryolithosphere Mining industry. 2020;(1):97-118. (In Russ.)]
- Ning S, Guo J, Wu W, et al. Investigation into the pore structures and CH₄ adsorption capacities of clay minerals in coal reservoirs in the Yangquan Mining District, North China. *Open Geosciences*. 2022;14(1):833-46. doi: 10.1515/geo-2022-0395
- Гресов АИ, Яцук АВ. Газовая зональность и газоносность многолетнемерзлых отложений угленосных бассейнов Восточной Арктики и прилегающих регионов. *Геоэкология. Инженерная Геология. Гидрогеология. Геокриология*. 2013;5:387-98. [Gresov AI, Yatsuk AV. Gas zoning and gas content of permafrost deposits of coal basins of the Eastern Arctic and adjacent regions. *Geoecology. Engineering Geology. Hydrogeology. Geocryology*. 2013;5:387-98. (In Russ.)]
- Shen Y, Qin Y, Guo Y, et al. Characteristics and sedimentary control of a coalbed methane-bearing system in Lopingian (late Permian) coal-bearing strata of western Guizhou province. *Journal of Natural Gas Science and Engineering*. 2016;33:8-17. DOI: 10.1016/j.jngse.2016.04.047.
- Гресов АИ, Обжиров АИ, Яцук АВ. К вопросу водородности угольных бассейнов Дальнего Востока. *Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле*. 2010;1(5):19-32. [Gresov AI, Obzhiriov AI, Yatsuk AV. On the issue of hydrogen content of coal basins of the Far East. *Bulletin of KRAUNC. Earth Sciences*. 2010;1(5):19-32 (In Russ.)]
- Zhang XG, Ranjith PG, Perera MSA, et al. Gas transportation and enhanced coalbed methane recovery processes in deep coal seams: a review. *Energy & Fuels*. 2016;30(11):8832-49. DOI: 10.1021/acs.energyfuels.6b01720.
- Лискова МЮ. Движение газозооных смесей по выработанным пространствам. *ГИАБ*. 2017;(7):131-6. [Liskova MYu. Movement of gas-air mixtures through mined-out spaces. *GIAB*. 2017;(7):131-6. (In Russ.)] DOI: 10.25018/0236-1493-2017-7-0-131-136.
- Mineev S, Filatieva E, Oleinichenko A, et al. On the relationship between gas emission from undermined coal-bearing stratum and the intensity of coal seam mining. *E3S Web of Conferences*. 2021;280:08017. DOI:10.1051/E3Sconf/202128008017.
- Тризно СК. Влияние параметров подработки на газовыделение из пластов спутников. *ГИАБ*. 1999;1. [Trizno SK. Influence of undermining parameters on gas emission from satellite formations. *GIAB*. 1999;1. (In Russ.)]. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-parametrov-podrabotki-na-gazovydelenie-iz-plastov-sputnikov>.
- Hamid YS. Progressive collapse of double layer space trusses. *Surrey*, 2015: 24. URL: <https://www.proquest.com/openview/049628bcc4e178c671ae4c449f52151/1?cbl=51922&pq-origsite=gscholar>.
- Kumar R, Singh AK, Mishra AK, et al. Underground mining of thick coal seams. *International Journal of Mining Science and Technology*. 2015;25(6):885-96. DOI: 10.1016/j.ijmst.2015.09.003
- Фам Дик Тханг, Фан Туан Ань, Коликов КС. Зависимость метаносности и относительной метанообильности угольных пластов на шахте Мао Хе от глубины их залегания. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2020;6-1:26-37. [Fam Dik Thang, Fan Tuan An', Kolikov KS. Methane content and relative methane releasability versus occurrence depth of coal seams in Mao Khê mine. *MIAB*. 2020;(6-1):26-37 (In Russ.)]. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-61-0-26-37.
- Гаврилов ВИ. Разработка способа дегазации газонасыщенных пологих угольных пластов гидродинамическим воздействием. *Горные науки и технологии*. 2019;4(3):160-71. [Gavrilov VI. Development of a hydrodynamic method for degassing of gas-saturated flat-lying coal seams. *Mining Science and Technology*. 2019;4(3):160-71 (In Russ.)]. DOI: 10.17073/2500-0632-2019-3-160-171.
- Zhang Y, Feng G, Zhang M, et al. Residual coal exploitation and its impact on sustainable development of the coal industry in China. *Energy Policy*. 2016;96:534-41. DOI: 10.1016/J.ENPOL.2016.06.033.
- Копбалина КБ, Маженов НА, Кенетаева АА. Закономерности современного распределения природных газов в угленосных толщах и их использование при изучении газоносности вмещающих пород. *Актуальные научные исследования в современном мире*. 2021;4-2(72):105-13. [Kopbalina KB, Mazhenov NA, Kenetaeva AA. Regularities of modern distribution of natural gases in coal-bearing strata and their use in studying the gas content of host rocks. *Current scientific research in the modern world*. 2021;4-2(72):105-13. (In Russ.)]

18. Yang Wang, Yanming Zhu, Yu Liu, et al. Reservoir characteristics of coal-shale sedimentary sequence in coal-bearing strata and their implications for the accumulation of unconventional gas. *Journal of Geophysics and Engineering*. 2018;15(2):411-20. DOI: 10.1088/1742-2140/AA9A10.
19. Свирко СВ. О влиянии скорости подвигания очистного забоя на процессы сдвижения земной поверхности. *Вестник Кузбасского государственного технического университета*. 2016;3(115):51-63. [Svirko SV. On the influence of the speed of advancement of the production face on the processes of earth's surface displacement. *Bulletin of the Kuzbass State Technical University*. 2016;3(115):51-63 (In Russ.)]
20. Ларченко ВГ, Маталкина ЮА, Шпакова АО. Определение продолжительности процесса сдвижения подработанной толщи пород и земной поверхности. *Наукоемкие технологии и оборудование в промышленности и строительстве*. 2023;73. [Larchenko VG, Matalkina YuA, Shpakova AO. Determining the duration of the process of displacement of the underworked rock mass and the earth's surface. *High-tech technologies and equipment in industry and construction*. 2023;73 (In Russ.)]. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/opredelenie-prodolzhitelnosti-protsessa-sdvizheniya-podrobotannoy-tolschi-porod-i-zemnoy-poverhnosti>.
21. Бирюков ЮМ, Ходжаев РР, Пименов АА и др. Проблемы добычи метана из угольных пластов. Калининград, 2008: 310. [Biryukov YuM, Khodzhaev RR, Pimenov AA, et al. Problems of Methane Extraction from Coal Seams. Kaliningrad, 2008: 310 (In Russ.)]
22. Бирюков ЮМ, Садчиков ВА, Садчиков АВ. Управление газовыделением на горных отводах ликвидированных угольных шахт. Калининград, 2008, 186. [Biryukov YuM, Sadchikov VA, Sadchikov AV. Gas Emission Control in Mining Allocations of Abandoned Coal Mines. Kaliningrad, 2008, 186. (In Russ.)]
23. Кузнецов СВ, Кригман РН. Природная проницаемость угольных пластов и методы ее определения. Москва, 1978: 122. [Kuznetsov SV, Krigman RN. Natural Permeability of Coal Seams and Methods of Its Determination. Moscow, 1978: 122 (In Russ.)]
24. Лейбензон ЛС. Собрание трудов. Москва, 1953: 544. [Leibenzon LS. Collected Works. Moscow. 1953: 544 (In Russ.)]
25. Руководство по проектированию вентиляции шахт. Москва, 1975: 237. [Guidelines for Mine Ventilation Design. Moscow, 1975: 237. (In Russ.)]
26. Ефремов КА, Одноруков ГФ, Маловинский ЕС. Шахтный герметический кернонаборник ВостНИИ: *Тр. ВостНИИ. Вопросы безопасности в угольных шахтах*. 1976;VIII:48-54. [Efremov KA, Odnorukov GF, Malovinsky ES. East Research Institute's Hermetic Core Sampler. *Proceedings of East Research Institute. Issues of Safety in Coal Mines*. 1967;VIII:48-54. (In Russ.)]
27. Фоминых ЕИ, Сыздыков ФТ, Кизряков АД. Определение метаносности угольных пластов по газовыделению в подготовительные выработки. *Научные труды КО ВостНИИ. Способы управления газовыделением на шахтах Карагандинского бассейна*. 1971;(2):28-32. [Fominykh EI, Syzdykov FT, Kizryakov AD. Determination of Methane Content in Coal Seams Based on Gas Emission in Development Workings. *Scientific Works. KO East Research Institute. Methods of Gas Emission Control in Mines of the Karaganda Basin*. 1971;(2): 28-32 (In Russ.)]
28. Пузырев ВН, Стекольщиков ГТ, Рудаков ВА и др. Внезапные прорывы и экстремальные выделения метана в лавы из надрбатываемых и подработываемых высокогазоносных пластов (прогноз, предотвращение и локализация газовой опасности). Кемерово, 1998: 93. [Puzirev VN, Stekolshchikov GG, Rudakov VA, et al. Sudden Outbursts and Extreme Methane Emissions in Longwalls from Overlying and Underlying High-Gas Seams (Forecasting, Prevention, and Localization of Gas Hazards). Kemerovo, 1998: 93 (In Russ.)]
29. Воскобоев ФН, Джигрин АВ, Клишин ВИ и др. Технологические решения по активному управлению геомеханическими процессами в угольных шахтах. Тула, 2015: 438. [Voskoboev FN, Dzhigrin AV, Klishin VI, et al. Technological Solutions for Active Control of Geomechanical Processes in Coal Mines. Tula, 2015: 438 (In Russ.)]
30. Кудинов ЮВ, Джигрин АВ, Исаев ИР и др. Средства и способы повышения эффективности и безопасности шахтных дегазационных систем. Тула, 2017: 300. [Kudinov YuV, Dzhigrin AV, Isaev IR et al. Means and Methods for Improving the Efficiency and Safety of Mine Degasification Systems. Tula, 2017:300. (In Russ.)]
31. Гусева НВ, Киселев ВА, Шабаров АН и др. Прогноз возникновения негативных явлений в угольных шахтах на основе метода геодинамического районирования и искусственных нейронных сетей. *Маркшейдерский вестник*. 2016;6(115):34-8. [Guseva NV, Kiselev VA, Shabarov AN, et al. Prediction of the occurrence of negative phenomena in coal mines based on the method of geodynamic zoning and artificial neural networks. *Surveying Bulletin*. 2016;6(115):34-8. (In Russ.)]
32. Шувалов ЮВ, Ютяев ЕП и др. Геомеханические и газодинамические процессы в угленосном массиве при высоких скоростях подвигания очистных забоев. *ГИАБ*. 2011;6:80-8. [Shuvalov YuV, Yutyayev EP, et al. Geomechanical and gas-dynamic processes in a coal-bearing massif at high speeds of displacement of treatment faces. *GIAB*. 2011;6:80-8. (In Russ.)]
33. Рекомендации по определению параметров шага первичного обрушения основной и непосредственной кровли в очистных забоях на шахтах ОАО «Воркутауголь». Воркута, 2001: 22. [Recommendations for determining the parameters of the step of primary collapse of the main and immediate roof in the treatment faces at the mines of JSC Vorkutaugol. Vorkuta, 2001: 22 (In Russ.)]
34. Указания по управлению горным давлением в очистных забоях под (над) целиками и краевыми частями при разработке свиты угольных пластов мощностью до 3,5 м с углом падения до 350. Ленинград, 1984: 62. [Guidelines for controlling rock pressure in treatment faces under (above) the pillars and edge parts during the development of a coal seam formation with a capacity of up to 3.5 m with an angle of incidence up to 350. Leningrad, 1984: 62 (In Russ.)]
35. Портола ВА. Оценка проницаемости горных пород над отработанными пластами. *Вестник КузГТУ*. 2003;3:30-2. [Portola VA. Assessment of rock permeability over spent formations. *Bulletin of KuzSTU*. 2003;3:30-2 (In Russ.)]

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ

Михаил Григорьевич Лупий –
кандидат технических наук, генеральный директор АО
«СУЭК-Кузбасс», 652507, г. Ленинск-Кузнецкий, Российская
Федерация, e-mail: lupiygm@suek.ru

ABOUT THE AUTHOR

Mikhail G. Lupiy –
Cand. Sci. (Eng.), General Director of JSC «SUEK-Kuzbass»,
652507, Leninsk-Kuznetsky, Russian Federation,
e-mail: lupiygm@suek.ru

Информация о статье

Поступила в редакцию: 23.01.2025. Поступила после рецензирования: 02.03.2025. Принята к публикации: 23.04.2025.

Article info

Received: 23.01.2025. Revised: 02.03.2025. Accepted: 23.04.2025.

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА СОЗДАНИЯ СТОХАСТИЧЕСКОЙ СТРУКТУРНОЙ 3D ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МАРКОВСКИХ ПРОЦЕССОВ

А. А. Басаргин✉

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт проблем комплексного освоения недр имени академика Н. В. Мельникова» Российской академии наук, г. Москва, Российская Федерация

✉ abaspirant@mail.ru

Аннотация. Приведены результаты применения алгоритма для создания стохастической структурной 3D геологической модели с использованием Марковских процессов для ограничения результирующих серий вероятностных моделей. Приведен анализ методов создания многомерных моделей цепей Маркова с использованием приближенного байесовского подхода к вычислениям, чтобы избежать спецификации функции правдоподобия для цифровой модели месторождения. Обоснован подход вероятностного геомоделирования для определения неопределенности путем автоматического построения серии геомodelей из возмущенных входных данных, отобранных из распределений вероятностей на месторождении полезного ископаемого. Детально описан алгоритм создания стохастической структурной 3D геологической модели, который может вывести апостериорные распределения параметров модели с использованием топологической информации о месторождении полезного ископаемого. Это может привести к ненадежным оценкам полученных цифровых моделей месторождения, таким как недооценка малых классов (то есть классов с площадями меньше среднего) в моделируемых реализациях.

Ключевые слова: структурное геомоделирование, Марковские процессы, геостатистика, матрица меток топологии, складчатая стратиграфия

Благодарности, признательность, финансирование: работа выполнена при поддержке темы «Разработка фундаментальных основ моделирования, автоматизации и роботизации процессов горного производства для обеспечения оптимального управления и устойчивого функционирования горнотехнических систем» при ИПКОН РАН.

Для цитирования: Басаргин АА. Разработка алгоритма создания стохастической структурной 3D геологической модели с использованием Марковских процессов. *Маркшейдерия и недропользование*. 2025;25(2):69-75. <https://doi.org/10.56195/20793332-2025-25-2-69-75>.

DEVELOPMENT OF AN ALGORITHM FOR CREATING A STOCHASTIC STRUCTURAL 3D GEOLOGICAL MODEL USING MARKOV PROCESSES

А. А. Basargin✉

Federal State Budgetary Institution of Science «Institute for Problems of Comprehensive Development of Subsoil Academician N. V. Melnikov» of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation

✉ abaspirant@mail.ru

Abstract. The paper presents the results of applying an algorithm for creating a stochastic structural 3D geological model using Markov processes to constrain the resulting series of probability models. The analysis of methods for creating multivariate Markov chain models using an approximate Bayesian computational approach is presented to avoid specifying the likelihood function for a digital deposit model. A probabilistic geomodeling approach is justified for capturing uncertainty by automatically constructing a series of geomodels from perturbed input data sampled from probability distributions at the mineral deposit. An algorithm for creating a stochastic structural 3D geological model that can infer posterior distributions of the model parameters using topological information about the mineral deposit is described in detail. This may lead to unreliable estimates of the

resulting digital deposit models, such as underestimation of small classes (i.e. classes with areas smaller than the average) in the simulated realizations.

Keywords: structural geomodeling, Markov processes, geostatistics, topology label matrix, fold stratigraphy

Acknowledgments, funding, financial support: the work was carried out with the support of the theme “Development of fundamental principles for modeling, automation and robotization of mining production processes to ensure optimal control and sustainable operation of mining engineering systems” at the IPKON RAN.

For citation: Basargin AA. Development of an algorithm for creating a stochastic structural 3D geological model using Markov processes. *Mine Surveying and Subsurface Use*. 2025;25(2):69-75. (In Russ.). <https://doi.org/10.56195/20793332-2025-25-2-69-75>.

Введение

Известно, что структурное геомоделирование является основной частью для визуализации и количественной оценки геологических систем. При этом каждая уникальная интерпретация (модель) геологической обстановки месторождения полезного ископаемого имеет определенную топологию.

Использование топологических отношений в геологических системах (например, как слои связаны друг с другом стратиграфически, или как происходит их связь через разломы), является основой для определения вероятностных результатов трехмерного геомоделирования сложной природы геологических систем.

Условное моделирование широко признано и все чаще используется не только для прогнозирования пространственного распределения, но и для анализа неопределенности посредством стохастической визуализации (то есть генерации альтернативных условных реализаций) и вероятностного картирования дискретных пространственных переменных.

Так, одним из подходов являются алгоритмы, основанные на многомерных условных имитационных моделях цепей Маркова. Многомерные условные имитационные модели цепей Маркова имеют большой потенциал для более точного прогнозирования и моделирования категориальных переменных, таких как показатели месторождения полезных ископаемых [1, 2].

Растущее развитие алгоритмов неявного моделирования позволяет создавать обширные структурные серии цифровых моделей месторождений, используя функции интерполяции, что делает возможным анализ и визуализацию неопределенности с использованием подходов вероятностного моделирования.

Традиционная геостатистика для условного моделирования дискретных переменных показателей залежи полезного ископаемого обычно использует модели автоковариации и алгоритмы моделирования индикаторного кригинга. Теория случайного поля цепи Маркова поддерживает нелинейную геостатистику цепи Маркова. Главными достоинствами модели цепи Маркова являются ее простота и идея обусловленности (то есть обусловленность будущим состоянием), которые были сохранены моделью. Главным недостатком модели цепи Маркова являются направленный эффект (диагональный тренд) и недооценка малых классов. Проблема направленного эффекта на самом деле была давней проблемой в безусловных многомерных симуляциях цепей Маркова, которая была вызвана асимметричными окрестностями, используемыми в симуляциях. Попытки использования многомерных цепей Маркова для условного моделирования дискретных переменных появились только в последние годы.

Однако эти многомерные условные имитационные модели цепей Маркова имеют некоторые ограничения. Например, они имеют тенденцию недооценивать малые классы из-за исключения нежелательных переходов, вызванных использованием нескольких цепей и полной независимости предположения, а также обусловленность точечных выборок, что является трудностью [3–5].

Цифровые модели месторождения, построенные с использованием Марковских процессов, не будут иметь проблемы недооценки малого класса. Они смогут работать с любыми типами выборочных данных в условном моделировании и таким образом будут составлять теоретическую основу нелинейной геостатистики цепей Маркова.

Цель исследований: разработка алгоритма создания стохастической структурной 3D геологической модели с использованием Марковских процессов.

Объект исследований

Алтае-Саянская складчатая область занимает юго-западное обрамление Сибирского кратона и представляет одну из крупнейших горно-складчатых систем Центральной Азии. Область является западной частью Алтае-Монголо-Охотского сегмента рифейско-палеозойского Центрально-Азиатского складчатого пояса, располагается в районе смены субмеридионального – Уральского простираения на субширотное – Монголо-Охотское. На северо-востоке по Главному Восточно-Саянскому разлому область граничит с Енисейско-Саянской складчато-наползневой областью, а на юго-западе – по Восточно-Чингизскому разлому, с палеозойской складчатой областью Казахского нагорья. Складчатые структуры Алтае-Саянской области продолжаются на юго-восток в Монголию и Северный Китай, а на северо-западе скрываются под чехлом мезо-кайнозойских отложений Западно-Сибирской плиты. Это сложно построенная рифейско-палеозойская аккреционно-коллизонная структура состоит из множества террейнов (микроконтинентов, фрагментов островных дуг, океанических островов), сформированных в результате развития Палеоазиатского океана.

Набор геологических комплексов, сформированных в самых различных геодинамических обстановках, указывает, что Алтае-Саянская складчатая область представляет собой аккреционно-коллизонную структуру, образованную на месте океана, просуществовавшего с начала рифея до середины палеозоя. Каледонские структуры Алтае-Саянской складчатой области – это продукт аккреции древних сиалических блоков (микроконтинентов) и островных дуг, которые в разное время причленились к окраине Сибирского кратона. Более молодые герцинские складчатые сооружения, вероятно, являются следствием столкновения Казахстанского и Сибирского континентов, между которыми оказались зажаты среднепалеозойские системы (рис. 1).



Рис. 1. Алтай-Саянская складчатая область /
Fig. 1. Altai-Sayan folded region

Материал и методы исследования

В настоящее время существует несколько методов к созданию структурных 3D геологических моделей месторождений полезных ископаемых, которые можно разделить на три основные категории:

- интерполяционные методы;
- кинематические методы;
- создание цифровой модели месторождения с помощью Марковских процессов.

Интерполяционные методы, а также кинематические являются широко используемыми для создания цифровых моделей месторождений из пространственных данных и обладают рядом недостатков. Одним из недостатков этих методов является то, что они требуют надежных знаний геологической обстановки и обширных объемов данных для точного приближения к реальности. Кроме того, очень сложные структуры месторождения, такие как обширные сети разломов и многократно складчатые области, сложно воссоздать с использованием существующих методов интерполяции [6–8].

При этом использование Марковских процессов для создания цифровых моделей месторождений отличается от классического подхода. В данном случае применяется Байесовский вывод для создания вероятностных стохастических геологических моделей месторождений. Такой подход осно-

ван на определении вероятности как степени определенности моделируемого параметра, который, по своей сути, считается случайной величиной.

В этом исследовании для разработки алгоритма использовалась топологическая информация в форме топологического графа смежности в качестве наблюдаемых данных.

Чтобы определить топологию цифровой модели месторождения с необходимой вычислительной эффективностью для проведения возможного стохастического моделирования был разработан алгоритм, который позволяет выполнять вычисление топологии вместе с интерполяцией модели [9–11].

Для разработки алгоритма создания стохастической структурной 3D геологической модели месторождения с топологической информацией с использованием Марковских процессов будет использоваться теорема Байеса:

$$p(y|\theta) = \frac{p(y|\theta)p(\theta)}{\int p(y|\theta)p(\theta)d\theta}, \quad (1)$$

где $p(y|\theta)$ – условная вероятность наблюдаемых данных y с учетом априорной вероятности базового параметра и теоретической связи происходящего события;

$p(\theta)$ – параметр после наступления связанного события.

На основе теории Марковских процессов топологические отношения геологических моделей можно представить графом смежности, который представляет топологические единицы как отдельные узлы, так и их соединения ребрами (рис. 2).

Таким образом, алгоритм для создания стохастической структурной 3D геологической модели с топологической информацией с использованием Марковских процессов будет содержать следующие этапы:

1. Матрица литологии и суммированные матрицы разломов объединяются в матрицу, в которой каждая литология, в каждом блоке разлома, представлена своим собственным уникальным целым числом, называемым матрицей меток топологии.

2. Матрица меток топологии затем сдвигается дважды (вперед и назад) вдоль каждой оси X, Y и Z. Две полученные смещенные матрицы S1 и S2 вдоль каждой оси затем вычитаются друг из друга, чтобы получить матрицу разности, в которой только ячейки вдоль литологии или границы разлома являются ненулевыми (рис. 3).

3. Затем матрица меток топологии оценивается во всех ненулевых ячейках для получения двух меток топологии каждой топологической связи (называемой ребром) геотела, которые хранятся в наборе уникальных ребер, представляющих топологию геомодели [11–13].

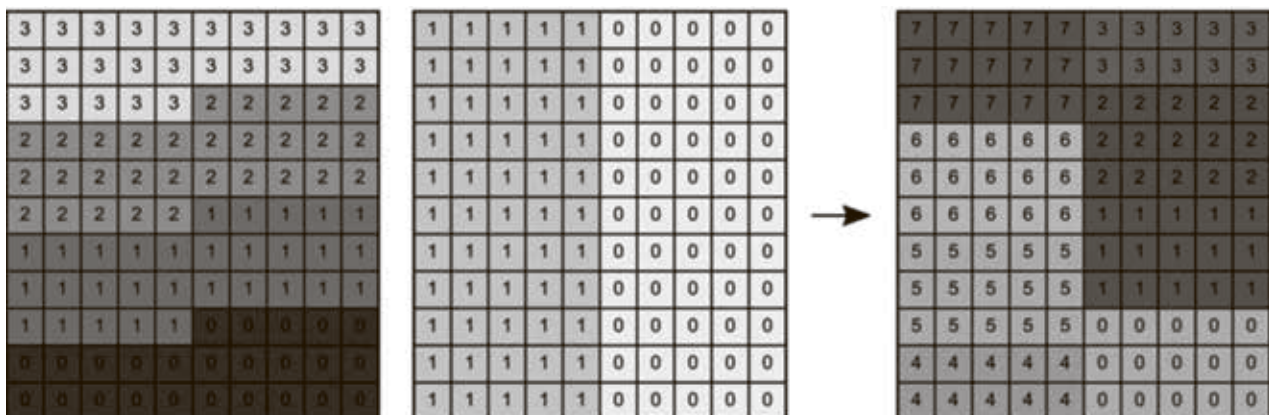


Рис. 2. Граф смежности / Fig. 2. Adjacency graph

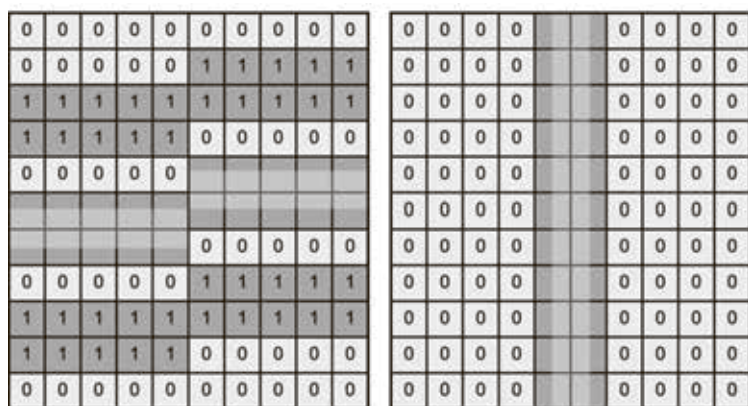


Рис. 3. Матрица разности меток топологии /
Fig. 3. Topology Label Difference Matrix

Результаты исследований и их обсуждение

На основании проведенных исследований был разработан алгоритм для создания структурных 3D геологических моделей с топологической информацией с использованием Марковских процессов. На основе алгоритма была создана структурная 3D геологическая модель разлома, которая представлена на рисунке 4.

Эта модель представляет собой складчатую стратиграфию, которая разрезана нормальным разломом, простирающимся с севера на юг (рис. 4а).

Поскольку исследование сосредоточено на разработке алгоритма, то были определены два различных вида неопределенных параметров, при создании модели:

– вертикальное расположение слоев и разрезов разлома (рис. 4б);

– боковое расположение разрезов разломов, с конкретной параметризацией.

В нашем случае неопределенность индивидуально применялась к каждому набору точек поверхности, чтобы сохранить форму поверхности в каждом из двух блоков разломов.

Важно отметить, что разработанный алгоритм был выполнен с использованием исходного топологического графа, основанного на Марковских процессах (рис. 4в) для представления наших геологических данных [14]. Предполагается, что этот топологический граф инкапсулирует важные аспекты геологических данных, используемых при его построении, и геометрические конфигурации, более похожие на этот граф, можно считать более вероятными.

Таким образом, граф представляет нашу «базовую» неопределенность без каких-либо топологических ограничений, и моделирование является только прямым распространением неопределенности в исходных данных.

При этом геометрические конфигурации цифровой модели будут похожи на этот граф и их можно считать более вероятными в качестве ограничения в вероятностной модели.

Для создания цифровой модели были экспортированы соответствующие данные сейсмической интерпретации. Затем интерпретации поверхности были прорежены до 725 точек поверхности и 190 ориентаций поверхности с помощью целевого сокращения 85 % на блок разлома или поверхность с использованием функциональности прореживания. Это показано на (рис. 5а).

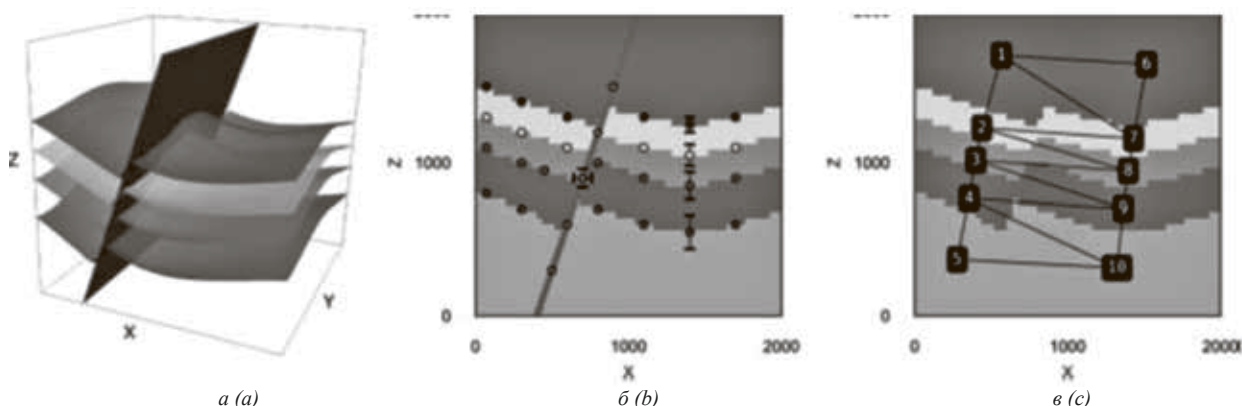


Рис. 4. Структурная 3D геологическая модель разлома: а – 3D вид синтетической модели разлома; б – X-Z срез через центр дискретизированной модели; в – модель, наложенная на ее граф топологии /
Fig. 4. Structural 3D geological model of a fault: a – 3D view of a synthetic fault model; b – X-Z slice through the center of a discretized model; c – model superimposed on its topology graph

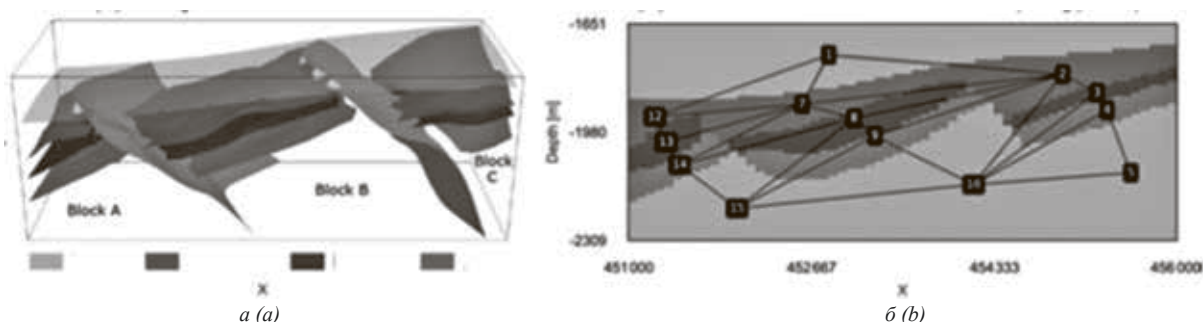


Рис. 5. Стохастическая геологическая модель месторождения: а – трехмерный вид геомодели; б – геомодель с наложенным графом топологии, показывающим межразломные и внутриразломные блочные отношения геотел /
Fig. 5. Stochastic geological model of the deposit: a – three-dimensional view of the geomodel; b – geomodel with a superimposed topology graph showing interfault and intrafault block relationships of geobodies

Такая интерпретация была выбрана, чтобы продемонстрировать, как даже несколько неопределенных параметров в рабочем процессе моделирования неопределенности могут привести к крайне неопределенным результатам, особенно в отношении графов топологии, полученных из серии цифровых моделей в реальных условиях.

Также было проведено исследование чувствительности топологического распространения относительно разрешения цифровой модели месторождения [15]. Это позволило определить соответствующее разрешение геомодели при условии неопределенности, которая индивидуально применялась к каждому набору точек поверхности, чтобы сохранить форму в каждом из двух блоков разломов (рис. 5б).

В результате эксперимента установлено, что априорные и апостериорные распределения для неопределенностей параметров латерального и вертикального разлома не показывают существенной разницы. Визуализация разницы энтропии между предшествующим и последующим сериями цифровых моделей показывает самое высокое снижение энтропии для двух внутренних разрезов (рис. 6а), а не вокруг поверхности разлома.

По результатам анализа цифровых моделей получено, что все три раздела в модели четко показывают неопределенность положения разреза слоя и самую высокую неопределенность вокруг поверхности разлома.

Для сравнения, применение одного топологического графа в качестве сводной статистики приводит к значительному снижению неопределенности для всей серии моделей. Начальный топологический граф используется в качестве ограничивающей сводной статистики с использованием выборки отклонения и порогового значения. Абсолютное пороговое значение будет прямо пропорционально чувствительности геометрии модели по отношению к стохастическим параметрам.

В этом исследовании пороговое значение было выбрано эмпирическим путем выполнения нескольких прогностических симуляций. Результаты оценивались на основе их соответствия геологической обстановке, как это оценивается экспертными знаниями. Результаты показывают, что этот подход приводит к снижению неопределенности, как показано на сечении энтропии (рис. 6б). При этом значении приближительной серии геомodelей содержит только примененный начальный топологический граф.

Заключение

В статье приведены результаты разработки алгоритма для создания стохастической структурной 3D геологической модели с топологической информацией с использованием Марковских процессов. Данный алгоритм позволит выполнять вычисление топологии вместе с интерполяцией цифровой модели на основе Марковских процессов, что образует нефиксированную систему соседства. Таким образом, цифровая модель месторождения подчиняется правилам вероятности перехода в разных направлениях и имеет свои состояния в любом неизвестном месте, полностью зависящие от его ближайших известных соседей, вычисленных в разных направлениях.

Установлено, что топология смежности геологических структур приводит к различным связям в графе, что позволит выбирать конкретные пути и направления моделирования на разных этапах и участках исследуемой области.

Выявлено, что использование Марковских процессов позволит решить проблему направленного эффекта (т.е. наклона шаблона) при моделировании многомерных авторегрессионных процессов. Такой путь означает, что моделирование должно проводиться попеременно вдоль противоположных направлений с одной стороны на другую сторону в области моделирования.

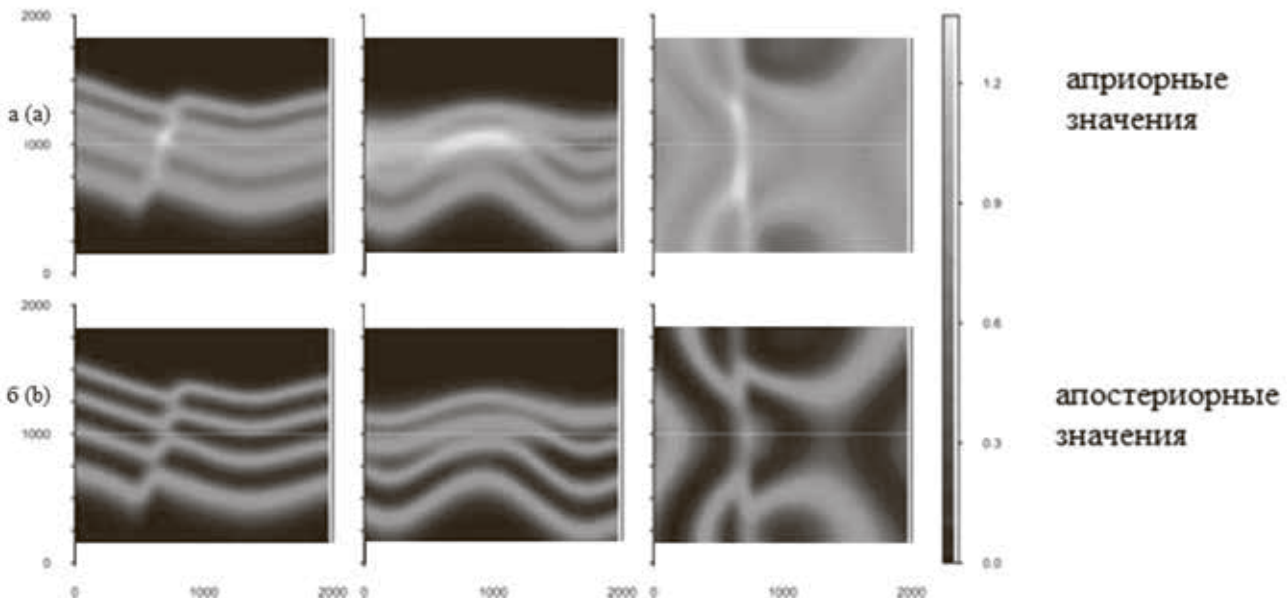


Рис. 6. Срезы энтропии Шеннона в плоскости: а – априорные значения в плоскости разлома; б – апостериорные значения в плоскости разлома / Fig. 6. Shannon entropy slices in the plane: a – prior values in the fault plane; b – posteriori values in the fault plane

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Басаргин АА. Создание цифровых моделей месторождений полезных ископаемых с применением современных технологий. *Вестник СГГА*. 2014;1(25):34-40. [Basargin AA. Creation of digital models of mineral deposits using modern technologies. *Bulletin of the SSGA*. 2014;1(25):34-40 (In Russ.)]
2. Басаргин АА. Методика создания трехмерных геологических моделей месторождений с использованием геоинформационной системы Micromine. *ГЕО-Сибирь-2015: Сб. мат-лов Межд. науч. конгресса: Т. 1: Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия*. Новосибирск, 2015: 15-20. [Basargin AA. Methodology for creating three-dimensional geological models of deposits using the Micromine geographic information system. *Collection of materials international. Scientific Congr. «GEO-Siberia-2015»: Vol. 1 «Geodesy, geoinformatics, cartography, surveying»*. Novosibirsk, 2015:15-20 (In Russ.)]
3. Урумов ВА, Босиков ИИ. 3D-модель и закономерности распределения полезных компонентов залежи Анненская жезказганского месторождения. *Устойчивое развитие горных территорий*. 2015;7(1):11-16. [Urumov VA, Bosikov II. 3D model and patterns of distribution of useful components of the Annenskaya deposit of the Zhezkazgan deposit. *Sustainable development of mountain territories*. 2015;7(1):11-16 (In Russ.)]
4. Шульга ЕС. Чем порадует 2018 год пользователей программы Micromine. *Золото и технологии*. 2017;4(38):50-3. [Shulga ES. What will 2018 please users of the Micromine program. *Gold and Technologies*. 2017;4(38):50-3 (In Russ.)]
5. Выстрчил МГ, Гусев ВН, Сухов АК. Методика определения погрешностей сегментированных GRID-моделей открытых горных выработок, построенных по результатам аэрофотосъемки с беспилотного воздушного судна. *Записки Горного института*. 2023;262:562-70. [Vystrechil MG, Gusev VN, Sukhov AK. A method of determining the errors of segmented GRID models of open-pit mines constructed with the results of unmanned aerial photogrammetric survey. *Journal of Mining Institute*. 2023;262, 562-70 (In Russ.)]
6. Шевкун ЕБ, Лешинский АВ, Галимьянов АА. Короткая комбинированная забойка взрывных скважин высокой запирающей способностью. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2015;4:331-6. [Shevkun EB, Leshchinsky AV, Galimyanov AA. Short combined driving of blast holes with high locking ability. *Mining information and analytical bulletin*. 2015;4:331-6 (In Russ.)]
7. Долгачева АС, Долгачева ТА, Самаевская ВД. Методы интерполяции в vertical mapper для создания цифровых моделей рельефа. *Огарёв-Online*. 2023;187(2):10. [Dolgacheva AS, Dolgacheva TA, Samayevskaya VD. Interpolation methods in vertical mapper to create digital terrain models. *Ogarov-Online*. 2023; 187(2):10 (In Russ.)]
8. Нурмухаметова АТ. 3-х мерное моделирование при подсчете объемов полезного ископаемого. *Проблемы геологии и освоения недр: труды XXI Международного симпозиума имени академика М. А. Усова студентов и молодых ученых, посвященного 130-летию со дня рождения профессора М. И. Кучина*. Томск, 2017:582-3. [Nurmukhametova AT. 3-dimensional modeling in calculating the volumes of minerals. *Problems of geology and subsoil development: Proceedings of the XXI International Symposium named after Academician M. A. Usov of students and young scientists, dedicated to the 130th anniversary of the birth of Professor M. I. Kuchin*. Tomsk, 2017:582-3 (In Russ.)]
9. Бесимбаева ОГ, Хмырова ЕН, Бедарев АС и др. Исследование возможности 3D моделирования для маркшейдерского обеспечения ведения горных работ. Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2014. X Междунар. науч. конгр.: Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия»: сб. мат-лов в 2 т. (Новосибирск, 8–18 апреля 2014 г.). Новосибирск, 2014: 178-83. [Besimbaeva OG, Khmyrova EN, Bedarev AS, et al. Study of the possibility of 3D modeling for surveying support for mining operation. *Interexpo GEO-Siberia-2014. X International scientific Congr.: Int. scientific conf. «Geodesy, geoinformatics, cartography, surveying»: collection. materials in 2 volumes*. Novosibirsk, 2014:178-83 (In Russ.)]
10. Уорсли, Дж, Дрейф Дж. PostgreSQL для профессионалов. Санкт-Петербург, 2003: 496. [Worsley J, Drake J. PostgreSQL for professionals. St. Petersburg, 2003 (In Russ.)]
11. Дроздов АЮ. Решение задач сетевого анализа с применением PostgreSQL / PostGIS. *Строительство и архитектура – 2015. Современные информационно-экономические технологии: тенденции и перспективы развития: мат-лы Межд. науч.-практ. конф. – Ростов-на-Дону*, 2015: 71-2. [Drozdov AYU. Solving network analysis problems using PostgreSQL/PostGIS. «Construction and Architecture – 2015». *Modern information and economic technologies: trends and development prospects. Materials of the International Scientific and Practical Conference*. Rostov on Don, 2015:71-2 (In Russ.)]
12. Вальков ВА, Валькова ЕО, Мустафин МГ. Методика уточнения цифровых моделей рельефа открытых горных выработок по материалам лазерного сканирования и аэрофотосъемки. *Маркшейдерия и недропользование*. 2023;3(125):40–52. [Valkov VA, Valkova EO, Mustafin MG. Methodology of refining digital models of the relief of open-cut mine workings based on the materials of laser scanning and aerial photography. *Mine surveying and subsurface use*. 2023;3(125), 40-52 (In Russ.)]
13. Пашковская ОВ, Новоселов ОВ, Потапенко ИА. Анализ данных в геоинформационной системе QGIS. *Решетневские чтения: мат-лы XXIV Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. памяти генерального конструктора ракетно-космических систем академика М. Ф. Решетнева (10–13 нояб. 2020, г. Красноярск): в 2 ч*. Красноярск, 2020: 345-6. [Pashkovskaya OV, Novoselov OV, Potapenko IA. Data analysis in the geoinformation system QGIS. *Reshetnev Readings: materials of the XXIV International. scientific-practical conf., dedicated in memory of the general designer of rocket and space systems, academician M. F. Reshetnev*: at 2 o'clock. Krasnoyarsk, 2020:345-6 (In Russ.)]
14. Кравцова ВИ, Другов МД. Типы динамики дюнного рельефа Анапской пересыпи: исследование по материалам воздушного лазерного сканирования. *Геодезия и картография*. 2019;2:32-45. [Kravtsova VI, Drugov MD. Types of dune terrain dynamics of Anapa bay bar: research based on airborne LIDAR data. *Geodesy and cartography*. 2019;80(2):32-45 (In Russ.)]. DOI: 10.22389/0016-7126-2019-944-2-32-45.
15. Хританькова АА, Ковальчик НВ. Сравнение возможностей программных средств ArcGis и QGIS для сетевого анализа в сфере транспортной логистики (на примере г. Минска). *ГИС-технологии в науках о Земле: мат-лы республ. науч.-практ. семинара студентов и молодых ученых*. Минск, 2020: 9-13. [Khritankova AA, Kovalchik NV. Comparison of the capabilities of ArcGis and QGIS software for network analysis in the field of transport logistics (using the example of Minsk). *GIS technologies in Earth sciences: materials of the republican scientific and practical seminar of students and young scientists*. Minsk, 2020:9-13 (In Russ.)]

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ



*Андрей Александрович Басаргин –
старший научный сотрудник № 3.1
лаборатории геологоструктурного
моделирования ИПКОН РАН, 111020, г. Москва,
Российская Федерация,
e-mail: abaspirant@mail.ru*

ABOUT THE AUTHOR

*Andrey A. Basargin –
Senior Researcher No. 3.1 Laboratory
of Geological-Structural Modeling, Institute
of Comprehensive Exploitation of Mineral
Resources of the Russian Academy of Sciences,
111020, Moscow, Russian Federation,
e-mail: abaspirant@mail.ru*

Информация о статье

Поступила в редакцию: 18.02.2025.

Поступила после рецензирования: 30.03.2025.

Принята к публикации: 31.03.2025.

Article info

Received: 18.02.2025.

Revised: 30.03.2025.

Accepted: 31.03.2025.

АНАЛИЗ ВОПРОСОВ АТТЕСТАЦИИ ИНЖЕНЕРНО-ТЕХНИЧЕСКИХ РАБОТНИКОВ В ОБЛАСТИ ПРОМЫШЛЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПО РАЗДЕЛУ Б.6 «ТРЕБОВАНИЯ ПО МАРКШЕЙДЕРСКОМУ ОБЕСПЕЧЕНИЮ БЕЗОПАСНОГО ВЕДЕНИЯ ГОРНЫХ РАБОТ»

О. Н. Горбунов[✉], А. О. Дроздов

ПАО «Газпром нефть», г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

✉ Gorbunov.ON@gazprom-neft.ru

Аннотация. Приведен анализ вопросов тестирования в области промышленной безопасности по разделу Б.6.5 «Маркшейдерское обеспечение безопасного ведения горных работ при осуществлении разработки месторождений углеводородного сырья и гидроминеральных ресурсов». Установлено, что вопросы тестирования оторваны от практики маркшейдерской деятельности и не отражают специфики маркшейдерских работ при разработке месторождений УВС, а также занимаемой должности и выполняемых трудовых обязанностей работниками-маркшейдерами. Результаты анализа могут быть полезны при переработке существующего распоряжения Ростехнадзора, утверждающего вопросы тестирования по разделу «Требования по маркшейдерскому обеспечению безопасного ведения горных работ».

Ключевые слова: промышленная безопасность, область аттестации, аттестация в области промышленной безопасности, вопросы тестирования

Для цитирования: Горбунов ОН, Дроздов АО. Анализ вопросов аттестации инженерно-технических работников в области промышленной безопасности по разделу Б.6 «Требования по маркшейдерскому обеспечению безопасного ведения горных работ». *Маркшейдерия и недропользование*. 2025;25(2):76-83. <https://doi.org/10.56195/20793332-2025-25-2-76-83>.

ANALYSIS OF CERTIFICATION ISSUES IN THE FIELD OF INDUSTRIAL SAFETY ACCORDING TO SECTION B.6 «REQUIREMENTS FOR SURVEYING FOR SAFE MINING OPERATIONS»

O. N. Gorbunov[✉], A. O. Drozdov

Gazprom Neft PJSC, St. Petersburg, Russian Federation

✉ Gorbunov.ON@gazprom-neft.ru

Abstract. The article provides an analysis of testing issues in the field of industrial safety in section B.6.5 «Surveying for the safe conduct of mining operations during the development of hydrocarbon deposits and hydromineral resources». It has been established that the testing issues are divorced from the practice of surveying activities and do not reflect the specifics of surveying work in the development of UVS deposits, as well as the position held and the work performed by the surveyors. The results of the analysis may be useful in revising the existing Rostekhnadzor order approving testing issues under the section «Requirements for surveying for safe mining operations».

Keywords: industrial safety, field of certification, certification in the field of industrial safety, testing issues

For citation: Gorbunov ON, Drozdov AO. Analysis of certification issues in the field of industrial safety according to section B.6 «Requirements for surveying for safe mining operations». *Mine Surveying and Subsurface Use*. 2025;25(2):76-83. (In Russ.). <https://doi.org/10.56195/20793332-2025-25-2-76-83>.

Введение

Для оценки соответствия квалификационным требованиям Федерального закона № 116-ФЗ [1] инженерно-технические работники (далее – ИТР) маркшейдерских служб обязаны не реже одного раза в пять лет проходить аттестацию в области промышленной безопасности. Необходимость и порядок проведения аттестации и проверки знаний в области промышленной безопасности определяются нормативными правовыми актами в области промышленной безопасности [2, 3].

Федеральный закон № 116-ФЗ [1], постановление Правительства РФ № 13 [4], приказ Ростехнадзора № 285 [5] устанавливают правовой статус аттестации работников в области промышленной безопасности, периодичность и порядок проведения аттестации, условия признания успешности результатов тестирования, порядок уведомления тестируемого о результатах тестирования. Положениями пункта 36 Постановления Правительства РФ № 13 [4] определено, что аттестация в области промышленной безопасности проводится в форме тестирования по знанию специфики заявленных областей аттестации. При этом работники, не прошедшие аттестацию в области промышленной безопасности, не допускаются к работе на опасных производственных объектах (далее – ОПО) [1, 6]. 16 сентября 2024 года на официальном сайте Ростехнадзора, в разделе «События», опубликована статья «Новый Перечень областей аттестации по промышленной безопасности» [7, 8]. Выдержку из статьи стоит привести целиком, так как в ней опубликована статистика аттестации в области промышленной безопасности, объяснены причины низкой успешности аттестации квалифицированных ИТР, в том числе руководителей организаций, технических директоров, главных инженеров, членов аттестационных комиссий организаций и других ответственных лиц.

«Ростехнадзор изменил области аттестации по промышленной безопасности и вопросам безопасности ГТС и электроэнергетики. Из статьи вы узнаете, как изменились нормативные требования, насколько масштабны изменения и что именно скорректировали, исключили и перекомпоновали.

Рассмотрим **новый Перечень областей аттестации по промышленной безопасности** и начнем с первопричин изменений.

Статистика по аттестации в области промышленной безопасности

По статистике, аттестуются успешно только 6 из 10 работников.

Мы ждали обновления Перечня областей аттестации с октября 2022 года, то есть почти год. С замиранием сердца ждали его опубликования в начале лета и вступления в силу этой осенью, но споры были жаркими, работа над проектом затянулась. В итоге было представлено только три официальные версии проекта Перечня.

Важность этого документа огромна. Аттестация – обязательная процедура для ряда работников ОПО.

По информации Ростехнадзора, афишированной в пояснительной записке к проекту, из явившихся на аттестацию более 300 тысяч человек прошли её более 190 тысяч человек. То есть чуть более 63 %. Остальные не справились с тестами, а значит, не имеют права работать на ОПО.

37 % «двоечников» – это не простые рядовые работники ОПО, а квалифицированные ИТР, в том числе руководители

организаций, технические директора, главные инженеры, члены аттестационных комиссий организаций, ответственные лица, проектировщики, специалисты строительного надзора. Заменить такого уровня работников по щелчку пальцев в условиях кадрового голода – задача почти невозможная.

Причина их неуспеха не в том, что они не обладают нужными знаниями, а в том, что непонятно в принципе, что именно от них хотят. А учить полторы-две сотни ответов на вопросы по каждой области – это физически невозможно и не имеет смысла, поскольку нужные документы у нас всегда под рукой в актуальной редакции, как того требует закон. Поэтому важно, чтобы области аттестации были поделены так, чтобы соответствовали типовым наименованиям и видам деятельности на ОПО, чтобы не приходилось, работая на морской нефтяной платформе, учить требования безопасности при добыче нефти шахтным способом».

Итак, Ростехнадзор признал наличие проблемы с аттестацией в области промышленной безопасности по причине несоответствия областей аттестации типовым наименованиям и видам деятельности на ОПО.

Для устранения существующей проблемы внесены изменения в области аттестации в области промышленной безопасности, которые утверждены приказом Ростехнадзора от 09.08.2023 № 285 [5] и вступили в силу с 01.09.2024:

- количество областей аттестации в области промышленной безопасности увеличено с 89 до 100;
- изменены наименования и шифры областей аттестации;
- некоторые области разделены на несколько областей;
- некоторые области аттестации объединены.

При этом возникает вопрос: применение указанных мер является достаточным?

С одной стороны, принятые меры упорядочили области аттестации в области промышленной безопасности. С другой стороны, осталась без внимания другая проблема, освещенная в статье [7], а именно непрохождение аттестации квалифицированными ИТР, обладающими нужными знаниями. Здесь же, в статье [7], раскрываются причины непрохождения аттестации квалифицированными ИТР: работникам непонятно в принципе, что именно от них хотят. И в дополнение к этому потребность заучивать полторы-две сотни ответов на вопросы по каждой области аттестации, не соответствующих занимаемой должности и выполняемым трудовым обязанностям.

Правовое пространство вопросов тестирования

Нормотворчество является инструментом реализации государственной власти, выработки правовой политики государства. Общественно значимые нормативные правовые акты федеральных органов исполнительной власти проходят процедуру публичного обсуждения для оценки фактического воздействия и не могут быть приняты без предварительного обсуждения. Если проекты нормативных правовых актов содержат положения, устанавливающие обязательные требования, то они также согласовываются рабочей группой по реализации механизма «регуляторной гильотины» в сфере промышленной безопасности. Рабочая группа создана при Правительственной комиссии по проведению административной реформы для рассмотрения и согласования проектов нормативных правовых актов, содержащих положения, которыми устанавливаются, изменяются или признаются утраченными силу обязательные требования.

Распоряжением Ростехнадзора № 74-рп [9] утверждены вопросы тестирования по разделу «Требования по маркшейдерскому обеспечению безопасного ведения горных работ». Согласно положениям пункта 2 Постановления Правительства РФ № 1009 [10], нормативные правовые акты издаются в виде постановлений, приказов, правил, инструкций и положений, если иное не предусмотрено законодательством РФ. Акты, издаваемые в ином виде, не должны содержать предписания нормативно-правового характера. Издание нормативных правовых актов в виде распоряжений не допускается. Таким образом, распоряжение Ростехнадзора № 74-рп [9], утверждающее вопросы тестирования по разделу «Требования по маркшейдерскому обеспечению безопасного ведения горных работ», не является нормативным правовым актом, а представляет собой внутренний документ Ростехнадзора.

Исходя из этого, проект распоряжения Ростехнадзора, утверждающий вопросы тестирования по разделу «Требования по маркшейдерскому обеспечению безопасного ведения горных работ», не проходил публичные обсуждения, не рассмотрен и не согласован рабочей группой в сфере промышленной безопасности. В итоге сложилась ситуация, когда на основании результатов тестирования согласно вопросам аттестации, утвержденным распоряжением Ростехнадзора № 74-рп [9], не являющегося нормативным правовым актом, оцениваются знания по области аттестации аттестуемых лиц и по результатам тестирования принимается решение о допуске работников к работе на ОПО.

Вместе с тем распоряжение Ростехнадзора № 74-рп [9] содержит предписания нормативно-правового характера, затрагивает права и обязанности работников и имеет межведомственный характер. А в соответствии с положениями пункта 17 постановления Правительства РФ № 1009 [10, 11] нормативные правовые акты, затрагивающие права, свободы и обязанности человека и гражданина, имеющие межведомственный характер, подлежат официальному опубликованию в установленном порядке, то есть проходят публичное обсуждение, а при установлении обязательных требований – согласование рабочей группой в сфере промышленной безопасности.

Анализ вопросов тестирования

Анализ вопросов тестирования, утвержденных распоряжением Ростехнадзора № 74-рп [9], не оправдал ожиданий исключения из перечня вопросов, не соответствующих сути занимаемой должности и выполняемым трудовым обязанностям работников-маркшейдеров, проходящих аттестацию. По-прежнему приходится, работая на морской платформе, учить требования безопасности при добыче нефти шахтным способом. Например: «108. Какие действия необходимо предпринять, если взрывчатые материалы, завезенные на ОПО морского нефтегазового комплекса, использованы не полностью?». Или: «22. С какой периодичностью проверяется состояние горных выработок, служащих запасными выходами, лицами, назначенными организационно-распорядительным документом нефтяной шахты?».

Вносимые изменения в тестирование не оправдали ожиданий, связанных с ситуацией экзаменования на предмет соответствия занимаемой должности и выполняемым трудовым обязанностям, практической направленности для обеспечения состояния защищенности жизни и здоровья работников от аварий на ОПО и их последствий.

В результате анализа вопросов тестирования [9] по разделу Б.6.5 «Маркшейдерское обеспечение безопасного ведения горных работ при осуществлении разработки месторождений углеводородного сырья и гидроминеральных ресурсов» установлены следующие факты:

1. Процесс масштабных изменений вопросов тестирования начал в 2021 году – Распоряжением Ростехнадзора № 134-рп [12] в 2021 база вопросов тестирования по каждой области аттестации по разделу Б.6 «Требования по маркшейдерскому обеспечению безопасного ведения горных работ» по сравнению с 2018 годом увеличена почти в три раза (табл. 1), а в 2024 году изменения продолжены и база вопросов по области Б.6.5 увеличена еще на семь вопросов.

Таблица 1 / Table 1

Эволюция вопросов тестирования по разделу «Требования по маркшейдерскому обеспечению безопасного ведения горных работ» за период 2014–2024 годов [5, 12–14] /
The evolution of testing issues in the section «Requirements for surveying for safe mining operations» for the period 2014–2024 [5, 12–14]

Шифр	Область аттестации	Количество вопросов тестирования по годам			
		2014	2018	2021	2024
Б.6.1	Маркшейдерское обеспечение безопасного ведения горных работ при осуществлении работ, связанных с использованием недрами и их проектированием	143	128	450	263
Б.6.2	Маркшейдерское обеспечение безопасного ведения работ при осуществлении пользования недрами в целях, не связанных с добычей полезных ископаемых, а также строительства и эксплуатации гидротехнических сооружений	42	49	129	140
Б.6.3	Маркшейдерское обеспечение безопасного ведения горных работ при осуществлении разработки месторождений полезных ископаемых подземным способом	78	86	236	209
Б.6.4	Маркшейдерское обеспечение безопасного ведения горных работ при осуществлении разработки месторождений полезных ископаемых открытым способом	54	56	251	241
Б.6.5	Маркшейдерское обеспечение безопасного ведения горных работ при осуществлении разработки месторождений УВС и гидроминеральных ресурсов	32	49	175	182

2. Смысловое содержание большей части вопросов тестирования не соответствует сути занимаемой должности и выполняемым трудовым обязанностям работниками-маркшейдерами (табл. 2). Налицо разрыв между вопросами тестирования и их практическим применением – вопросы тестирования не готовят тестируемых лиц к правильным действиям, направленным на обеспечение промышленной

безопасности ОПО. Например: «144. В каком случае допускаются вибрация и гидравлические удары в нагнетательных коммуникациях?». Или: «15. Откуда должен осуществляться пуск в работу буровых насосов?».

Таблица 2 / Table 2

Декомпозиция вопросов тестирования области аттестации Б.6.5 за период 2014–2024 годов на тематические группы / Decomposition of testing questions in the field of B.6.5 attestation for the period 2014–2024 into thematic groups

Группа вопросов тестирования	Количество вопросов тестирования по годам			
	2014	2018	2021	2024
Проектирование разработки и обустройства месторождений УВС	6	3	12	11
Организационно-технические требования к выполнению горных работ	5	5	2	2
Разработка месторождений УВС шахтным способом	-	1	33	54
Проектирование, строительство, бурение и эксплуатация скважин	1	9	52	43
Эксплуатация объектов электроэнергетики и электрооборудования	-	-	5	6
Пожарная безопасность	-	-	6	5
Эксплуатация опасных производственных объектов морских нефтегазовых сооружений	4	3	20	19
Повышение нефтеотдачи пластов	-	-	6	6
Производство маркшейдерских работ	8	7	3	14
Эксплуатация объектов сбора, подготовки, хранения и транспортировки нефти и газа	3	2	4	6
Разработка и согласование планов развития горных работ	-	5	18	13
Оформление горноотводной документации	-	7	10	2
Охрана недр	5	7	3	1
Защита государственной тайны	-	-	1	-

3. Вопросы тестирования оторваны от практики маркшейдерской деятельности и не отражают специфики маркшейдерских работ при разработке месторождений УВС. Таким образом, отсутствует корреляция между вопросами тестирования и выполняемыми трудовыми обязанностями ИТР маркшейдерских служб, следовательно, полезная отдача от аттестации стремится к нулю, так как проверяются знания о порядке эксплуатации нефтегазового оборудования, с которым ИТР маркшейдерских служб не работают при исполнении должностных обязанностей. Например: «10. Какие фонтанные скважины из перечисленных оснащаются внутрискважинным оборудованием (накер и клапан-отсекатель, циркуляционный клапан, станция управления)?». Или: «40. Как должно осуществляться управление запорной арматурой скважины, оборудованной под нагнетание горячей воды или пара?».

4. Большое количество вопросов тестирования области аттестации Б.6 повторяются в категориях Б.6.1 – Б.6.5, то есть происходит «стирание» границ между областями аттестации по видам деятельности на ОПО. Получается, что с одной стороны, приказом Ростехнадзора № 285 [5] разграничены области аттестации и приведены в соответствие с наимено-

ваниями и видами деятельности на ОПО, а с другой – вопросами тестирования, утвержденными распоряжением Ростехнадзора № 74-рп [9], границы между видами деятельности нарушаются, происходит смешение областей аттестации. Например, вопрос № 114 в Б.6.1, № 32 – Б.6.2, № 24 – Б.6.3, № 112 – Б.6.4 и № 89 – Б.6.5: «Какая допускается максимальная погрешность определения объемов вскрышных, вмещающих горных пород, добытых полезных ископаемых с учетом коэффициентов их разрыхления, потерь полезных ископаемых, отвалов (хвостов), складов (хранилищ), участков намыва полезных ископаемых и (или) горных пород из двух и более независимых определений при разработке месторождений твердых полезных ископаемых?». Или вопрос № 252 в Б.6.1, № 133 – в Б.6.2, № 204 – в Б.6.3, № 239 – в Б.6.4 и № 172 – в Б.6.5: «Какие из перечисленных условий при передаче высот тригонометрическим нивелированием в теодолитных ходах указаны верно?».

5. Вопросы тестирования направлены на формализм знаний. Упор делается на форму, а не содержание знаний специфики маркшейдерских работ при разработке месторождений УВС, то есть в последующем знание не применяется при выполнении трудовых обязанностей, вне процесса прохождения аттестации в области промышленной безопасности. Знание ответов на вопросы тестирования не является целью подтверждения знаний требований промышленной безопасности, а только средством успешного прохождения аттестации. Например: «42. В каком положении должна находиться задвижка, установленная на отводе от затрубного пространства, при закачке теплоносителя (с установкой пакера) в пласт?». Или: «88. В каком месте эстакады для трубопроводов при обустройстве нефтяных, газовых и газоконденсатных месторождений должны быть электрически соединены с проходящими по ним трубопроводами и заземлены?».

6. Большое количество вопросов тестирования, не соответствующих заявленной области аттестации, которые не являются средством поддержания уровня квалификации ИТР маркшейдерских служб, осуществляющих деятельность на ОПО, одновременно с этим повышают вероятность неудовлетворительного результата тестирования для тестируемого лица, так как знания, не подкрепленные практикой маркшейдерской деятельности, быстро забываются и не оправдывают затраты на их приобретение. Например: «139. Какие требования к заземлению кондуктора (технической колонны) и рамы станка-качалки указаны неверно?». Или: «62. При выполнении какого условия допускается повторное использование рабочего проекта при бурении группы скважин на идентичных по геолого-техническим условиям площадях?».

7. Некоторые вопросы тестирования не имеют отношения к проверке знаний в области промышленной безопасности и обеспечении промышленной безопасности ОПО. Отсутствует фокус на проверку практически полезных знаний для обеспечения промышленной безопасности ОПО при производстве маркшейдерских работ. Например: «148. Кем из перечисленных лиц подписывается проект горного отвода (пояснительная записка)?». Или: «94. Кто подписывает планы (схемы) развития горных работ, представляемые в электронном виде пользователем недр?».

8. Знание требований промышленной безопасности по занимаемой должности заменено знанием требований промышленной безопасности различных видов деятельности на

ОПО, не относящихся к области трудовых обязанностей работников маркшейдерских служб. Происходит подмена знаний, необходимых ИТР маркшейдерских служб, для выполнения трудовых обязанностей, направленных на обеспечение промышленной безопасности ОПО, на знания, которые не востребованы. Это приведет к тому, что тестируемые лица в процессе осуществления производственной деятельности по незнанию могут нарушить требования промышленной безопасности. Например: «170. В каком случае не требуется установка автоматического клапана-отсекателя на выкидной линии газовых и газоконденсатных скважин?». Или: «11. Кем должен утверждаться проект и план перевода скважины на газлифтную эксплуатацию?».

Оценка качества вопросов тестирования

По результатам оценки качества вопросов тестирования области аттестации по разделу Б.6.5 «Маркшейдерское обеспечение безопасного ведения горных работ при осуществлении разработки месторождений углеводородного сырья и гидроминеральных ресурсов» на дифференциацию, валидность, дискриминативность и репрезентативность установлено:

- дифференциация демонстрирует, насколько различаются тестовые вопросы в разных областях Б.6 и позволяет определить области, имеющие низкую дифференциацию. Проверка на дифференциацию области аттестации по разделу Б.6 (рис. 1) выявила, что вопросы тестирования некоторых областей аттестации на 80–90 % состоят из повторяющихся вопросов, то есть происходит перекрестное «опыление» областей Б.6.1 – Б.6.5 одними и теми же вопросами;

- валидность характеризует вопросы тестирования по степени соответствия предметной области аттестации и насколько проверяемые знания связаны с выполняемыми трудовыми обязанностями. Проверка тестовых вопросов области Б.6.5 (рис. 2) на валидность выявила, что вопросы распределяются в следующей пропорции: 11 % вопросов (20 вопросов) измеряют уровень знаний в заявленной области, а 89 % вопросов (табл. 3) не соотносятся с предметной областью аттестации Б.6.5. Здесь применим принцип Парето о неравномерности влияния категорий вопросов тестирования на выполнение возложенных трудовых обязанностей в объеме требований промышленной безопасности. 11 % вопросов решают цели аттестации в области промышленной безопасности по поддержанию уровня квалификации

[1] и соответствуют ожиданиям ИТР, выполняющим маркшейдерские работы. Оставшиеся 89 % вопросов не соответствуют целям аттестации, не приносят результата и требуют больших временных затрат на подготовку тестируемых лиц к аттестации;

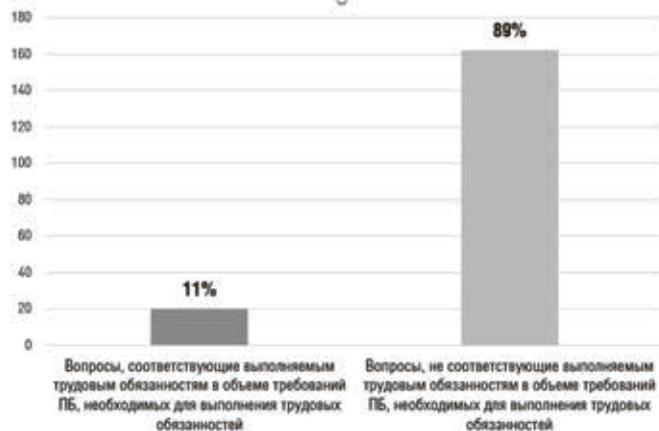


Рис. 2. Проверка вопросов тестирования области аттестации Б.6.5 на валидность /
Fig. 2. Checking the validity of the B.6.5 certification area testing questions

- дискриминативность характеризует, насколько вопросы тестирования чувствительны к различиям в областях деятельности. Проверка на дискриминативность выявила, что треть тестовых вопросов области Б.6.5 (табл. 2) составляют вопросы по разработке месторождений УВС шахтным способом, при этом Ярегское месторождение является единственным в мире месторождением УВС, на котором нефть добывается шахтным способом, что свидетельствует о явном перекосе – вопросов по разработке месторождений УВС шахтным способом непропорционально много;

- репрезентативность определяет, насколько вопросы тестирования подходят для тестирования ИТР маркшейдерских служб нефтегазовых предприятий, знания которых проверяют в заявленной области аттестации. Проверка на репрезентативность выявила, что большая часть вопросов тестирования проверяет знания, оторванные от практики маркшейдерской деятельности при разработке месторождений УВС (табл. 3), они не могут быть использованы для проверки знаний тестируемых лиц в области промышленной безопасности, выполняющих маркшейдерские работы при разработке месторождений УВС.

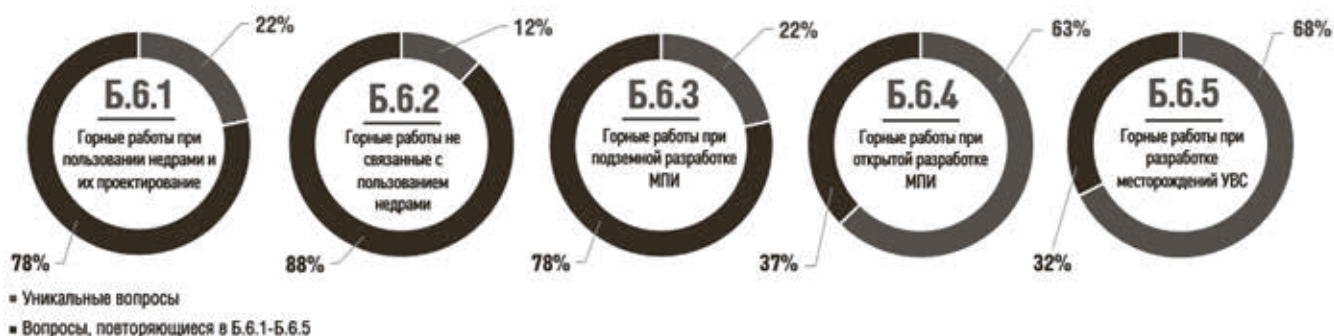


Рис. 1. Дифференциация вопросов тестирования области аттестации Б.6 /
Fig 1. Differentiation of testing issues in the field of B.6 certification

Таблица 3 / Table 3

Декомпозиция вопросов тестирования области аттестации Б.6.5 на репрезентативность / Decomposition of B.6.5 attestation area testing questions into representativeness

Группа вопросов тестирования	Количество вопросов тестирования	
	Вопросы, соответствующие выполняемым трудовым обязанностям в объеме требований ПБ, необходимых для выполнения трудовых обязанностей	Вопросы, не соответствующие выполняемым трудовым обязанностям в объеме требований ПБ, необходимых для выполнения трудовых обязанностей
Проектирование разработки и обустройства месторождений УВС	-	11
Организационно-технические требования к выполнению горных работ	1	1
Разработка месторождений УВС шахтным способом	2	52
Проектирование, строительство, бурение и эксплуатация скважин	-	43
Эксплуатация объектов электроэнергетики и электрооборудования	-	6
Пожарная безопасность	-	5
Эксплуатация опасных производственных объектов морских нефтегазовых сооружений	-	19
Повышение нефтеотдачи пластов	-	6
Производство маркшейдерских работ	9	5
Эксплуатация объектов сбора, подготовки, хранения и транспортировки нефти и газа	-	6
Разработка и согласование планов развития горных работ	6	7
Оформление горноотводной документации	2	2
Охрана недр	-	1

Заключение

1. На основании результатов тестирования – ответов на вопросы, установленные распоряжением Ростехнадзора № 74-рп [9], оцениваются знания аттестуемых лиц и по результатам тестирования принимается решение о допуске работников к работе на ОПО. При этом распоряжение Ростехнадзора № 74-рп [9] не является нормативным правовым актом и не проходит публичное обсуждение. Существующая система утверждения вопросов тестирования не обеспечивает открытость и прозрачность обсуждения и отбора вопросов тестирования по аттестации в области промышленной безопасности. Широкий круг заинтересованных лиц не вовлекается в публичное обсуждение для противостояния ангажированности и келейности при обсуждении и утверждении вопросов тестирования, что не способствует рассмотрению вопросов со всех сторон. Публичное обсуждение позволит избежать очевидных ошибок и дефектов в вопросах тестирования, затрагивающих интересы ИТР.

2. Раздел «Требования по маркшейдерскому обеспечению безопасного ведения горных работ» содержит большое количество повторяющихся вопросов тестирования в разных областях аттестации в области промышленной безопасности, которые не соответствуют сути занимаемой должности и выполняемым трудовым обязанностям, что приводит к профанации тестирования. Такой подход крайне отрицательно сказывается на практике обеспечения безопасной эксплуатации ОПО, происходит выхолащивание сути законодательных и нормативных правовых актов аттестации в области промышленной безопасности. Вопросы тестирования должны быть сфокусированы на проверке знаний требований промышленной безопасности в рамках трудовых обязанностей аттестуемого лица.

3. Ставка на расширение базы вопросов тестирования с включением вопросов, не соответствующих занимаемой должности и выполняемым трудовым обязанностям, привела к тому, что вопросы перестали работать: тестирование не проверяет знание специфики в заявленной области аттестации тестируемого лица для выполнения возложенных на него трудовых обязанностей, а проверяет, как хорошо развита краткосрочная и долгосрочная память у тестируемого [15]. Поэтому ИТР вынуждены учить полторы-две сотни вопросов по каждой аттестации, и, как следствие этого, только 6 из 10 квалифицированных ИТР успешно аттестуются. Вопросы тестирования по разделу Б.6.5 «Маркшейдерское обеспечение безопасного ведения горных работ при осуществлении разработки месторождений углеводородного сырья и гидроминеральных ресурсов» не связаны с практикой маркшейдерской деятельности и не направлены на обеспечение промышленной безопасности ОПО и минимизацию риска возникновения чрезвычайных ситуаций. Вопросы тестирования перегружают тестируемых лиц не востребуемыми знаниями, которые не имеют практического применения в маркшейдерской деятельности. Знание ответов на вопросы тестирования не является целью, а только средством успешного прохождения аттестации – тестируемые лица просто заучивают ответы, чтобы успешно пройти тестирование и благополучно забыть на пять лет до следующей аттестации в области промышленной безопасности. Впустую тратится время на подготовку к аттестации в области промышленной безопасности, так как приобретенные знания не встроены в структуру маркшейдерской деятельности и не принесут никакой пользы при выполнении трудовых обязанностей. Знания в области промышленной безопасности ОПО будут работать и станут активными, только когда будут отражать суть маркшейдерской деятельности при разработке месторождений УВС.

Выводы

1. Проведенный анализ вопросов тестирования по разделу Б.6.5 «Маркшейдерское обеспечение безопасного ведения горных работ при осуществлении разработки месторождений углеводородного сырья и гидроминеральных ресурсов» продемонстрировал, что вопросы тестирования проверяют знания требований промышленной безопасности, не соответствующие занимаемой должности и выполняемым трудовым обязанностям работниками-маркшейдерами.

2. Результаты проведенного анализа могут быть полезными при актуализации вопросов тестирования раздела «Требования по маркшейдерскому обеспечению безопасного ведения горных работ» для приведения их в соответствие с практикой маркшейдерской деятельности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. О промышленной безопасности опасных производственных объектов: Федеральный закон от 21.07.1997 № 116-ФЗ. [Federal Law № 116-FZ dated 07/21/1997 «On Industrial Safety of Hazardous Production Facilities» (In Russ.)]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/9046058>.
2. Рубин АЯ. Промышленная безопасность в России: время перемен. *Безопасность труда в промышленности*. 2023;5:87-96. [Rubin AY. Industrial safety in Russia: a time of change. *Occupational safety in industry*. 2023;5:87-96 (In Russ.)]
3. Быков ДЕ, Леонов ЮА, Божичева ЖВ. Об организации и реализации обучения в области промышленной безопасности. *Сборник трудов по проблемам дополнительного профессионального образования*. 2024;47:113-27. [Bykov DE, Leonov YuA, Bozhicheva ZhV. On the organization and implementation of training in the field of industrial safety. *Collection of works on the problems of additional professional education*. 2024;47:113-27 (In Russ.)]
4. Об аттестации в области промышленной безопасности, по вопросам безопасности гидротехнических сооружений, безопасности в сфере электроэнергетики: Постановление Правительства РФ от 13.01.2023 № 13. [Decree of the Government of the Russian Federation No. 13 dated January 13, 2023 «On certification in the field of industrial safety, on safety of hydraulic structures, safety in the field of electric power industry» (In Russ.)]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1300598905>.
5. Об утверждении Перечня областей аттестации в области промышленной безопасности, по вопросам безопасности гидротехнических сооружений, безопасности в сфере электроэнергетики: Приказ Ростехнадзора от 09.08.2023 № 285. [Rostekhnadzor Order No. 285 dated 08/09/2023 «On approval of the List of certification areas in the field of industrial safety, on the safety of hydraulic structures, and safety in the electric power industry» (In Russ.)]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1302664675>.
6. Горбунов ОН, Дроздов АО. О правовом регулировании маркшейдерских работ в современных условиях. *Маркшейдерия и недропользование*. 2022;6(122):4-15. [Gorbunov ON, Drozdov AO. On the legal regulation of surveying operations in modern conditions. *Surveying and subsurface use*. 2022;6(122):4-15 (In Russ.)] DOI: 10.56195/20793332_2022_6_4_15.
7. Новый Перечень областей аттестации по промышленной безопасности. [A new list of areas of industrial safety certification (In Russ.)] URL: <https://www.gosnadzor.ru/news/67/10667/>.
8. События. *Бурение и нефть*. 2021;(6):52-6. [Events. *Drilling and oil*. 2021;(6):52-6 (In Russ.)]
9. Об утверждении вопросов тестирования по разделу «Требования по маркшейдерскому обеспечению безопасного ведения горных работ» Перечня областей аттестации в области промышленной безопасности, по вопросам безопасности гидротехнических сооружений, безопасности в сфере электроэнергетики, утвержденного приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 9 августа 2023 г. № 285»: Распоряжение Ростехнадзора от 05.08.2024 № 74-рп. [Rostekhnadzor Order No. 74-rp dated 08/05/2024 «On Approval of Testing Issues under the section «Requirements for Surveying for safe Mining operations» of the List of Certification Areas in the Field of Industrial Safety, on the safety of Hydraulic Structures, and Safety in the Electric Power Industry, approved by Order of the Federal Service for Environmental, Technological, and Nuclear Supervision dated August 9, 2023. № 285 (In Russ.)] URL: <https://docs.cntd.ru/document/1306887214/titles/A900NM>.
10. Об утверждении Правил подготовки нормативных правовых актов федеральных органов исполнительной власти и их государственной регистрации: Постановление Правительства РФ от 13.08.1997 № 1009. [Decree of the Government of the Russian Federation No. 1009 dated 08/13/1997 «On Approval of the Rules for the Preparation of Regulatory Legal Acts of Federal Executive Authorities and their State Registration» (In Russ.)]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/9047431>.
11. Борисов АН. Комментарий к Федеральному закону от 6 декабря 2011 г. № 402-ФЗ «О бухгалтерском учете», постатейный. 2-е изд., перераб. и дополн. Москва, 2024: 372. [Borisov AN. Commentary to Federal Law No. 402-FZ dated December 6, 2011 «On Accounting», article by article. 2nd edition, revised and expanded. Moscow, 2024: 372 (In Russ.)]
12. Об утверждении вопросов тестирования по разделу «Требования по маркшейдерскому обеспечению безопасного ведения горных работ» Перечня областей аттестации в области промышленной безопасности, по вопросам безопасности гидротехнических сооружений, безопасности в сфере электроэнергетики, утвержденного приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 4 сентября 2020 г. № 334: Распоряжение Ростехнадзора от 12.04.2021 № 134-рп. [Rostekhnadzor Order No. 134-rp dated 04/12/2021 «On Approval of Testing Issues under the section «Requirements for Surveying for safe Mining operations» of the List of Certification Areas in the Field of Industrial Safety, on the safety of Hydraulic Structures, and Safety in the Electric Power Industry, approved by Order of the Federal Service for Environmental, Technological, and Nuclear Supervision dated September 4, 2020. № 334 (In Russ.)]. URL: <https://normacs.net/Doclist/doc/1U7TG.html>.
13. Об утверждении экзаменационных билетов (тестов) по разделу Б.6 «Требования по маркшейдерскому обеспечению безопасного ведения горных работ», применяемых аттестационными комиссиями Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору при проведении аттестации руководителей и специалистов организаций, поднадзорных Федеральной службе по экологическому, технологическому и атомному надзору: Распоряжение Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 05.12.2014 г. № 212-рп. [Order No. 212-rp of the Federal Service for Environmental, Technological and Nuclear Supervision dated 05.12.2014 «On approval of examination tickets (tests) under Section B.6 «Requirements for Surveying for Safe Mining operations» applied by the Attestation commissions of the Federal Service for Environmental, Technological and Nuclear Supervision when certifying managers and specialists of organizations, supervised by the Federal Service for Environmental, Technological and Nuclear Supervision» (In Russ.)]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/420241957>
14. Об утверждении экзаменационных билетов (тестов) по разделу Б.6 «Требования по маркшейдерскому обеспечению безопасного ведения горных работ» областей аттестации (проверки знаний) руководителей и специалистов организаций, поднадзорных Федеральной службе по экологическому, технологическому и атомному надзору, утвержденных приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 6 апреля 2012 г. № 233: Распоряжение Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 07.02.2018 г. № 39-рп. [Order № 39-rp of the Federal Environmental, Technological and Nuclear Supervision Service dated 02/07/2018 «On Approval of Examination Tickets (Tests) under Section B.6 «Requirements for Surveying for Safe Mining operations» for certification (knowledge Testing) of managers and specialists of organizations supervised by the Federal Environmental, Technological and Nuclear Supervision Service approved by Order of the Federal Service for Environmental, Technological and Nuclear Supervision No. 233 dated April 6, 2012» (In Russ.)]. URL: <https://meganorm.ru/Data2/1/4293737/4293737935.htm>
15. Антонова СЛ, Белозеров АН. Комментарий к Федеральному закону от 21 июля 1997 г. № 116-ФЗ «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» (постатейный). Москва, 2023. [Antonova SL, Belozеров AN. Commentary to Federal Law No. 116-FZ of July 21, 1997 «On Industrial Safety of Hazardous Production Facilities» (article-by-article). Moscow, 2023 (In Russ.)]

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Олег Николаевич Горбунов –

руководитель программ по маркшейдерскому обеспечению
ПАО «Газпром нефть», 190000, г. Санкт-Петербург,
Российская Федерация,
e-mail: Gorbunov.ON@gazprom-neft.ru,

Анатолий Олегович Дроздов –

начальник Управления лицензирования и недропользования
ПАО «Газпром нефть», 190000, г. Санкт-Петербург, Рос-
сийская Федерация, e-mail: Drozdov.AO@gazprom-neft.ru.

ABOUT THE AUTHORS

Oleg N. Gorbunov –

Head of Surveying Programs at Gazprom Neft PJSC, 190000,
St. Petersburg, Russian Federation, e-mail: Gorbunov.ON@
gazprom-neft.ru,

Anatoly O. Drozdov – Head of the Licensing and Subsoil Use De-
partment of PJSC Gazprom Neft, 190000, St. Petersburg, Russian
Federation, e-mail: Drozdov.AO@gazprom-neft.ru.

Критерии авторства / Contribution:

О. Н. Горбунов – идея статьи, проведение обзора технической и научной литературы, проведение теоретических исследо-
ваний, проведение экспериментальных исследований, написание текста, предпечатная подготовка; А. О. Дроздов – обработка
результатов исследований, написание текста, редактирование текста, проведение проверки текста на антиплагиат. / O. N.
Gorbunov: the idea of the article, conducting a review of technical and scientific literature, conducting theoretical research, conducting
experimental research, writing the text, prepress preparation; A. O. Drozdov: processing research results, writing text, editing text,
checking text for Anti-plagiarism.

Конфликт интересов / Conflict of interest:

соавторы заявляют об отсутствии конфликта интересов. / The co-authors declare that there is no conflict of interest.

Информация о статье

Поступила в редакцию: 18.02.2025.

Поступила после рецензирования: 30.03.2025.

Принята к публикации: 11.04.2025.

Article info

Received: 18.02.2025.

Revised: 30.03.2025.

Accepted: 11.04.2025.

ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОЙ РАБОТЫ ПОДЗЕМНОГО ДРЕНАЖНОГО КОМПЛЕКСА КАРЬЕРА МИХАЙЛОВСКОГО ГОКа имени А. В. ВАРИЧЕВА

В. В. Кушнерчук¹, В. В. Хаустов^{1✉}, Л. А. Семенова²,

А. И. Карнюшкин³, В. В. Симонян⁴

¹Белгородский государственный национальный исследовательский университет,

г. Белгород, Российская Федерация

²Юго-Западный государственный университет, г. Курск, Российская Федерация

³Московский государственный технический университет имени М. Э. Баумана,

г. Москва, Российская Федерация

⁴Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет,

г. Москва, Российская Федерация

✉ okech@mail.ru

Аннотация. Осушение карьера Михайловского железорудного месторождения осуществляется комбинированно-поверхностным и подземным способами. При планируемом развитии карьера в северо-западном направлении увеличивается соответственно размер его дренажного контура, что способствует росту водопритокков. Установлено, что в последние годы среднегодовой водоприток к шахтному водоотливу изменяется в пределах 2150...2830 м³/ч. Выявлено при этом, что абсолютно большая часть притоков воды в карьер приходится на батский водоносный горизонт – 1 500 м³/ч (77 %). В этой связи выполнен прогноз водопритокков из батского водоносного горизонта с учетом расширения и углубления чаши карьера. Для оценки и прогноза обводнения карьера из батских песков разработана численная модель геофильтрации района Михайловского железорудного месторождения. Прогнозное моделирование проводилось с учетом сооружения дополнительного дренажного штрека к границам горного отвода для размещения восстающих дренажных скважин на батские пески, поскольку существующие дренажные сооружения (штреки с восстающими скважинами) будут подработаны карьером и частично выведены из эксплуатации. Установлено при этом, что удельный приток на северо-западном борту карьера в результате сооружения дренажного штрека у границ горного отвода уменьшится в 1,5 раза (с 1,2 до 0,8 м³/сут на 1 п. м. откоса). Опираясь на результаты прогнозных расчетов общего притока подземных и поверхностных вод в карьер, обосновано необходимое количество и разработана схема расположения дренажных узлов восстающих скважин для обеспечения эффективного осушения карьера Михайловского железорудного месторождения вплоть до 2032 года.

Ключевые слова: месторождение, гидрогеологические условия, подземные воды, водоприток, дренаж, подработка, восстающие дренажные скважины

Благодарности: Авторы выражают признательность и благодарность кандидату геолого-минералогических наук Л. А. Еланцевой за помощь при проведении исследования и ценные замечания, а также коллективу редакции научно-технического и производственного журнала «Маркшейдерия и недропользование» за поддержку и помощь в оформлении статьи.

Для цитирования: Кушнерчук ВВ, Хаустов ВВ, Семенова ЛА, и др. Гидрогеологическое обоснование эффективной работы подземного дренажного комплекса карьера Михайловского ГОКа имени А. В. Варичева. *Маркшейдерия и недропользование*. 2025;25(2):84-91. <https://doi.org/10.56195/20793332-2025-25-2-84-91>.

HYDROGEOLOGICAL JUSTIFICATION OF THE EFFECTIVE OPERATION OF THE UNDERGROUND DRAINAGE COMPLEX OF QUARRY THE MIKHAILOVSKY MPP NAMED AFTER A. V. VARICHEV

V. V. Kushnerchuk¹, V. V. Khaustov^{1✉}, L. A. Semenova²,

A. I. Karnyushkin³, V. V. Simonyan⁴

¹ Belgorod State National Research University, Belgorod, Russian Federation

² Southwestern State University, Kursk, Russian Federation

³ Moscow State Technical University named after M. E. Bauman, Moscow, Russian Federation

⁴ National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russian Federation

✉ okech@mail.ru

Abstract. The drainage of the quarry of the Mikhailovskoye iron ore deposit is carried out by a combined surface and underground method. With the planned development of the quarry in the north-west direction, the size of its drainage contour increases accordingly, which contributes to the growth of water inflows. It has been established that in recent years the average annual water inflow to the mine drainage varies within 2150...2830 m³/h. It was revealed that the absolutely largest part of the water inflows into the quarry falls on the Bathonian aquifer – 1 500 m³/h (77 %). In this regard, a forecast of water inflows from the Bathonian aquifer is made taking into account the expansion and deepening of the quarry bowl. To assess and predict the flooding of the quarry from the Bathonian sands, a numerical model of geofiltration of the Mikhailovskoye iron ore deposit area has been developed. The predictive modeling was carried out taking into account the construction of an additional drainage drift to the boundaries of the mining allotment for the placement of rising drainage boreholes on the Bathonian sands, since the existing drainage structures (drifts with rising boreholes) will be undermined by the quarry and partially decommissioned. It was found that the specific inflow on the north-western side of the quarry as a result of the construction of a drainage drift at the boundaries of the mining allotment will decrease by 1.5 times (from 1.2 to 0.8 m³/day per 1 running meter of slope). Based on the results of predictive calculations of the total inflow of ground and surface water into the quarry, the required amount was substantiated and a layout diagram for the drainage units of rising drainage boreholes was developed to ensure effective drainage of the Mikhailovskoye iron ore deposit quarry up to 2032.

Keywords: deposit, hydrogeological conditions, groundwater, water inflow, drainage, side work, rising drainage wells

Acknowledgments: The authors express their appreciation and gratitude to PhD in Geology and Mineralogy L. A. Elantseva for her assistance in conducting the study and valuable comments, as well as to the editorial staff of the scientific, technical and industrial journal “Mine Surveying and Subsoil Use” for their support and assistance in preparing the article.

For citation: Kushnerchuk VV, Khaustov VV, Semenova LA, et al. Hydrogeological justification

of the effective operation of the underground drainage complex of quarry the Mikhailovsky MPP named after A. V. Varichev. *Mine Surveying and Subsurface Use*. 2025;25(2):84-91. (In Russ.). <https://doi.org/10.56195/20793332-2025-25-2-84-91>.

Введение

Михайловское месторождение (северо-запад Курской области) является одним из крупнейших железорудных месторождений КМА, где сосредоточено около 13 % запасов железных руд КМА. Его промышленное освоение производится открытым способом и сопровождается выемкой и перемещением огромных масс горных пород и руд, дренированием внушительного количества подземных вод, что существенно изменяет гидрогеологические и экологические условия района в целом [1].

В геолого-структурном отношении район Михайловского железорудного месторождения располагается в северо-западной части Воронежской антеклизы и частично ограничивающих ее прогибов Московской синеклизы и Днепровско-Донецкой впадины [1, 2]. Месторождение приурочено к западному борту Михайловской структуры, к участку ее флексурообразного изгиба, осложненному продольными и поперечными разломами, дополнительной складчатостью [3]. Основные гидрогеологические особенности исследуемого района обусловлены наличием мощного осадочного чехла, разделенного выдержанными глинами келловейского возраста на два водоносных комплекса. Надкелловейский

комплекс включает безнапорные горизонты в четвертичных и меловых отложениях, а подкелловейский напорно-безнапорный комплекс – водоносные горизонты в батских, девонских и архей-протерозойских песчаных и карбонатных породах. Ниже, в кристаллическом фундаменте, прослеживается водоносная зона трещиноватости в архей-протерозойских изверженных и метаморфических породах (рис. 1) [4–6]. (См. цв. вклейку на стр. 50).

Осушение карьера МГОКа осуществляется комбинированно-поверхностным и подземным способами [7, 8]. При этом безнапорные водоносные горизонты надкелловейского комплекса дренируются бортами карьера и местной гидрографической сетью. Водоносные же горизонты подкелловейского комплекса осушаются комбинированно системой насосных установок в карьере, для чего создана сеть подземных выработок и пробуренных из них восстающих дренажных скважин на все водоносные горизонты и дренажные узлы (подземный дренажный комплекс – далее ПДрК) [7–9].

Анализ перспективного развития горных работ в карьере показал, что существующая система осушения в целом способна функционировать в течение всего периода эксплуатации вплоть до конечного этапа отработки карьера. Исключение

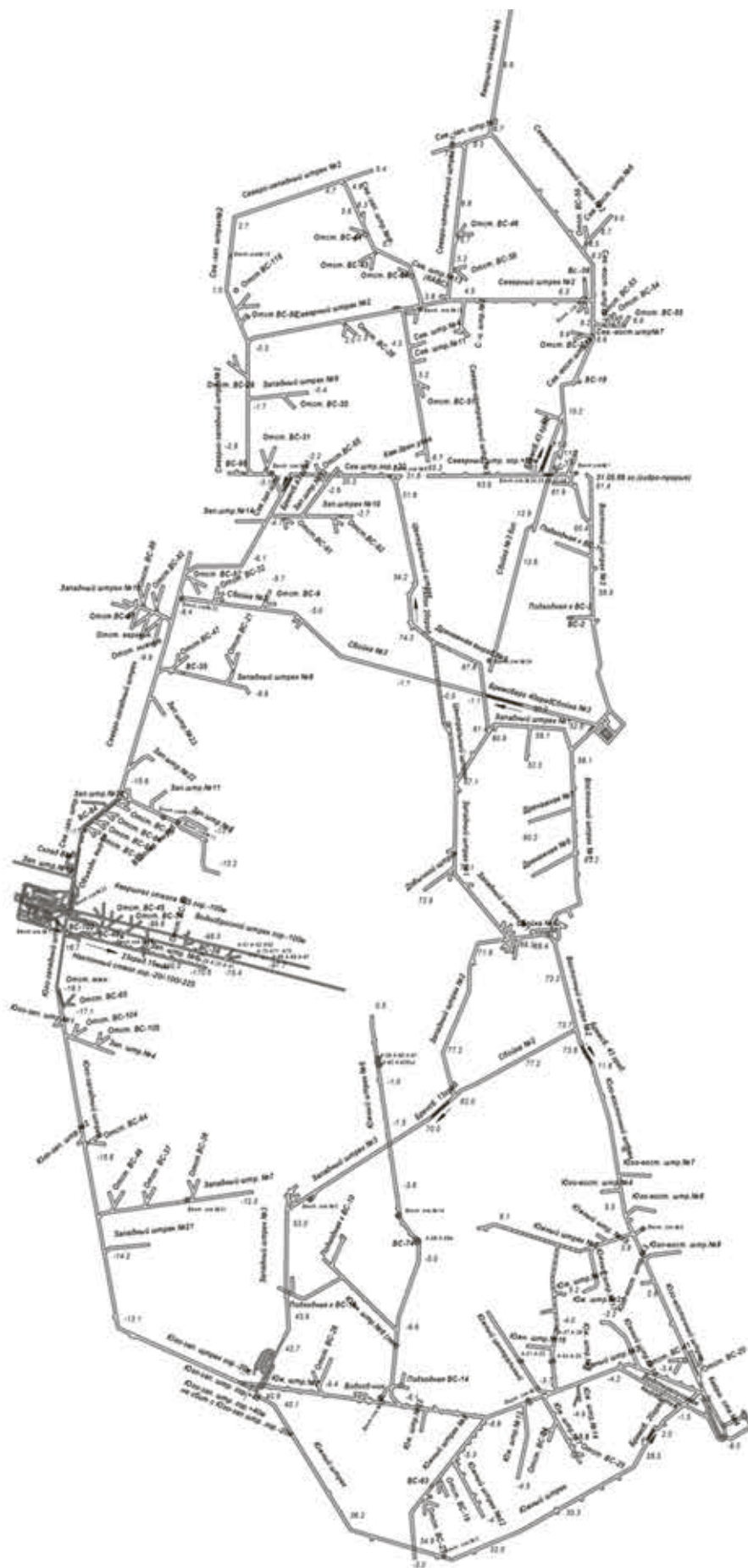


Рис. 2. Система горных выработок подземного дренажного комплекса /
Fig. 2. System of underground drainage complex mine workings

составляет северо-западный борт карьера, который в конце отработки переместится за пределы существующего дренажного контура подземных горных выработок (Северо-западный и Северо-западный штрек № 2). В этой связи обоснование эффективного направления развития ПДрК весьма актуально.

Цель исследований: гидрогеологическое обоснование эффективной работы подземного дренажного комплекса карьера Михайловского ГОКа имени А. В. Варичева.

Объект исследований

В целом гидрогеологические условия месторождения характеризуются как сложные, а естественный режим подземных вод в пределах месторождения в результате мероприятий по его осушению существенно нарушен [9]. За последнее время среднегодовой приток к шахтному водоотливу изменялся в пределах 2150...2830 м³/ч; порядка 300 м³/ч дренажных вод поступало из надкелловейского водоносного комплекса; около 1 500 м³/ч – из батского водоносного горизонта; 100 м³/ч – притоки из девонских отложений и руднокристаллического массива; 250÷930 м³/ч – атмосферные осадки.

Система осушения карьерного поля состоит из внешнего и внутреннего контуров, приведена на рисунке 2.

Внешний дренажный контур включает в себя сеть дренажных штреков с восстающими скважинами, расположенными по периметру карьера, и осуществляющих дренаж батского и рудно-кристаллического водоносных горизонтов. Внутренний дренажный контур осуществляет дренаж водоносных горизонтов в четвертичных, сеноман-альбских и апт-неокомских отложениях и состоит из погоризонтных дренажных и водоотводящих канав с водосбросными скважинами для сброса воды в дренажные выработки.

Водоотведение из карьера осуществляется посредством подземного водоотлива, который заложен на двух горизонтах (-20 м, -100 м). Горизонт -100 м вводится в эксплуатацию по мере углубления карьера.

Защита карьера от подземных вод нижнего водоносного комплекса, представленного водами юрских, девонских и докембрийских образований, из которых наиболее водообильными являются пески батского водоносного горизонта, осуществляется с помощью восстающих дренажных скважин, пробуренных из подземных горных выработок дренажной шахты. Проскоки воды в карьер из батского водоносного горизонта перехватываются дренажными канавами, из которых вода отводится к водосбросным скважинам и сбрасывается в дренажную шахту [10, 11].

Материал и методы исследований

В основу настоящих исследований положены многочисленные фондовые материалы, научные публикации в открытой печати. На протяжении строительства и эксплуатации карьера МГОКа регулярно проводилась оценка водопритоков силами гидрогеологической службы МГОКа и специализированных организаций: ВИОГЕМ (1976, 1985, 1998 гг.), НТЦ НОВОТЭК (1996, 2006 гг.), АОЗТСП «Геолинк» (г. Москва, 2002 г.), ООО «СПб-Гипрошахт» (2016 г.) и др. Статистическая обработка, анализ накопленных результатов исследований и сопоставление их с фактическими показателями работы системы осушения за последнее десятилетие позволили выявить тенденцию относительной стабилизации режима водоносных комплексов и объемов водопритоков в карьер МГОКа [9].

Для оценки и прогноза водопритоков в карьер из батских песков совместно со специалистами НТЦ «НОВОТЭК» (Л. А. Еланцева и др.) разработана численная модель геофильтрации района Михайловского железорудного месторождения [12].

Решение фильтрационной задачи осуществлялось с использованием лицензионной программы *Modflow* системы *GMS*. Эта программа позволяет реализовать пространственную фильтрацию подземных вод методом конечных разностей в многослойной толще для областей произвольной конфигурации, а также определять уровни подземных вод и их понижения в каждой узловой точке области фильтрации для каждого слоя, расходы подземных вод в граничных точках изучаемой области, составляющие баланса подземных вод (инфильтрация, разгрузка и питание потока подземных вод, перетоки между слоями), автоматически управлять работой граничных условий [13, 14].

С использованием разработанной численной гидродинамической модели проведены прогнозные расчеты с целью оценки водопритока к системе дренажа карьера из батских отложений. При этом как исходные принимались положения уровней подземных вод, условия на внешних и внутренних источниках и стоках, соответствующие фактическому режиму подземных вод и реализованные в модели на конечном этапе решения обратной задачи [15–17]. Прогнозная задача решалась на период проектного развития карьера до 2032 года – расширение карьера в северном и западном направлениях.

Важно также отметить, что прогнозное моделирование проводилось с учетом сооружения дополнительного дренажного штрека к границам горного отвода для размещения восстающих скважин на батские пески, поскольку существующие дренажные сооружения (штреки с восстающими скважинами) будут подработаны и частично выведены из эксплуатации [18].

Результаты исследований

Изменение внешнего дренажного контура в сторону увеличения на участке северо-западного направления развития карьера неизбежно приведет к увеличению водопритока к ПДрК, в связи с чем по результатам прогнозных расчетов оценен объем увеличения водопритока с северо-западной части карьера. В таблице 1 представлены результаты прогнозного моделирования водопритоков.

Таблица 1 / Table 1

Расчетные величины водопритоков по результатам прогнозного моделирования /

Estimated values of inflows based on the results of predictive modeling

Источник поступления вод	Водоприток, м ³ /ч	Примечание
Апт-сеноманский горизонт	300 (14 %)	Надкелловейский водоносный комплекс
Батский водоносный горизонт	1 700 (81 %)	Подкелловейский водоносный горизонт
В том числе север	1 200	
юг	300	
проскок в карьер	200	
Девонские и руднокристаллические отложения	100 (5 %)	
Всего подземных вод	2 100	

Как следует из таблицы 1, основная доля поступления подземных вод из батского водоносного горизонта (81 %) приходится на северо-западный и западный борта карьера. В этой связи оценены удельные водопритокки прежде всего из батского водоносного горизонта в карьер по результатам решения прогнозной задачи на 2032 год (рис. 3). (См. цв. вклейку на стр. 51).

Обсуждение результатов исследований

Как уже отмечалось, анализ перспективного развития фронта горных работ в карьере выявил, что существующая система осушения в целом может сохранять устойчивость определенное время [9, 19]. Исключением является северо-западный борт карьера, который на поздних этапах отработки выйдет за пределы существующего дренажного контура подземных горных выработок ПДРК (Северо-западный и Северо-западный штрэк № 2) (рис. 2).

Согласно проведенным прогнозным расчетам с использованием геофильтрационного моделирования, общий приток дренажных вод в карьер увеличится на 9 %. Такой рост (до 5 175 м³/ч) обусловлен дополнительным поступлением воды при увеличении размера дренажного контура, а также ростом притока из водоносной зоны трещиноватости пород кристаллического фундамента. Прогнозируется среднегодовой приток в карьер порядка 27 млн м³.

Для эффективного осушения карьера потребуются сооружение вдоль северо-западного борта карьера дренажного штрэка (протяженностью порядка 5 км) с восстающими дренажными скважинами на этом участке в пределах горизонта -100 м. С учетом приведенных прогнозных оценок роста водопритокков определено количество необходимых дренажных узлов – ВДС.

В таблице 2 представлены объемы работ по сооружению требуемых восстающих дренажных скважин для эффективного осушения северо-западного борта карьера МГОКа.

Таблица 2 / Table 2

Объемы работ по сооружению восстающих дренажных скважин / Volumes of work on the construction of rising drainage wells

Показатель	Горизонт -100 м			
	Северный борт	Западный борт		
Номера скважин	23÷37	1÷5	6÷16	17÷22
Количество скважин в узле, шт.	1	1	1	1
Количество скважин, шт.	15	5	11	6
Общее количество скважин, шт.	37			
Дебит узла восстающих скважин, м³/ч	20÷30			
Длина скважины, м	190	190	180	170
Протяженность бурения, м	2 850	950	1 980	1 020
Суммарная протяженность бурения, м	6 800			

Таким образом, удельный приток на северо-западном борту карьера в результате сооружения дренажного штрэка у границ горного отвода должен уменьшиться в 1,5 раза (с 1,2 до 0,8 м³/сут на 1 п. м. откоса).

Разработанная схема расположения ВДС, необходимых для эффективного осушения северо-западного борта карьера МГОКа вплоть до 2032 года, представлена на рисунке 4. (См. цв. вклейку на стр. 51).

Дополнительно для снижения обводнения бортов карьера по рыхлой вскрыше предусматривается сооружение прибортовых дренажных канав на всех уступах карьера по рыхлой вскрыше, начиная с горизонта +75 м и выше, общей протяженностью порядка 22 км, которые должны будут обеспечить перехват, сбор и отведение проскоков подземных вод.

Заключение

1. Гидрогеологическое поле Михайловского месторождения железных руд занимает сводовую часть Воронежского массива и частично его склоны. Оно представляет собой открытую гидрогеологическую структуру с интенсивным вертикальным водообменом и характеризуется достаточно сложным геологическим строением (несмотря на горизонтальное и субгоризонтальное залегание стратифицированной толщи осадочного чехла).

2. Установлено, что за последние годы среднегодовой приток к шахтному водоотливу изменялся в пределах 2150...2830 м³/ч, из которых порядка 300 м³/ч дренажных вод поступает из надкелловейского водоносного комплекса; около 1 500 м³/ч – из батского водоносного горизонта; 100 м³/ч – составляют притоки из девонских и руднокристаллических отложений; 250...930 м³/ч – атмосферные осадки.

3. В связи со значительными размерами карьерного поля Михайловского железорудного месторождения, а также для уменьшения объема вскрыши его осушение осуществляется комбинированно-поверхностным и подземным способами. Водоносные горизонты подкелловейского комплекса в карьере осушаются комбинированно системой насосных установок в карьере, для чего создана сеть подземных выработок и пробуренных из них восстающих дренажных скважин на все водоносные горизонты и дренажные узлы – подземный дренажный комплекс.

4. Общий объем подземного водоотлива складывается из подземных вод, поступающих из восстающих скважин и из трещинных зон кристаллических пород, а также из поверхностных вод. При этом наиболее водообильным является батский водоносный горизонт (до 77 % от объема всех подземных вод). В этой связи выполнен прогноз водопритокков из батского водоносного горизонта с учетом расширения и углубления чаши карьера. Для оценки и прогноза обводнения карьера из батских песков разработана численная модель геофильтрации района Михайловского железорудного месторождения.

5. Анализ перспективного развития фронта горных работ в карьере выявил, что существующая система осушения в целом может сохранять устойчивость определенное время. Исключением является северо-западный борт карьера, который на более поздних этапах отработки выйдет за пределы существующего дренажного контура некоторых подземных горных выработок ПДРК, что послужит причиной увеличения общего притока дренажных вод в карьер на 9 %.

6. Выполнено прогнозное моделирование с учетом сооружения дополнительного дренажного штрэка к границам горного отвода для размещения восстающих дренажных скважин на батские пески и с учетом того, что существующие дренажные сооружения (штрэки с восстающими скважинами) будут подработаны карьером и частично выведены из эксплуатации. Установлено при этом, что удельный приток на северо-западном борту карьера в результате сооружения дренажного штрэка у границ горного отвода уменьшится в 1,5 раза (с 1,2 до 0,8 м³/сут на 1 п. м. откоса).

7. Опираясь на результаты прогнозных расчетов, методами численного моделирования общего притока подземных вод в карьер обосновано необходимое количество и разработана схема расположения дренажных узлов восстающих дренажных скважин для обеспечения эффективного осушения карьера Михайловского железорудного месторождения вплоть до 2032 года.

Выводы

1. В статье приведены результаты исследования гидрогеологических условий района карьера Михайловского железорудного месторождения в связи с процессами его дренажа комбинированно-поверхностным и подземным способом. Результаты статистической обработки внушительного объема геолого-гидрогеологических материалов и прогнозного

гидрогеофильтрационного моделирования позволили обосновать и разработать схему расположения горных выработок с необходимым количеством дренажных узлов восстающих водопонижающих скважин ПДрК для обеспечения эффективного осушения карьера Михайловского железорудного месторождения при его развитии в северо-западном направлении вплоть до 2032 года.

2. Результаты исследований могут быть полезными при изучении и планировании эффективных дренажных мероприятий на карьере Лебединского железорудного месторождения (ЛГОК, КМА), подземном руднике Яковлевского месторождения богатых железных руд (ЯГОК, КМА), а также на прочих месторождениях полезных ископаемых с аналогичными или похожими геолого-гидрогеологическими условиями.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Железные руды КМА. Москва, 2001: 616. [Iron ores of the KMA / edited by V. P. Orlov, I. A. Shevryev, N. A. Sokolov. Moscow, 2001:616 (In Russ.)]
2. Железорудная база России. Москва, 1998: 842. [Iron ore base of Russia. Moscow, 1998: 842 (In Russ.)]
3. Дунаев ВА, Рягузов НТ, Серый СС. Структурное районирование Михайловского железорудного месторождения в связи с устойчивостью откосов действующего карьера *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 1996;6:14-20. [Dunaev VA, Ryaguzov NT, Sery SS. Structural zoning of the Mikhailovsky iron ore deposit in connection with the stability of the slopes of the operating quarry. *Mining information and analytical bulletin*. 1996;6:14-20 (In Russ.)]
4. Геология, гидрогеология и железные руды бассейна Курской магнитной аномалии (КМА): В 3 томах. Т. II: Гидрогеология и инженерная геология. Москва, 1972: 479. [Geology, hydrogeology and iron ores of the Kursk Magnetic Anomaly (KMA) basin: In 3 volumes. Vol. II: Hydrogeology and engineering geology. Moscow, 1972: 479 (In Russ.)]
5. Гидрогеология СССР. Т. IV: Воронежская и смежные области. Москва, 1971: 499. [Hydrogeology of the USSR. Vol. IV: Voronezh and adjacent regions. Moscow, 1971: 499 (In Russ.)]
6. Смольянинов ВМ. Подземные воды Центрально-Черноземного региона: условия их формирования, использование. Воронеж, 2003: 240. [Smolyaninov VM. Groundwater of the Central Black Earth Region: conditions of their formation, use. Voronezh, 2003: 240 (In Russ.)]
7. Пономаренко ЮВ. Способ осушения бортов глубоких карьеров с помощью систем комбинированных дренажных устройств. *Горный журнал*. 2014;7:52-4. [Ponomarenko YuV. Method of draining the sides of deep quarries using systems of combined drainage devices. *Mining Journal*. 2014;7:52-4 (In Russ.)]
8. Трубецкой КН, Волков ЮИ, Изотов АА и др. Осушение глубокозалегающих месторождений полезных ископаемых системами восстающих дренажных скважин – технология будущего. *Неделя горняка – 2006: сб. материалов*. Белгород, 2006: 175-84. [Trubetskoy KN, Volkov YuI, Izotov AA, et al. Drainage of deep-lying mineral deposits by systems of rising drainage wells – the technology of the future. *Miner's Week – 2006: collection of materials*. Belgorod, 2006:175-84 (In Russ.)]
9. Козуб АВ, Исмагилов РИ, Бадиев БП и др. Опыт освоения и осушения месторождения в сложных гидрогеологических условиях. *Горная промышленность*. 2019;5(147):12-4. [Kozub AV, Ismagilov RI, Badiev BP, et al. Experience in the development and drainage of a deposit in complex hydrogeological conditions. *Mining Industry*. 2019;5(147):12-4 (In Russ.)]
10. Трубецкой КН, Краснянский ГЛ, Хронин ВВ и др. Проектирование карьеров. 3-е изд., перераб. Москва, 2009: 696. [Trubetskoy KN, Krasnyansky GL, Khronin VV et al. Quarry design. 3rd ed., revised. Moscow, 2009:696 (In Russ.)]
11. Мироненко ВА, Мольский ЕВ, Румынин ВГ. Горнопромышленная гидрогеология. Москва, 1989: 287. [Mironenko VA, Molsky EV, Rumynin VG. Mining hydrogeology. Moscow, 1989: 287 (In Russ.)]
12. Еланцева ЛА, Зайцев ДА, Фоменко СВ. Гидрогеологические прогнозы в целях осушения месторождения алмазов им. В. Гриба. *Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов*. 2019;7(330):53-61. [Elantseva LA, Zaitsev DA, Fomenko SV. Hydrogeological forecasts for the purpose of draining the V. Grib diamond deposit. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Engineering of georesources*. 2019;7(330):53-61]
13. MODFLOW and Related Programs. URL: <https://www.usgs.gov/mission-areas/water-resources/science/modflow-and-related-programs>.
14. Harbaugh AW. MODFLOW-2005, the U.S. Geological Survey modular ground-water model – the Ground-Water Flow Process: U.S. Geological Survey Techniques and Methods. *Persistent*. URL: <http://pubsdata.usgs.gov/pubs/tm/2005/tm6A16>.
15. Anderson MP, Woessner WW, Hunt R. J. Applied Groundwater Modeling: Simulation of Flow and Advective Transport. 2nd ed. Amsterdam: Elsevier, 2015: 630.
16. Depner JS, Rasmussen T. C. Hydrodynamics of Time-Periodic Groundwater Flow: Diffusion Waves in Porous Media. *Geophysical Monograph Series* 224. New York: American Geophysical Union, 2017: 304.
17. Bastian P, Kraus J, Scheichl R, et al. Simulation of Flow in Porous Media Applications in Energy and Environment. *Radon Series on Computational and Applied Mathematics*. 2013;12:222.
18. Кушнерчук ВВ, Хаустов ВВ, Тюпин ВН и др. О проблеме эксплуатации восстающих дренажных скважин при осушении Михайловского месторождения (Курская магнитная аномалия). *Маркшейдерия и недропользование*. 2024;3:80-8. [Kushnerchuk VV, Khaustov VV, Tyupin VN, et al. On the problem of operation of rise-up drainage wells during drainage of the Mikhailovsky deposit (Kursk Magnetic Anomaly). *Mine surveying and subsoil use*. 2024;3: 80-8 (In Russ.)]
19. Кушнерчук ВВ, Хаустов ВВ, Ермолович ЕА и др. Влияние подработки горных выработок подземного дренажного комплекса на процессы осушения карьера Михайловского ГОКа им. А.В. Варичева (Курская магнитная аномалия). *Маркшейдерия и недропользование*. 2024;4:47-55. [Kushnerchuk VV, Khaustov VV, Ermolovich EA, et al. The influence of undermining of mine workings of the underground drainage complex on the drainage processes of the quarry of the Mikhailovsky GOK named after A. V. Varichev (Kursk Magnetic Anomaly). *Mine surveying and subsoil use*. 2024;4:47-55 (In Russ.)].

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ



Вячеслав Викторович Кушнерчук – аспирант, Белгородский государственный национальный исследовательский университет, 308015, г. Белгород, Российская Федерация, e-mail: 1415728@bsuedu.ru



Владимир Васильевич Хаустов – доктор геолого-минералогических наук, доцент, Белгородский государственный национальный исследовательский университет, 308015, г. Белгород, Российская Федерация, <http://orcid.org/0000-0002-1895-7367>, WoS Researcher ID: C-3838-2016, Scopus Author ID: 7003912446, e-mail: khaustov@bsuedu.ru



Людмила Анатольевна Семенова – кандидат педагогических наук, доцент, Юго-Западный государственный университет, 305040, г. Курск, Российская Федерация, <http://orcid.org/0000-0002-4816-101X>, e-mail: romahka31@yandex.ru



Александр Иванович Карнюшкин – кандидат технических наук, доцент, Московский государственный технический университет им. Н. Э. Баумана, 105005, г. Москва, Российская Федерация, <http://orcid.org/000-0001-5685-162X>, e-mail: him_expert@mail.ru



Владимир Викторович Симонян – доктор технических наук, доцент, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, 129337, г. Москва, Российская Федерация, <http://orcid.org/0000-0002-3224-9500>, WoS Researcher ID: AAV-8457-2020, e-mail: simonyan.vladimir@gmail.com

ABOUT THE AUTHORS

Vyacheslav V. Kushnerchuk – Postgraduate Student, Belgorod State National research university, 308015, Belgorod, Russian Federation, e-mail: 1415728@bsuedu.ru

Vladimir V. Khaustov – Dr. Sci. (Geol. & Mineral.), Associate Professor, Belgorod National Research University, 308015, Belgorod, Russian Federation, <http://orcid.org/0000-0002-1895-7367>, WoS Researcher ID: C-3838-2016, Scopus Author ID: 7003912446, e-mail: khaustov@bsuedu.ru

Lyudmila A. Semenova – Cand. Sci. (Pedagogy), Associate Professor, Southwestern State university, 305040, Kursk, Russian Federation, <http://orcid.org/0000-0002-4816-101X>, e-mail: romahka31@yandex.ru

Alexander I. Karnyushkin – Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor, Moscow State Technical University named after N. E. Bauman, 105005, Moscow, Russian Federation, <http://orcid.org/000-0001-5685-162X>, e-mail: him_expert@mail.ru

Vladimir V. Simonyan – Dr. Sci. (Eng.), Associate Professor, National Research Moscow State University of Civil Engineering, 129337, Moscow, Russian Federation, <http://orcid.org/0000-0002-3224-9500>, WoS Researcher ID: AAV-8457-2020, e-mail: simonyan.vladimir@gmail.com

Критерии авторства / Contribution:

В. В. Кушнерчук – написание текста статьи, анализ результатов исследования, выполнение работы по систематизации материала; В. В. Хаустов – постановка задачи, написание текста статьи; Л. А. Семенова – проведение полевых работ; А. И. Карнюшкин – генерация идеи исследования; В. В. Симонян – постановка задачи, анализ результатов исследования. / V. V. Kushnerchuk – writing the text of the article, analyzing the research results, performing work on systematizing the material; V. V. Khaustov – problem statement, writing the text of the article; L. A. Semenova – conducting field work; A. I. Karnyushkin – generating the research idea; V. V. Simonyan – problem statement, analysis of research results.

Конфликт интересов / Conflict of interest:

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

Информация о статье

Поступила в редакцию: 24.04.2025.

Поступила после рецензирования: 27.04.2025.

Принята к публикации: 03.05.2025.

Article info

Received: 24.04.2025.

Revised: 27.04.2025.

Accepted: 03.05.2025.

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ АВТОМАТИЗАЦИИ НА БЕЗОПАСНОСТЬ И ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ РАБОТ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ ПОДЗЕМНЫХ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК

А. Е. Карванен^{1✉}, А. Н. Анушенков², С. В. Анушенков³

¹ООО «Заполярная строительная компания», г. Норильск, Российская Федерация

²ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет», г. Красноярск, Российская Федерация

³АО «Сибирь-Полиметаллы», г. Рубцовск, Российская Федерация

✉ lex19-88@mail.ru

Аннотация. В современных условиях горнодобывающая промышленность сталкивается с такими вызовами, как рост требований к безопасности труда, повышение производительности и оптимизация затрат. В этой связи автоматизация и роботизация горнопроходческих работ представляют собой перспективное решение этих задач. Рассмотрены различные виды автоматизации от существующих программных продуктов до промышленного оборудования и автоматизированных систем, позволяющих специалистам контролировать разные процессы в подземных горных выработках. Представлен обзор лидирующих мировых компаний, которые производят различные системы автоматизации для подземных горных работ. Подчеркивается, что необходимо тщательно изучать как преимущества, так и риски автоматизации, чтобы принять обоснованное решение о ее внедрении.

Ключевые слова: автоматизация, роботизация, безопасность, производительность, горнопроходческие работы, подземные горные выработки

Для цитирования: Карванен АЕ, Анушенков АН, Анушенков СВ. Анализ влияния автоматизации на безопасность и производительность работ при строительстве подземных горных выработок. *Маркшейдерия и недропользование*. 2025;25(2):92-96. <https://doi.org/10.56195/20793332-2025-25-2-92-96>.

ANALYZING THE IMPACT OF AUTOMATION ON SAFETY AND PRODUCTIVITY IN THE CONSTRUCTION OF UNDERGROUND MINE WORKINGS

A. E. Karvanen^{1✉}, A. N. Anushenkov², S. V. Anushenkov³

¹Polar Construction Company, LLC, Norilsk, Russian Federation

²Siberian Federal University, Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education, Krasnoyarsk, Russian Federation

³Siberia-Polymetals, JSC, Rubtsovsk, Russian Federation

✉ lex19-88@mail.ru

Abstract. In today's environment, the mining industry is facing challenges such as increasing requirements for work safety, increasing productivity and optimizing costs. In this regard, automation and robotization of mining operations represent a promising solution to these challenges. The paper considers different types of automation - from existing software products, to industrial equipment and automated systems that allow specialists to control different processes in underground mine workings. In addition, the paper provides an overview of the world's leading companies that produce various automation systems for underground mining operations. The paper emphasizes that it is necessary to carefully study both the benefits and risks of automation in order to make an informed decision about its implementation.

Keywords: automation, robotization, safety, productivity, mining operations, underground mine workings

For citation: Karvanen AE, Anushenkov AN, Anushenkov SV. Analyzing the impact of automation on safety and productivity in the construction of underground mine workings. *Mine Surveying and Subsurface Use*. 2025;25(2):92-96. (In Russ.). <https://doi.org/10.56195/20793332-2025-25-2-92-96>.

Введение

На сегодняшний день горнодобывающая промышленность является одной из важнейших отраслей экономики любого государства [1, 2]. Вместе с тем она также является и одной из наиболее опасных отраслей. Уровень травматизма и гибели шахтеров остается высоким, что обусловлено в первую очередь тяжелыми и опасными условиями труда [3, 4].

Одним из перспективных направлений решения этой проблемы является автоматизация и роботизация горнопроходческих работ [5–8].

Полностью автоматизированные комплексы позволяют исключить рабочий персонал из опасных зон, повысить точность и качество выполнения работ, а также оптимизировать технологические процессы.

Цель исследования: провести комплексный анализ влияния автоматизации и роботизации на безопасность и производительность работ при проходке подземных горных выработок.

Методология

Представленная работа основана на анализе актуальной научно-технической информации в виде научных работ, статистических сборников (World Mining Data, Mining Risk Review), информационно-аналитических порталов (investing.com, companiesmarketcap.com, mining-technology.com), сайтов горнодобывающих компаний.

Результаты и обсуждение

Строительство подземных горных выработок является одним из наиболее опасных видов производственной деятельности. Горнорабочие постоянно подвергаются воздействию различных факторов риска, таких как обрушение породы, взрывы скопления газов, профессиональные заболевания (силикоз, вибрационная болезнь и др.). Эти опасности приводят к значительному количеству несчастных случаев, а также снижению производительности труда.

В последние годы автоматизация становится все более распространенным явлением в горнодобывающей промышленности. Автоматизированные системы используются для выполнения таких задач, как управление буровыми установками, транспортировка материалов и погрузка горной массы. Автоматизация может потенциально повысить безопасность и производительность работ при строительстве подземных горных выработок:

- за счет снижения воздействия на работников опасных факторов;
- повышения точности и эффективности выполнения работ;
- снижения утомляемости и ошибок работников.

В настоящее время уровень автоматизации горных работ в подземных условиях постоянно возрастает. Ниже представлен анализ влияния автоматизации на безопасность и производительность работ при строительстве подземных горных выработок. Рассмотрены крупнейшие разработчики и производители технологий и оборудования по автоматизации, позволяющие максимизировать безопасность и производительность труда.

Наиболее распространены следующие виды автоматизации производственных процессов:

1. Системы мониторинга горного массива – позволяют

прогнозировать горно-геологические опасности и принимать меры по их предотвращению. К данным системам могут относиться геодезические (для контроля деформаций и смещений горного массива), геофизические методы (контроль напряженно-деформируемого состояния массива), системы газового контроля (газоанализаторы и системы сигнализации), системы контроля крепи (например, датчики деформации крепи) и т. д. [9–12].

Данные системы мониторинга включают в себя различные методы и технологии, которые используются на предприятиях по всему миру (табл. 1).

Помимо рассмотренных систем, на предприятии может использоваться визуальный контроль в виде видеонаблюдения определенных участков (такие услуги, например, предоставляют шведская компания Axis Communications, китайская компания Hikvision, немецкая Mobotix AG и др.).

2. *Проектирование буровзрывных работ* – позволяет оптимизировать расположение и параметры взрывных шпуров (скважин), что в свою очередь приводит к более эффективному разрушению горного массива, снижению расхода взрывчатых материалов и, как следствие, повышению безопасности работ. В настоящее время существует большое количество автоматизированных программных продуктов и встраиваемых модулей для проектирования параметров буровзрывных работ (BlastMaker Underground, Datamine, Micromine, K-Mine, KAZBLAST UNDER, I-blast Ultimate и др.), которые помогают проектировщикам в достижении этих результатов [13].

3. *Автоматизация процессов бурения взрывных шпуров (скважин)* – обеспечивает высокую точность бурения, что в конечном счете повышает качество буровзрывных работ. В системе самоходных буровых установок оптимизируется скорость бурения, подача бурового раствора и других основных параметров, что в сравнении с ручным способом бурения является более производительным и безопасным [14].

Лидирующие компании, разрабатывающие современные буровые установки, представлены в таблице 2.

Таким образом, современные системы автоматизации бурения для подземных горных работ значительно повышают точность и производительность буровых операций. Такие установки, как Epiroc Boomer S2, Sandvik DD422i и Atlas Copco Simba E7, оснащены передовыми системами автоматического управления и мониторинга, что позволяет улучшить качество буровзрывных работ и обеспечить безопасность работников. Внедрение этих технологий на подземных рудниках по всему миру демонстрирует их эффективность и преимущества по сравнению с традиционными методами бурения.

4. *Автоматизация процессов отгрузки отбитой горной массы* – направлена на оптимизацию и повышение эффективности процесса транспортировки горной массы [15]. К данной категории относятся системы GPS-навигации, системы управления маршрутами, системы автоматической загрузки и разгрузки погрузочно-доставочных машин, системы управления скоростью и направлением движения конвейерных лент, системы управления дробилками, грохотами, и многое другое.

Краткий обзор лидирующих фирм по выпуску систем автоматизации отгрузки отбитой горной массы представлен в таблице 3.

Таблица 1 / Table 1

Основные существующие системы мониторинга горного массива / Main existing systems for monitoring the rock massif

Производитель / Manufacturer	Название продукта, область применения / Product name, field of application	Пример внедрения / Examples of implementation
Leica Geosystems, Швейцария	Leica Nova MS60 MultiStation – сочетает в себе функции тахеометра и сканера, обеспечивает высокоточный мониторинг с точностью до миллиметра	Широко используются на рудниках и угольных шахтах для контроля деформаций и смещений горного массива. Активно используется на рудниках Канады и Австралии
Trimble, США	Trimble S9 – высокоточный роботизированный тахеометр, используемый для мониторинга деформаций	Используется на крупных рудниках в Северной Америке и Австралии
Topcon Corporation, Япония	Topcon MS AXII – высокоточный роботизированный тахеометр с точностью измерения углов $\pm 0,5$	Используется на рудниках в Европе и Азии для контроля стабильности подземных выработок
Geosense Ltd, Великобритания	Geosense MPBX (Multipoint Borehole Extensometers) – многоточечные измерители деформаций для контроля изменений в подземных горных выработках	Используются на рудниках в Европе и Северной Америке для оценки стабильности горных выработок
Solexperts AG, Швейцария	Solexperts Multi-Point Borehole Extensometer (MPBX) – многоточечные измерители смещений для контроля за состоянием горных выработок	Используются на крупных подземных рудниках и при строительстве туннелей в Альпах
China Southwest Instrument Co., Ltd, Китай	SWSL-S Smart Weighing Sensor Load Cell – датчики нагрузки для измерения деформаций в креплениях	Используются на подземных рудниках в Китае и других странах Азии для мониторинга состояния крепи и предотвращения аварий
Becker Mining Systems, Германия	Becker Mining SMARTsense® – система датчиков деформации для мониторинга состояния крепи и прогнозирования ее обрушения	Используются на шахтах в США и Канаде, обеспечивая высокую степень безопасности и контроля
Drägerwerk AG & Co. KGaA, Германия	Dräger X-am 8000 – многоканальный портативный газоанализатор, способный одновременно контролировать до 7 газов, со встроенной системой GPS для отслеживания местоположения и передачи данных в реальном времени	Применяется на угольных шахтах Германии, Польши и Китая для предотвращения взрывов метана и контроля содержания других опасных газов

Таблица 2 / Table 2

Основные существующие системы автоматизации процессов бурения в подземных горных выработках / Main existing systems for automation of drilling processes in underground mine workings

Производитель / Manufacturer	Название продукта, область применения / Product name, field of application	Пример внедрения / Examples of implementation
Epiroc, Швеция	Epiroc Boomer S2 – самоходная буровая установка с двумя стрелами, автоматизированное управление бурением, система телеметрии	Эти и другие системы активно внедряются на различных подземных рудниках по всему миру. Например, данные буровые машины используются на рудниках в Австралии, Канаде, Чили, Финляндии, Швеции, Южной Африке, Норвегии, Канаде, России и многих других странах, предлагая передовые функции автоматического бурения и удаленного управления
Sandvik, Швеция	Sandvik DD422i – самоходная буровая установка с двумя стрелами, системой автоматического позиционирования и бурения, интегрированная с программным обеспечением	
Atlas Copco, Швеция	Atlas Copco Simba E7 – электрогидравлическая буровая установка, система автоматического бурения и мониторинга, удаленное управление	
Boart Longyear, США	Boart Longyear StopeMaster – самоходная буровая установка для подземного бурения, автоматизация подачи и управления буром	
Shandong Lingong Construction Machinery Co., Ltd., Китай	Lingong Drilling Rig LGMRT – буровая установка с автоматическим управлением, система контроля параметров бурения, телеметрия	

Таблица 3 / Table 3

Основные существующие системы автоматизации процессов отгрузки отбитой горной массы / Main existing systems of automation of the processes of shipment of broken-off rock mass

Производитель / Manufacturer	Название продукта, область применения / Product name, field of application	Пример внедрения / Examples of implementation
Siemens, Германия	Siemens MineOptimize – включает в себя системы мониторинга и управления конвейерными лентами, автоматизированные системы загрузки и разгрузки, а также интегрированные системы GPS-навигации для оптимизации маршрутов	Активно внедряются на различных рудниках по всему миру, обеспечивая эффективность и безопасность производства работ
ABB, Швейцария	ABB Ability™ Operations Management System – система управления и оптимизации производственными процессами, включая отгрузку горной массы	
Rockwell Automation, США	Rockwell Automation MineSuite – предоставляет широкий спектр функций, включая системы автоматической загрузки и разгрузки, управление скоростью и направлением движения конвейерных лент, а также интегрированные системы мониторинга и управления производственными процессами	
Schneider Electric, Франция	Schneider Electric EcoStruxure™ for Mining – интегрированная система управления и мониторинга с возможностью автоматизации	
Emerson, США	Emerson Mine Fleet Management System – система управления транспортным оборудованием и мониторинга производственных процессов	

Рассмотренные системы автоматизации отгрузки отбитой горной массы предоставляют комплексные решения для оптимизации процессов транспортировки на подземных горных предприятиях. Их внедрение помогает снизить затраты, повысить эффективность и обеспечить безопасность работ на рудниках и шахтах.

Эти и другие виды автоматизации производственных процессов играют одну из ключевых ролей в горной промышленности, поскольку отвечают таким современным вызовам, как:

- **экономическая эффективность** – возможность снижения себестоимости строительства за счет более детального расчета используемых материалов, оборудования и т. д.;

- **снижение негативного воздействия на окружающую среду** – современное оборудование разрабатывается с учетом необходимости снижения углеродного следа, что улучшает экологическую обстановку в районе строительства, а также приводит к снижению потребления воды, энергии и других ресурсов, что в совокупности положительно влияет на окружающую среду;

- **социальные аспекты производства** – автоматизация заменяет людей на потенциально опасных работах, тем самым снижая риски травматизма, плюс ко всему данная активно развивающаяся индустрия требует квалифицированных кадров, что в перспективе создает новые рабочие места.

Важно отметить, что автоматизация и роботизация процессов не должны рассматриваться как замена человеческому труду, поскольку на данном этапе развития науки и техники данные технологии должны использоваться лишь для повышения безопасности, производительности и эффективности работ. Также необходимо помнить, что автоматизированные системы могут быть уязвимы к сбоям, что может привести к авариям.

Заключение

1. Учитывая вышеизложенное, можно заключить, что внедрение автоматизации на любой стадии разработки месторождения от проектирования до непосредственных работ по извлечению полезного ископаемого оказывает положительное влияние на скорость выполнения работ, безопасность труда рабочих и повышение уровня производительности оборудования.

2. Внедрение автономных комплексов и современного программного обеспечения позволяет снизить уровень травматизма, повысить производительность труда и сократить расходы на содержание персонала.

3. Для эффективного внедрения таких современных технологий необходимо решить ряд первоочередных задач:

- наличия существенного стартового капитала (обеспечение финансирования);
- подготовки квалифицированных кадров для работы и дальнейшего обслуживания закупленного оборудования или программных продуктов;
- постоянного совершенствования системы управления.

Оптимизация технологических процессов за счет использования автоматизированных систем проектирования, управления и контроля приводит к сокращению времени простоев и увеличению скорости принятия ключевых решений.

Выводы

1. В статье приведены результаты комплексного анализа влияния автоматизации и роботизации на безопасность и производительность работ при проходке подземных горных выработок.

2. Показано, что автоматизация производственных процессов позволит значительно повысить безопасность и производительность труда при строительстве подземных горных выработок.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Кирсанов А.К. Роль стран Центральной Азии в мировой горнодобывающей промышленности: монография. Красноярск, 2022:220. [Kirsanov A.K. The Central Asian States' Role In The World Mining Industry: monograph. Krasnoyarsk, 2022:220 (In Russ.)]
2. Кондратьев В.Б. Роль горной промышленности в экономике. *Горная промышленность*. 2017;1(131):4-13. [Kondratiev V.B. The role of the mining industry in the economy. *Mining Industry*. 2017;1(131):4-13 (In Russ.)]
3. Вяльцев В.М., Меркулов А.В. К вопросу снижения травматизма шахтеров. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2000;3:191. [Vyaltsev V.M., Merkulov A.V. To the issue of reducing miners' traumatism. *Mining information-analytical bulletin*. 2000;3:191 (In Russ.)]
4. Пустовит А.Е., Козлов В.И. Прогнозирование травматизма среди шахтеров посредством анализа рисков травмирования. *Сиббезопасность-Спасиб*. 2013;1:234-8. [Pustovit A.E., Kozlov V.I. Prediction of injury rate among miners by analyzing injury risks. *Sibbezopasnost-Spassib*. 2013;1:234-8 (In Russ.)]
5. Опарин В.Н., Тапсиев А.П., Русин Е.П. и др. Мировой опыт автоматизации горных работ на подземных рудниках: монография. Новосибирск, 2007: 97 [Oparin V.N., Tapsiev A.P., Rusin E.P., et al. World experience of mining automation in underground mines: a monograph. Novosibirsk, 2007:97 (In Russ.)]
6. Громов Е.В. Цифровая трансформация технологических процессов подземных горных работ: ретроспективный анализ и мировой опыт. *Известия высших учебных заведений. Горный журнал*. 2020;8:90-108. [Gromov E.V. Digital transformation of technological processes in underground mining: retrospective analysis and world experience. *News of higher educational institutions. Mining magazine*. 2020;8:90-108. (In Russ.)]. DOI: 10.21440/0536-1028-2020-8-90-108.
7. Яценко С.Н., Яценко М.А., Николайчук Н.А. Применение системы автоматизации в добычных процессах на подземных горнорудных предприятиях. *International Scientific Review*. 2016;20(30):23-6. [Yatsenko S.N., Yatsenko M.A., Nikolaychuk N.A. Application of automation systems in mining processes at underground mining enterprises. *International Scientific Review*. 2016;20(30):23-6. (In Russ.)]
8. Лаптев В.В., Звонарева С.В. Расчет параметров транспортирования горной массы при автоматизированном планировании подземных горных работ. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2022;2:70-80. [Laptev V.V., Zvonareva S.V. Calculation of parameters for transporting rock mass during automated planning of underground mining. *Mining information and analytical bulletin*. 2022;2:70-80 (In Russ.)]. DOI 10.25018/0236_1493_2022_2_0_70.
9. Давкаев К.С., Ляховец М.В., Гулевич Т.М. и др. Автоматизированный информационно-управляющий комплекс гидро-газовых эндогенных шахтных процессов. *Научно-технологические разработки и использования минеральных ресурсов*. 2017;3:321-6. [Davkaev K.S., Lyakhovets M.V., Gulevich T.M., et al. Automated information and control complex of hydro-gas endogenous mine processes. *Science-intensive technologies for the development and use of mineral resources*. 2017;3:321-6. (In Russ.)]

10. Kirsanov AK, Karvanen AE, Anushenkov SV. A review of the methods of mine support protection from the effect of different types of corrosion. *News of higher educational institutions. Mining magazine*. 2023;4:9-15. DOI 10.21440/0536-1028-2023-4-9-15.
11. Коста ЭС, Матильде М, Фалькэо Невес П. Система мониторинга и управления горными работами при подземной добыче мрамора. *Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых*. 2008;1:101-10. [Costa ES, Matilde M, Falcao P Neves. Monitoring and management system for mining operations during underground marble mining. *Physico-technical problems of mineral development*. 2008;1:101-10 (In Russ.)]
12. Смирняков ВВ. Обучение методам безопасного ведения работ в подземных условиях с использованием многофункциональных систем безопасности. *Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук*. 2015;6-3:74-6. [Smirnyakov VV. Training in methods of safe work in underground conditions using multifunctional safety systems. *Current problems of the humanities and natural sciences*. 2015;6-3:74-6. (In Russ.)]
13. Кирсанов АК. Анализ программных продуктов для проектирования буровзрывных работ при отработке месторождений подземным способом. *Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле*. 2023;2:249-59. [Kirsanov AK. Analysis of software products for the design of drilling and blasting operations during underground mining. *News of Tula State University. Geosciences*. 2023. No. 2. pp. 249-259. (In Russ.)]
14. Русин ЕП, Фрейдин АМ, Тапсиев АП. Об автоматизации добычных процессов на подземных горнорудных предприятиях. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2007;16:235-44. [Rusin EP, Freidin AM, Tapsiev A.P. On the automation of mining processes at underground mining enterprises. *Mining Information and Analytical Bulletin*. 2007;16:235-44. (In Russ.)]
15. Павленко СВ, Котов АА. Система дистанционного управления погрузочно-доставочной машиной при поэтажном торцевом выпуске руды на подземном руднике «Удачный». *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2022;7/6:3-10. [Pavlenko SV, Kotov AA. The system of remote control of the loading and delivery machine at the underground end ore release at the Udachny underground mine. *Mining information and analytical bulletin*. 2022;7/6:3-10 (In Russ.)]. DOI 10.25018/0236_1493_2022_7_6_3.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

ABOUT THE AUTHORS



Алексей Евгеньевич Карванен –
заместитель главного инженера по
механизации и оборудованию ООО «Заполярная
строительная компания», 663310, г. Норильск,
Российская Федерация, e-mail: lex19-88@mail.ru

Aleksey E. Karvanen –
Deputy Chief Engineer for Mechanization and
Equipment, Polar Construction Company, LLC,
663310, Norilsk, Russian Federation,
e-mail: lex19-88@mail.ru



Александр Николаевич Анушенков –
д-р техн. наук, профессор, ФГАОУ ВО
«Сибирский федеральный университет»,
660041, г. Красноярск, Российская Федерация,
e-mail: AAnushenkov@sfu-kras.ru

Aleksandr N. Anushenkov –
Dr. Sci. (Eng.), Professor, Siberian Federal
University, 660041, Krasnoyarsk, Russian
Federation, e-mail: AAnushenkov@sfu-kras.ru



Сергей Викторович Анушенков –
главный механик АО «Сибирь-Полиметаллы»,
658210, Алтайский край, г. Рубцовск, Россий-
ская Федерация. e-mail: s.anushenkov@mail.ru

Sergey V. Anushenkov –
Chief Mechanical Engineer, Siberia-Polymetals,
JSC, 658210, Rubtsovsk, Altai Territory, Russian
Federation, e-mail: s.anushenkov@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.

Информация о статье

Поступила в редакцию: 20.01.2025.

Поступила после рецензирования: 07.03.2025.

Принята к публикации: 24.03.2025.

Article info

Received: 20.01.2025.

Revised: 07.03.2025.

Accepted: 24.03.2025.

ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ПРОХОДКИ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК В СЛОЖНЫХ ГОРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ

А. Н. Анушенков, Н. В. Фирсов✉

Сибирский Федеральный Университет, г. Красноярск, Российская Федерация

✉ kolya-firsov-86@mail.ru

Аннотация. В статье рассматриваются актуальные вопросы обеспечения безопасности проходки горных выработок в сложных горно-геологических условиях с применением усиленной комбинированной крепи (УКК) в грудь забоя и современных методов управления кровлей. Описаны основные преимущества применения УКК для укрепления забоя и предотвращения обрушений в неустойчивых горных массивах. Рассматриваются инновационные методы мониторинга и управления напряжением в кровле, а также использование гибридных крепежных систем для повышения устойчивости кровли в сложных условиях. Особое внимание уделяется практическому значению новых технологий для улучшения безопасности и эффективности горных работ. Описаны новые технологии управления кровлей, включая системы мониторинга и контроля напряжений, а также гибридные крепежные системы. Представлены результаты оценки эффективности данных методов в повышении безопасности и снижении рисков при проведении горных работ. Выявлено, что интеграция этих методов в горнодобывающую промышленность способствует снижению рисков и повышению производительности при проходке в сложных горно-геологических условиях.

Ключевые слова: горнодобывающая промышленность, безопасность горных выработок, усиленная комбинированная крепь, управление кровлей, мониторинг напряжений, укрепление забоя, сложные геологические условия, гибридные крепежные системы, предотвращение обрушений

Для цитирования: Анушенков АН, Фирсов НВ. Обеспечение безопасности проходки горных выработок в сложных горно-геологических условиях. *Маркшейдерия и недропользование*. 2025;25(2):97-104. <https://doi.org/10.56195/20793332-2025-25-2-97-104>.

ENSURING THE SAFETY OF MINING OPERATIONS IN DIFFICULT MINING AND GEOLOGICAL CONDITIONS

A. N. Anushenkov, N. V. Firsov✉

Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russian Federation

✉ kolya-firsov-86@mail.ru

Abstract. The article discusses current issues of ensuring the safety of mining operations in difficult mining and geological conditions using reinforced combined support (RCS) in the face area and modern methods of roof management. The main advantages of using RCS to strengthen the face and prevent collapses in unstable rock massifs are described. Innovative methods for monitoring and managing roof stress, as well as the use of hybrid fastening systems to improve roof stability in complex conditions are considered. Particular attention is paid to the practical significance of new technologies for improving the safety and efficiency of mining operations. New roof management technologies are described, including stress monitoring and control systems, as well as hybrid fastening systems. The results of assessing the effectiveness of these methods in improving safety and reducing risks during mining operations are presented. It is concluded that the integration of these methods into the mining industry helps to reduce risks and improve productivity when driving in complex geology.

Keywords: mining, mine safety, reinforced combined support (RCS), roof management, stress monitoring, face reinforcement, complex geological conditions, hybrid support systems, collapse prevention

For citation: Anushenkov AN, Firsov NV. Ensuring the safety of mining operations in difficult mining and geological conditions. *Mine Surveying and Subsurface Use*. 2025;25(2):97-104. <https://doi.org/10.56195/20793332-2025-25-2-97-104>.

Введение

Проходка горных выработок в условиях сложной геологии всегда сопряжена с высоким уровнем риска. Одной из главных проблем при разработке подземных месторождений является обеспечение безопасности работающих там людей, устойчивости выработки и минимизация последствий воздействия на горный массив.

При освоении месторождений сложные условия залегания полезных ископаемых сочетаются с большой глубиной горных разработок. В условиях сложной горно-геологической обстановки возникает задача обеспечения устойчивости крупных камерных выработок и выработок, находящихся в зонах взаимного воздействия [1].

Разработка месторождений в условиях сложной горно-геологической и горнотехнической обстановки может сопровождаться такими обстоятельствами как неблагоприятные климатические условия, наличие незащищённых пустот, создание искусственных закладочных массивов, высокая степень трещиноватости и фрагментации пород, а также зоны окисления руд, содержащих серу [2]. Всё это требует усиления рамных крепей для поддержания горных выработок в безопасном и рабочем состоянии.

Проектирование и эксплуатация крупногабаритных горных выработок подразумевает учёт процессов критического деформирования горного массива, происходящих вокруг этих выработок. Это необходимо для правильного определения последовательности строительства выработок, регулирования отставания от забоя и выбора оптимальных типов крепления [1].

Опыт ведения горных работ свидетельствует о том, что укрепление горных выработок является высокочрезвычайно трудоемким процессом. Стоимость укрепительных конструкций может составлять до половины общей стоимости выработок, так же, как и на их установку. Ухудшение горно-геологических условий напрямую увеличивает расходы на поддержание выемочных выработок, охраняемых традиционными методами и средствами [3].

При наличии неустойчивых пород, высоких напряжений и возможных выбросов из недр применяются современные методы укрепления горных выработок. Одним из таких методов является использование усиленной комбинированной крепи (УКК) в грудь забоя, которая обеспечивает немедленное укрепление забоя и повышает его устойчивость. Вместе с тем, новые методы управления кровлей и использование автоматизированных систем мониторинга позволяют значительно повысить безопасность и эффективность горных работ.

Проходка горных выработок в сложных геологических условиях требует внедрения инновационных методов, которые позволяют повысить безопасность и улучшить технологическую эффективность. Применение УКК в грудь забоя и новых методов управления кровлей, а также разработка нового паспорта крепления открывают новые возможности для оптимизации процесса проходки. Интеграция современных технологий, таких как системы мониторинга и новые материалы, минимизирует риски и снижает затраты, что делает данный подход перспективным направлением для горной промышленности.

Цель обзора – систематизация существующих данных о применении усиленной комбинированной крепи в сложных геологических условиях, оценка их эффективности и анализ

современных методов управления кровлей, направленных на снижение рисков обрушений и повышение устойчивости выработок.

Материалы и методы

Для выполнения данного обзора были проанализированы публикации, касающиеся вопросов безопасности горных работ, методов укрепления горных выработок, в частности, применения УКК, а также современных технологий управления кровлей. Источники информации включали статьи, опубликованные в международных и российских научных журналах, рецензируемые обзоры, монографии и отчёты по результатам горно-технических исследований. Основные поисковые базы данных включали Google Scholar, Scopus, Web of Science и Российскую электронную библиотеку (eLibrary).

Критерии отбора публикаций включали исследования, проводимые в период с 2000 по 2023 гг., в которых рассматривались вопросы проходки выработок в сложных геологических условиях с акцентом на повышение безопасности за счёт применения укрепляющих конструкций и управления напряжённым состоянием кровли. Были отобраны исследования, описывающие методы применения усиленной комбинированной крепи в грудь забоя, а также теоретические и практические работы по управлению напряжениями в горных породах.

Критериями отбора публикаций были установлены:

1. Статьи, содержащие экспериментальные данные о применении УКК.
2. Публикации, описывающие методы мониторинга состояния кровли.
3. Работы, посвящённые оценке рисков и безопасности проходки выработок в сложных геологических условиях.
4. Исследования, содержащие предложения по совершенствованию технологии крепи и управления кровлей.

Анализ источников позволил провести оценку эффективности применения УКК и методов управления кровлей в различных геологических условиях и сформировать общие выводы о текущем состоянии и перспективах развития этих технологий.

Результаты и обсуждение

Сложные геологические условия характеризуются наличием зон повышенного горного давления, трещиноватых и обводнённых пород, а также возможными зонами обрушения кровли [4]. Эти факторы создают необходимость использования инновационных решений для минимизации рисков и обеспечения устойчивости выработки на всех этапах её эксплуатации [5].

Главными рисками при проходке горных выработок в таких условиях являются:

- внезапные обрушения кровли;
- горные удары и выпирания пород;
- сдвиги пород в зоне забоя;
- подвижки кровли, вызывающие перекосы или обрушения крепи.

В подземных шахтах при проходке выработок в сложных горно-геологических условиях с нестабильными окружающими породами используются тяжёлые металлические рамные крепи, такие как СВП-22 и СВП-27, для обеспечения устойчивости выработок. Однако их установка в условиях шахт отличается высокой трудоемкостью и несет в себе определенные риски для безопасности.

В последние несколько десятилетий практически в каждой выемочной выработке при ее проходке обнаруживаются тектонические разрывы с амплитудами от 15 до 40 м, которые не были выявлены геологической разведкой. Разрывы со средними и малыми амплитудами представляют собой зоны сильного трещинообразования пород, которые располагаются вдоль разломов и могут достигать ширины до 20 м. В качестве непосредственной кровли чаще всего выступают тонкослоистые алевролиты, которые варьируются по устойчивости от очень неустойчивых до устойчивых. Около 20 % площади шахтного поля составляют участки с ложной кровлей толщиной от 0,2 до 0,5 м, а также с нестабильной непосредственной кровлей. Плитки алевролитов, формирующиеся на плоскостях ослабленных наслоений, могут иметь толщину до 3 см. [6]. Тонкоплитчатое состояние алевролитов приобретают в условиях отсутствия крепления или под воздействием горного давления, возникающего по контуру выработки. Толщина непосредственной кровли варьируется в пределах от 7 до 18 м.

Опираясь на данные визуальных и инструментальных наблюдений, специалисты предположили, что установка анкеров в приконтурной зоне горных пород способствует увеличению несущей способности кровли и боковых стенок выработки, что значительно снижает скорость и объем смещений непосредственной кровли, предотвращая её критическое сдвижение. В связи с этим рекомендуется использовать анкера винтового типа А20В, при креплении подготовительных выработок с полным заполнением шпура полимерным составом [7].

Инструментальные замеры, выполненные на шахте «Воргашорская» в сложных горногеологических условиях в выемочных выработках приконтурного породного массива, поддерживаемых за очистными забоями в период внедрения бесцеликовой технологии отработки столбов, проводимых как по падению, так и по простиранию пласта, показали, что смещения кровли в местах сопряжения вентиляционных и воздухоподающих выработок с очистными забоями всегда превышали проектные значения податливости крепи [8].

В исследовании Зуева и др. (2012) при разделении срока службы подготовительных выработок на пять этапов основная часть смещений боковых пород приходилась на те периоды, когда выработки находились в зонах влияния очистных работ. В эти периоды суммарные смещения кровли и почвы составляли до 65 % от общего объема смещений [3]. В более

чем половине случаев смещения кровли в два и более раза превышали расчетные показатели. В отдельных выработках величина опускания кровли достигала тройного значения паспортной податливости крепи.

На рис. 1 показана изменяющаяся форма контура выемочных выработок разной конфигурации за очистным забоем с учетом влияния выработанного пространства и близко расположенного тектонического разрыва (рис. 1а).

В процессе поиска более эффективных методов повышения устойчивости выемочных выработок, подверженных воздействию очистных работ, на шахте была внедрена комбинированная технология использования рамной и анкерной крепи. Для дальнейшего совершенствования технологии стабилизации выработок, с опорой на опыт применения рамно-анкерной крепи при подготовке и отработке выемочных столбов, крепление конвейерных выработок осуществлялось в два этапа. На первом этапе, при проведении выработки, устанавливали рамную крепь, а на втором этапе, на стадии отработки выемочного столба, на расстоянии 40 м впереди забоя лавы между рамами возводилась анкерная крепь. Разделение процессов крепления во времени и пространстве позволило улучшить эксплуатационные характеристики выработок позади лавы на 35 % по сравнению с использованием только рамной крепи [9]. Однако для повышения безопасности проходки выработок требуется применение более современных технологий управления породами, обеспечивающих контроль за состоянием горных пород в реальном времени.

Проходка горных выработок, особенно в условиях нестабильных пород и повышенного горного давления, традиционно выполняется с использованием временной крепи и технологий по усилению кровли [10]. Однако такие методы как временная крепь и установка анкерных систем часто сопряжены с проблемами в сложных геологических условиях. В частности, работы Gaofeng Song et al. (2017) подтверждают, что трещиноватые и обводненные породы создают дополнительные трудности для традиционных способов проходки, особенно в глубоких шахтах [11]. Это требует внедрения методов, обеспечивающих не только временную устойчивость, но и долговременную эффективность.

Сложные геологические условия характеризуются рядом факторов, которые значительно усложняют процесс проходки и требуют особых методов для предотвращения аварийных ситуаций.

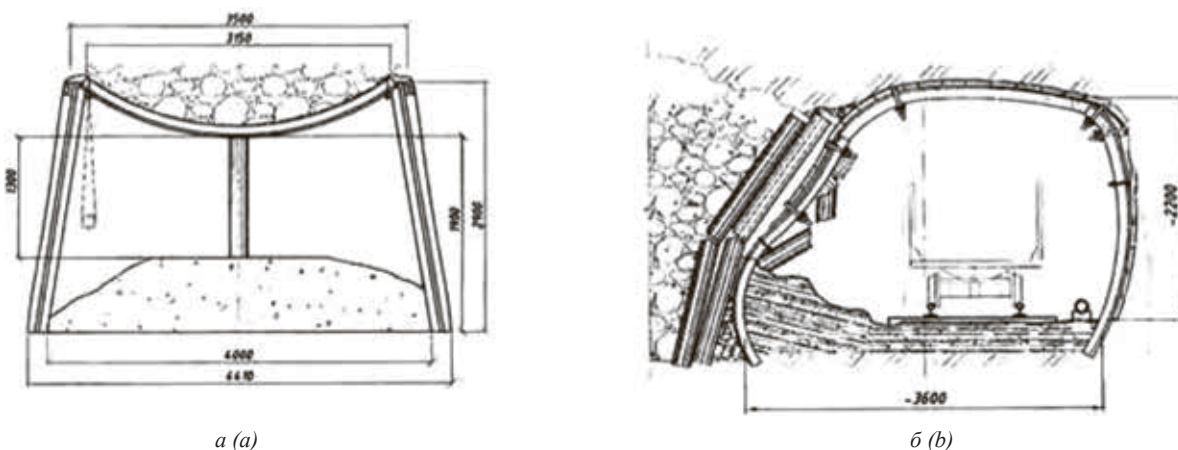


Рис. 1. Конфигурация изменения контура очистных забоев трапецевидной (а) и арочной (б) формы выемочных выработок /
Fig. 1. Configuration of the contour of the treatment faces of trapezoidal (a) and arched (b) excavation workings

К основным характеристикам таких условий относятся:

- *Высокое горное давление.* Увеличение давления в массиве горных пород может вызвать подвижки кровли и сдвиги пород, что приводит к нестабильности выработки.

- *Трещиноватость пород.* Зоны трещиноватости склонны к деформации под влиянием горных давлений, что повышает риск обрушений [12].

- *Обводненность пород.* Вода может усилить процессы эрозии и деформации, создавая дополнительные угрозы для устойчивости выработки [13].

Как показывает практика, традиционные методы проходки в таких условиях, включая использование стандартных видов крепи и временных поддержек, не всегда способны обеспечить достаточный уровень безопасности. Требуются более современные и адаптивные методы стабилизации забоя.

Исследования показывают, что одним из самых эффективных методов укрепления забоя в сложных геологических условиях является усиленная комбинированная крепь (УКК) (Экгардт и др., 2019) [14]. УКК представляет собой комплекс мер и конструкций, направленных на поддержание устойчивости горных пород непосредственно в зоне забоя и предотвращение их разрушения. Она включает в себя сочетание различных элементов крепежных систем, которые позволяют стабилизировать породы в зоне активной проходки и предотвращать обрушения. По сравнению с традиционными методами крепления, УКК обеспечивает более оперативную и эффективную защиту забоя, что значительно снижает вероятность возникновения аварийных ситуаций (Калмыков и др., 2015) [15].

УКК включает использование различных типов крепежных систем, таких как анкерные, рамные и сетчатые конструкции. Эти элементы могут комбинироваться для достижения максимальной устойчивости пород в зависимости от конкретных условий работы. Например, анкеры обеспечивают механическую фиксацию горного массива, а сетчатые и рамные элементы удерживают мелкие фрагменты породы от выпадения.

Основной задачей УКК в грудь забоя является оперативное укрепление породы в зоне непосредственного разрушения (забоя). Это предотвращает обрушения пород в момент проходки и снижает опасность для работников, которые занимаются буровыми и проходческими работами. В отличие от традиционных методов крепления, которые могут быть установлены только на определенном расстоянии от фронта работ, УКК используется прямо в грудь забоя, что обеспечивает максимальную защиту в зоне активных горных работ.

УКК особенно эффективна в условиях сложной геологии – в зонах с высокой тектонической активностью, слабыми породами или сильными сдвигами горной поверхности. В таких ситуациях комбинированные системы крепи помогают не только стабилизировать породы, но и предотвращать динамические разрушения горного массива.

Следует отметить, что УКК может быть адаптирована под конкретные геологические условия и типы пород. Благодаря этому система обеспечивает гибкость и универсальность при различных сложных условиях, когда требуется немедленная стабилизация и укрепление горных пород.

В ряду преимуществ применения УКК можно назвать:

- *повышение уровня безопасности:* УКК снижает риск обрушений и выбросов породы, что значительно улучшает

условия труда для шахтёров и персонала, работающего на проходке. (Исследование методов укрепления горных выработок в угольных шахтах показало, что применение УКК снижает частоту обрушений на 25-30 %, а также увеличивает продолжительность работы горных выработок без аварий (Тимошенко, 2018) [16].

- *увеличение производительности:* оперативное укрепление забоя позволяет продолжать проходческие работы без длительных перерывов на установку крепи, что ускоряет темпы выполнения работ;

- *снижение затрат:* применение УКК позволяет снизить расходы на ликвидацию последствий обрушений и уменьшить затраты на аварийные работы.

Кроме того, данный метод основан на компенсации горных давлений в зоне забоя и перераспределении напряжений в массиве пород, что предотвращает разрушения кровли и стенок выработки [17].

По данным исследований А.М. Грибанова, применение УКК позволяет стабилизировать выработку и снизить риск аварий на всех этапах проходки [18]. Компенсационные системы крепи включают элементы, способные изменять свои параметры в зависимости от динамики горных давлений, что делает их эффективными в условиях нестабильных пород.

Одной из ключевых задач при проходке выработок в условиях сложных геологических структур является управление кровлей, поскольку кровля имеет тенденцию к деформациям и обрушениям. Традиционные методы управления кровлей, такие как анкерные системы и рамные крепления, обеспечивают базовую защиту, однако в условиях динамически меняющихся нагрузок они могут оказаться недостаточно эффективными (Zhang et al., 2020) [19].

Современные методы управления кровлей включают использование гибридных крепежных систем, состоящих из комбинации жёстких и гибких элементов, что позволяет значительно увеличить устойчивость кровли в зонах с высоким уровнем напряжений [20]. Такие системы способны адаптироваться к изменениям в нагрузках и предотвращать внезапные разрушения.

Также важным элементом является применение мониторинга состояния кровли с помощью датчиков напряжений, установленных по периметру выработки. Эти системы позволяют в реальном времени отслеживать изменения в кровле и принимать меры для укрепления наиболее опасных участков до момента их разрушения (Бейсембаев и др., 2019) [21]. Это значительно повышает безопасность работ и снижает риск аварий.

УКК как технологическое решение для укрепления забоя горной выработки на ранних стадиях проведения работ особенно важна в условиях сложных геологических разломов, деформаций горных пород или повышенной сейсмической активности. УКК работают по принципу укрепления горного массива вблизи места разрушения породы, создавая защитную оболочку, которая препятствует обрушению забоя и минимизирует воздействие внешних факторов на него. Данный метод также позволяет сократить время на поддержание выработки, так как УКК работают быстро и эффективно в сравнении с традиционными методами укрепления горной породы. В сложных геологических условиях такие системы могут стать ключевым элементом безопасности, обеспечивая как сохранение стабильности забоя, так и повышение скорости проходки.

Основная цель УКК – снижение напряжений в массиве пород и компенсация давления, возникающего при углублении забоя. Это достигается за счет использования крепи с регулируемыми параметрами, которая адаптируется к изменениям горного давления и динамике пород. Вероятность внезапных обрушений кровли снижается за счет компенсации горных давлений и перераспределения напряжений в массиве. Компенсационный крепеж позволяет обеспечить стабильность забоя на протяжении всей проходки, что особенно важно в условиях неустойчивых пород. Регулируемая система крепления легко адаптируется к изменяющимся условиям, обеспечивая безопасность даже в самых сложных зонах выработки. УКК особенно эффективно при проходке в зонах трещиноватых пород и в условиях высоких напряжений, где традиционные методы крепления не дают удовлетворительных результатов.

Как уже было сказано выше, особое внимание и контроля в сложных условиях требует кровля горных выработок, поскольку именно она часто является источником основных угроз для безопасности шахтёров и оборудования. Традиционные методы управления кровлей предполагают крепление с помощью анкерных систем, рамных и болтовых креплений, что часто оказывается недостаточно эффективным в условиях сложной геологии, требуются новые технологии, более адаптивные и эффективные.

В настоящее время существуют определенные трудности при обосновании безопасной работы рудника, связанные с тем, что условия разработки существенно меняются по мере увеличения глубины горных работ. Оценка устойчивости на больших глубинах включает анализ напряженно-деформированного состояния как массива, так и крепи крупных выработок, а также взаимовлияния различных выработок в слабом раздробленном массиве. При этом необходимо учитывать влияние постоянно действующих гравитационных и тектонических напряжений, которые превышают предел прочности горных пород.

В связи с этим были разработаны новые подходы к управлению кровлей, направленные на повышение безопасности и снижение затрат на проведение выработок.

Так, в исследовании Г.С. Жетесовой и др. описаны новые технологии камерной выемки нарушенных запасов твердых полезных ископаемых с применением подвижных крепей [22]. Процесс выемки осуществляется короткими заходками от основного штрека, где в забое и подготовительных выработках используется поворотный конвейер с изменением направления движения камеры при обратном ходе. Эти методы позволяют уменьшить потери минералов и адаптировать схемы крепления в зависимости от действующего горного давления. Представленная модель учитывает увеличивающееся сопротивление пород при их деформации, определяемое приведенным модулем упругости, а также активные нагрузки, рассчитанные исходя из работы предохранительных клапанов гидростоек. Исследование демонстрирует, что, изменяя степень распора секций крепи, можно регулировать состояние забоя и уступа, способствовать его контролируемому обрушению и обеспечивать безопасность работников. В случае применения технологии с выпуском потолочины возможна эффективная работа выдвижных механизмов, обеспечивающих дробление и выпуск минералов уступа при защите от обрушенных пород.

Также представлен вариант, при котором вся камера мо-

жет смещаться в сторону без изменения ширины. Камера может иметь ширину до 20 м, а длина заходки составлять 30-40 м, что упрощает контроль над кровлей и снижает потери угля в целиках.

На рис. 2 показано сравнение вариантов обхода нарушений.

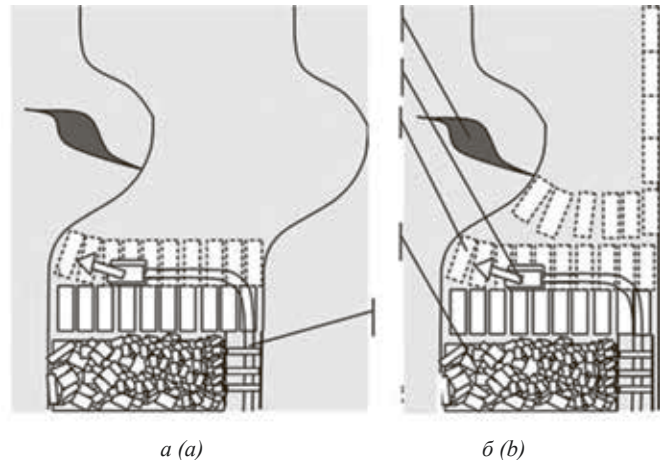


Рис. 2. Сравнение вариантов обхода нарушений: а - без изменения ширины камеры; б - с изменением ширины камеры /

Fig. 2. Comparison of circumvention options for violations when the width of the chamber does not change (a) and changes (b) up the levels

Воздействие сопротивления крепи на положение уступа варьируется и определяется такими факторами, как состав пород и структура горного массива в зоне забоя, в связи с чем управленческие решения должны приниматься индивидуально на каждом этапе продвижения. Методы управления зависят от текущего состояния массива, и при наличии аномалий может возникнуть необходимость в значительном изменении подходов, что моделируется с помощью специализированного программного обеспечения. Возможность регулирования напряженно-деформированного состояния (НДС) уступа и призабойной части пласта за счет распора крепи была подтверждена. Однако степень такого воздействия следует оценивать в зависимости от конкретных условий.

В частности, можно использовать современные системы мониторинга и управления напряжением в кровле. Такие системы, оснащённые датчиками и автоматизированными механизмами, позволяют в реальном времени отслеживать изменения в структуре горного массива и принимать меры по предупреждению обрушений. В условиях сложной геологии эти системы могут выявлять зоны повышенной опасности задолго до появления трещин или разрушений, что позволяет заблаговременно укрепить участок.

Другим перспективным направлением является применение гибридных крепежных систем, которые сочетают в себе традиционные методы управления кровлей и современные технологии укрепления. Такие системы могут быть выполнены с использованием композитных материалов или гибких конструкций, способных выдерживать сильные динамические нагрузки и адаптироваться под меняющиеся условия горного массива.

Так, использование в процессе крепления новых материалов с повышенной прочностью и устойчивостью к коррозии позволяет значительно увеличить долговечность и устойчивость крепежных элементов. Метод активного управления кровлей, основанный на контроле за состоянием кровли с

использованием систем мониторинга, которые анализируют деформации и подвижки пород в реальном времени, с помощью данных от датчиков позволяет оперативно принимать меры по усилению крепи или изменению схемы управления кровлей.

Также важен паспорт крепления, в котором регламентированы не только типы и параметры крепи, но и последовательность операций по управлению кровлей в различных геологических условиях. Паспорт крепления разрабатывается с учетом локальных условий и динамических изменений в породах [23]. Основной целью разработки паспорта крепления является обеспечение комплексного подхода к управлению кровлей и оптимизация всех этапов крепежных работ. Он включает в себя детализированные схемы установки крепежа, рекомендации по применению УКК и активных методов управления кровлей и протоколы мониторинга состояния кровли и крепи.

Применение новых методов управления кровлей и использование УКК в грудь забоя имеют важное значение не только с точки зрения повышения безопасности, но и в плане увеличения эффективности горных работ. Проходка выработок в сложных геологических условиях часто сопряжена с большими затратами времени и ресурсов на обеспечение безопасности. Новые технологии позволяют значительно снизить эти затраты, при этом обеспечивая более высокий уровень защиты.

Одним из ключевых преимуществ является интеграция этих решений в систему управления рисками на шахте. Системы мониторинга и автоматизированные крепежные комплексы могут быть интегрированы с общими системами безопасности предприятия, что позволит не только предсказывать возможные аварии, но и оперативно реагировать на возникающие угрозы [24].

Также важно особо подчеркнуть, что в условиях увеличения глубины проходки и перехода к более сложным условиям добычи полезных ископаемых, безопасность работников становится вопросом первостепенной важности. Технологии, такие как УКК и новые методы управления кровлей, открывают перспективы для более безопасного и продуктивного освоения подземных ресурсов, что имеет значительное социальное и экономическое значение.

Интеграция современных технологий и материалов в традиционные процессы проходки горных выработок позволяет не только повысить безопасность, но и улучшить общую технологическую эффективность. Применение УКК в сочетании с новыми методами управления кровлей позволяет:

- минимизировать аварийные ситуации;
- сократить время на ремонт крепи и устранение обрушений;
- снизить затраты на материалы за счет более рационального их использования;
- повысить скорость проходки за счет стабилизации кровли и забоя.

При внедрении новых технологий также возникают определенные риски, связанные с недостатком опыта их использования в конкретных условиях или неправильной настройкой систем мониторинга. Поэтому важно учитывать индивидуальные особенности каждого объекта и проводить тщательные предварительные исследования перед применением инновационных решений.

Внедрение предложенных методов и технологий может

быть реализовано на различных этапах горных работ, включая проектирование, подготовку и непосредственную проходку выработок. Рекомендации по использованию УКК и новых методов управления кровлей могут быть включены в стандарты безопасности горных работ, что позволит унифицировать подходы и повысить общий уровень безопасности проходки горных выработок.

Несмотря на успехи в применении УКК и новых методов управления кровлей, остаются вопросы, связанные с их широкомасштабным внедрением и адаптацией к различным типам пород и горных выработок. Исследования показали, что дальнейшее развитие технологий должно быть связано с интеграцией автоматизированных систем мониторинга с крепежными системами, что позволит своевременно обнаруживать потенциальные проблемы и оперативно на них реагировать [25].

Кроме того, перспективным направлением является разработка новых материалов для гибридных крепей, которые смогут лучше адаптироваться к динамическим нагрузкам и обеспечивать большую долговечность конструкции. Это позволит снизить эксплуатационные затраты и повысить уровень безопасности.

Заключение

1. В современном мире с ростом потребностей в минеральных ресурсах и расширением горнодобывающей промышленности в более труднодоступные зоны, вопросы безопасности при проведении выработок становятся первостепенными. Основная задача заключается в обеспечении устойчивости горных массивов и защиты людей, работающих на проходке.

2. Безопасность проходки горных выработок в сложных геологических условиях зависит от применения современных методов укрепления забоя и управления кровлей. УКК в грудь забоя и новые методы мониторинга и управления напряжением в кровле позволяют не только повысить безопасность работы шахтеров, но и увеличить эффективность проведения горных работ. Внедрение этих решений в горнодобывающую промышленность имеет важное значение для обеспечения устойчивого развития отрасли и сохранения жизни и здоровья работников.

3. Проходка горных выработок в сложных геологических условиях требует применения современных технологий для обеспечения безопасности и устойчивости. Применение усиленной комбинированной крепи (УКК) в грудь забоя и новых методов управления кровлей демонстрирует высокую эффективность в снижении рисков обрушений и повышении производительности работ.

4. Введение автоматизированных систем мониторинга состояния кровли и использование гибридных крепежных систем открывают новые перспективы для улучшения безопасности горных работ. Однако дальнейшие исследования необходимы для адаптации этих технологий к различным геологическим условиям и повышения их эффективности на практике.

Выводы

1. Основной задачей УКК в грудь забоя является оперативное укрепление породы в зоне непосредственного разрушения (забоя). Это предотвращает обрушения пород в момент проходки и снижает опасность для работников, которые занимаются буровыми и проходческими работами. В отличие от традиционных методов крепления, которые могут быть

установлены только на определённом расстоянии от фронта работ, УКК используется прямо в грудь забоя, что обеспечивает максимальную защиту в зоне активных горных работ.

2. Результаты исследований могут быть полезными при обеспечении безопасности проходки горных выработок в сложных горно-геологических условиях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Каюмова АН, Балеке АЕ, Харисов ТФ. Оценка безопасности проходки сближенных капитальных камерных выработок в сложных горно-геологических и геотехнических условиях. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2022;7:131–47. [Kayumova AN, Balek AE, Kharisov TF. Assessment of the safety of driving closely spaced capital chamber workings in complex mining, geological and geotechnical conditions. *Mining information and analytical bulletin*. 2022;7:131–47 (In Russ.)]. https://doi.org/10.25018/0236_1493_2022_7_0_131.
2. Шапошник ЮН, Неверов АА, Неверов СА, и др. Оценка влияния накопившихся пустот на безопасность доработки Артемьевского месторождения. *Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых*. 2017;3:108–18. [Shaposhnik YuN, Neverov AA, Neverov SA, et al. Assessment of the impact of accumulated voids on the safety of mining the Artemyevsky deposit. *Physical and technical problems of mineral development*. 2017;3:108–18 (In Russ.)].
3. Зуев ВА, Янко ИВ, Погудин ЮМ, и др. Применение конструкций крепи подготовительных выработок активного воздействия на кровлю в сложных горно-геологических условиях. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2012;8:27–34. [Zuev VA, Yanko IV, Pogudin YuM, et al. Application of support structures for development workings with active impact on the roof in complex mining and geological conditions. *Mining information and analytical bulletin*. 2012;8:27–34 (In Russ.)].
4. Черняк ИЕ, Бурчаков ЮМ. Управление горным давлением в подготовительных выработках глубоких шахт. 1984: 303. [Chernyak I.Ye., Burchakov Yu.M. Management of rock pressure in development workings of deep mines. 1984: 303 (In Russ.)].
5. Трубецкой КН, Галченко ЮП. Геоэкология освоения недр и экогеотехнологии разработки месторождений. 2015: 360. [Trubetskoy K.N., Galchenko Yu.P. Geoeology of subsoil development and ecogeotechnology of deposit development. 2015: 360 (In Russ.)].
6. Технично-экономический расчёт вскрытия и подготовки II горизонта шахты «Воргашорская» ПО «Воркутауголь». т. 1, кн.1. ГИПРО-ШАХТ. 1988. (внутренняя документация компании). [Technical and economic calculation of opening and preparation of the 2nd horizon of the Vorgashorskaya mine of the Vorkutaugol Production Association. Vol. 1, Book 1. GIPROSHAKHT. 1988 (internal documentation of the company) (In Russ.)].
7. Технологические схемы проведения выработок при многоштрековой подготовке выемочных участков на шахтах ОАО «Воркутауголь». СПГИ (ТУ) «Воркутинский горный институт». Воркута, 2007. (внутренняя документация компании). [Technological schemes for conducting workings during multi-entry preparation of extraction sections in the mines of ОАО Vorkutaugol. SPGGI (TU) Vorkuta Mining Institute. Vorkuta, 2007. (internal documentation of the company) (In Russ.)].
8. Руководство по расчёту параметров крепления сопряжений лав с примыкающими выработками при применении стоечной и анкерной крепи на шахте «Воргашорская». ВНИМИ, 1998 (внутренняя документация компании). [Guidelines for calculating the parameters of fastening the junctions of longwall faces with adjacent workings using rack and anchor support at the Vorgashorskaya mine. VNIMI, 1998. (internal documentation of the company) (In Russ.)].
9. Еременко ВА, Лушников ВН, Сэнди М, и др. Обоснование и выбор технологии проведения и способов крепления горных выработок в неустойчивых горных породах на глубоких горизонтах Холбинского рудника. *Горный журнал*. 2013;7:59–66. [Eremenko VA, Lushnikov VN, Sandy M, et al. Justification and selection of technology for conducting and methods of supporting mine workings in unstable rocks at deep horizons of the Kholbinsky mine. *Mining Journal*. 2013;7:59–66 (In Russ.)].
10. Dyomin V, Batyrkhanova AT, Tomilov A, et al. Developing technological schemes of driving workings with controlled resistance of contours. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*. 2019;3:22–8. <https://doi.org/10.29202/nvngu/2019-3/2>.
11. Song G, Chugh YP, Wang J. A numerical modelling study of longwall face stability in mining thick coal seams in China. *International Journal of Mining and Mineral Engineering*. 2017;8(1):35–55. <https://doi.org/10.1504/IJMMME.2017.10003216>.
12. Говорухин ЮМ, Риб СВ, Никитина АМ, и др. Моделирование численными методами процессов обрушения пород кровли. *Горный журнал*. 2019;4:23–6. [Govorukhin YuM, Rib SV, Nikitina AM, et al. Numerical modeling of roof rock collapse processes. *Mining Journal*. 2019;4:23–26 (In Russ.)]. <https://doi.org/10.17580/gzh.2019.04.05>.
13. Ройтер М, Крах М, Кислинг У, и др. Зональная дезинтеграция горных пород вокруг очистных выработок. *Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых*. 2015;2:46–52. [Reuter M, Krach M, Kisling U, et al. Zonal disintegration of rocks around stopes. *Physical and technical problems of mineral development*. 2015;2:46–52 (In Russ.)].
14. Экгардт ВИ, Кравчук ИЛ, Неволлина ЕМ. Отечественный опыт работы без смертельных травм на угледобывающем предприятии. *Безопасность труда в промышленности*. 2019;7:67–73. [Eckhardt VI, Kravchuk IL, Nevolina EM. Domestic experience of work without fatal injuries at a coal mining enterprise. *Occupational Safety in Industry*. 2019;7:67–73 (In Russ.)]. <https://doi.org/10.24000/0409-2961-2019-7-67-73>.
15. Калмыков ВН, Латкин ВВ, Неугомонов СС, и др. Промышленные испытания новых видов крепи при строительстве горных выработок на рудниках Уральского региона. *Уральский промышленник*. 2015;1:4–8. [Kalmykov VN, Latkin VV, Neugomonov SS, et al. Industrial testing of new types of support in the construction of mine workings in the Ural region. *Ural Industrialist*. 2015;1:4–8 (In Russ.)].
16. Тимошенко АИ. Экономическое развитие Сибири как результат государственной стратегии, направленной на индустриальную модернизацию СССР. *Историко-экономические исследования*. 2018;19(1):91–118. [Timoshenko AI. Economic development of Siberia as a result of the state strategy aimed at industrial modernization of the USSR. *Historical and economic studies*. 2018;19(1):91–118 (In Russ.)].
17. Писаренко ПИ. Строительство уклона в сложных геодинамических условиях шахты «Скалистая» ЗФ ПАО «ГМК «Норильский никель» со специальной частью «Повышение надежности металлической арочной крепи [Электронный ресурс]: дипломный проект специалиста: 21.05.04. Красноярск: СФУ, 2016. URI: <https://elib.sfu-kras.ru/handle/2311/27373> [Pisarenko, Petr Ivanovich. Construction of an incline in complex geodynamic conditions of the Skalista mine, ZF of PAO MMC Norilsk Nickel, with a special part “Improving the reliability of metal arch support [Electronic resource]: specialist’s diploma project: 21.05.04. Krasnoyarsk: SFU, 2016. URI: <https://elib.sfu-kras.ru/handle/2311/27373>].
18. Грибанов АМ. «Обеспечение безопасности при ведении основных технологических процессов на шахте «Березовская»: дипломный проект; Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ), Юргинский технологический институт (филиал) ТПУ (ЮТИ ТПУ); Томск, 2016. Электронный ресурс: <http://earchive.tpu.ru/handle/11683/29600> [Gribanov AM. “Ensuring safety during the main technological processes at the Berezovskaya mine”: diploma; National Research Tomsk Polytechnic University (TPU), Yurginsky Technological Institute (branch) of TPU (UTI TPU). Tomsk, 2016. Electronic resource: <http://earchive.tpu.ru/handle/11683/29600>].

19. Yang S, Li Q, Yue H, et al. Study on roof deformation and failure law of close distance coal seams mining based on digital image correlation. *Experimental Techniques*. 2024;48(6):1-22. <https://doi.org/10.1007/s40799-024-00717-w>.
20. Wang P, Nong Zh, Kan J, et al. Instability mode and control technology of surrounding rock in composite roof coal roadway under multiple dynamic pressure disturbances. *Geofluids*. 2022;2022(1):8694325. <https://doi.org/10.1155/2022/8694325>.
21. Бейсембаев КМ, Малыбаев НС, Тутанов СК, и др. Разработка модели лавы для системы управления механизированной крепью с обратной связью. *Горный журнал*. 2019;8:38-43. [Beisembaev KM, Malybaev NS, Tutanov SK, et al. Development of a longwall model for a mechanized support control system with feedback. *Mining Journal*. 2019;8:38-43 (In Russ.)]. <https://doi.org/10.17580/gzh.2019.08.07>.
22. Жетесова ГС, Бейсембаев КМ, Нокина ЖН. Моделирование камерной выемки с уступной формой забоя. *Уголь*. 2021;1:14-20. [Zhetesova GS, Beisembaev KM, Nokina ZhN. Modeling of chamber mining with a stepped face shape. *Coal*. 2021;1:14-20 (In Russ.)]. <https://doi.org/10.18796/0041-5790-2021-1-14-20>.
23. Бейсембаев КМ, Жетесова ГС, Малыбаев НС, и др. Евразийский патент № 031964 В1. Секция шагающей крепи. Патентообладатель Бейсембаев К.М. 2019. Бюл. 3. [Beisembaev KM, Zhetesova GS, Malybaev NS, et al. Eurasian Patent No. 031964 B1. Walking support section. Patent holder Beisembaev K.M. 2019. Bulletin 3 (In Russ.)].
24. Жетесова ГС, Бейсембаев КМ, Нокина ЖН, и др. Программирование, управление и цифровые модели забоев газозольных шахт. 2020: 176. [Zhetesova GS, Beisembaev KM, Nokina ZhN, et al. Programming, control and digital models of coal and gas mine faces. 2020: 176 (In Russ.)].
25. Peter K, Moshood O, Akinseye PO, et al. An overview of the use of rockbolts as support tools in mining operations. *Geotechnical and Geological Engineering*. 2022;40:1637-61. <https://doi.org/10.1007/s10706-021-02005-5>.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Александр Николаевич Анушенков -

доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой, Сибирский Федеральный Университет, 660041, г. Красноярск, Российская Федерация, e-mail: AAnushenkov@sfu-kras.ru

Николай Викторович Фирсов -

аспирант, Сибирский Федеральный Университет, 660041, г. Красноярск, Российская Федерация, e-mail: kolya-firsov-86@mail.ru

ABOUT THE AUTHORS

Alexander N. Anushenkov -

Dr. Sci. (Eng.), Professor, Head of Department, Siberian Federal University, 660041, Krasnoyarsk, Russian Federation, e-mail: AAnushenkov@sfu-kras.ru

Nikolay V. Firsov -

Graduate student, Head of Department, Siberian Federal University, 660041, Krasnoyarsk, Russian Federation, e-mail: kolya-firsov-86@mail.ru

Критерии авторства / Contribution:

Фирсов Н. В. - разработал основную идею исследования, провел аналитическую часть и подготовил черновик статьи; Анушенков А. Н. - обеспечил методологическую поддержку, провел научное редактирование и осуществил общее руководство проектом. / Firsov N. V. - developed the main idea of the study, conducted the analytical part and prepared a draft of the article; Anushenkov A. N. - provided methodological support, conducted scientific editing and carried out the overall management of the project.

Конфликт интересов / Conflict of interest:

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

Информация о статье

Поступила в редакцию: 11.02.2025.

Поступила после рецензирования: 18.03.2025.

Принята к публикации: 01.05.2025.

Article info

Received: 11.02.2025.

Revised: 18.03.2025.

Accepted: 01.05.2025.

СТТ ЭХРО

ОСНОВА ВАШЕГО УСПЕХА

Главная выставка строительной
техники и технологий в России

27–30 мая 2025

Крокус Экспо, Москва



Разделы выставки:

- Строительная техника и транспорт
- Производство строительных материалов
- Добыча, обогащение и транспортировка полезных ископаемых
- Запчасти и комплектующие для машин и механизмов. Смазочные материалы

Организатор

**Σ SIGMA
ЭХРО**

При поддержке

КРОКУС ЭКСПО
Международный выставочный центр

0+



ctt-expo.ru



XX-ая МЕЖДУНАРОДНАЯ ВЫСТАВКА
ТЕХНОЛОГИЙ И ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ГОРНО-МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА
И РАЦИОНАЛЬНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НЕДР

ufi
Approved
Event



Mining Week

KAZAKHSTAN'2025

24-26.06.2025

[КАРАГАНДА] [КАЗАХСТАН]



ТОО «TNT EXPO»

+7 (727) 344 00 63

mintek@tntexpo.kz

mining.week.kazakhstan



MININGWEEK.KZ

0+