

www.rudmet.ru

ISSN 0017-2278

ГОРНЫЙ ЖУРНАЛ

198 лет

Издается с 1825 года
(№ 2317)

12.2023

*С Новым
Годом!*



Уважаемые читатели «Горного журнала»!

Институт наук о Земле Белгородского государственного национального исследовательского университета является центральной площадкой подготовки горных инженеров в Белгородской области. Уже более 20 лет мы восполняем кадрами горнодобывающую отрасль региона, России, стран ближнего и дальнего зарубежья. За это время мы выпустили более 500 специалистов, которые прошли путь от рядовых геологов, гидрогеологов, маркшейдеров до ведущих специалистов в крупнейших горнодобывающих компаниях страны.

В 2021 году НИУ «БелГУ» стал участником специальной части государственной программы поддержки университетов «Приоритет-2030», это дало дополнительный толчок развитию образования и прикладных исследований в области геологии и горного дела в нашем вузе. В рамках реализации данной программы был создан центр прикладных исследований и геотехнологий, штат которого сформирован молодыми специалистами из числа выпускников, студентов и аспирантов Института наук о Земле. Закуплено специализированное оборудование, позволяющее выполнять весь спектр инженерных изысканий, геологоразведочных и маркшейдерских работ.

Усилиями молодых ученых и специалистов центра удалось возродить на Белгородчине отрасль геологоразведки. В тесном сотрудничестве с Министерством природопользования Белгородской области разработана концепция воспроизводства сырьевой базы региона и уже в 2023 году разведаны и поставлены на государственный баланс четыре месторождения общераспространенных полезных ископаемых.

В 2022 году в центре прикладных исследований и геотехнологий был разработан и создан опытный образец уникального автоматизированного измерительного комплекса для нивелировки путей в шахте и построения профиля горной выработки, позволяющий в два раза сократить время простоя шахтного оборудования при производстве обязательных маркшейдерских измерений, обеспечивая при этом высокую точность измерений. В этом году завершились промышленные испытания измерительного комплекса и начато серийное производство.

В наступающем 2024 году мы ставим перед собой не менее амбициозные задачи, связанные с импортозамещением в горной промышленности, снижением техногенной нагрузки и воспроизводством окружающей среды. Совместно с крупнейшими недропользователями партнерами мы планируем расширить сеть карбоновых полигонов и отработать технологии ренатуризации нарушенных земель.

Пользуясь случаем, хотел бы пожелать всем горнякам в наступающем 2024 году новых производственных побед и безопасного труда, а также поблагодарить Издательский дом «Руда и Металлы» за многолетнее плодотворное сотрудничество и неоценимый вклад в развитие новых знаний в горной отрасли.

*С уважением,
И. М. Игнатенко,
горный инженер, директор института наук о Земле
НИУ «БелГУ», кандидат технических наук, доцент*



Основан в 1825 году
при Горном кадетском корпусе

ГОРНЫЙ ЖУРНАЛ

Ежемесячный научно-технический
и производственный журнал
Электронное периодическое издание

№ 12 (2317)
ДЕКАБРЬ 2023

Базовый печатный орган Межправительственного совета стран СНГ
по разведке, использованию и охране недр

Официальный информационный орган Федерального УМО
«Прикладная геология, горное дело, нефтегазовое дело и геодезия»

Журнал выпускается при участии: АК «АЛРОСА» (ПАО), АО «Апатит»,
ПАО «ГМК «Норильский никель», НПК «Механобр-техника» (АО)

При содействии: ФГБУН ИГКОН РАН, ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный
университет», Государственного предприятия «Навоийский ГМК», НП «Горнопромышленники
России», Государственного Эрмитажа

Информационный координатор тематики технологического обеспечения добычи
минерального сырья – АО «ВНИПИПромтехнологии» – инжиниринговый центр
горнорудного дивизиона Госкорпорации «Росатом»

УЧРЕДИТЕЛЬ ЭЛЕКТРОННОГО ПЕРИОДИЧЕСКОГО ИЗДАНИЯ:

Акционерное общество «Издательский дом «Руда и Металлы»

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

В. В. Адушкин, Азим Иброхим, В. Ж. Аренс, С. С. Арзуманян, А. А. Барях,
Н. Г. Валиев, В. А. Винников (руководитель секции «Физика горных пород
и процессов»), А. Г. Воробьев (председатель правления «Горного журнала»),
Л. Д. Гагут (руководитель секции «Экономика, управление, недропользование»),
Ж. К. Галиев, И. И. Головатый, В. А. Ерёмченко, Б. Н. Заровняев, В. Н. Захаров,
В. П. Зубов, И. В. Зырянов, П. А. Игнатов, О. И. Казанин, Н. О. Каледина
(руководитель секции «Охрана труда и окружающей среды»), Д. Р. Каглунов
(руководитель секции «Разработка месторождений и горно-строительные работы»),
В. Ю. Керимов, А. А. Кологривко, С. В. Кривовичев, В. С. Литвиненко,
А. Б. Макаров, О. С. Мисников, Д. В. Пастихин, В. Л. Петров (руководитель
секции «Образование и кадровое обеспечение горной промышленности»),
Г. Г. Пивняк, И. Ю. Рассказов, У. Д. Рыскулов, К. С. Санакулов, В. С. Святецкий,
А. Г. Твалчрелидзе, И. О. Темкин (руководитель секции «Автоматизация»),
Е. М. Титиевский, С. М. Ткач, К. Н. Трубецкой, А. Ф. Цеховой, В. А. Чантурия
(руководитель секции «Переработка и комплексное использование полезных
ископаемых»), А. Н. Шабаров, Е. Е. Шешко (руководитель секции «Горное
оборудование, электроснабжение»), Д. М. Шпрехер, З. Дж. Эфендиева,
Т. И. Юшина, В. Л. Яковлев, Е. Б. Яницкий, А. Б. Яновский

ИНОСТРАННЫЕ ЧЛЕНЫ РЕДАКЦИОННОЙ КОЛЛЕГИИ:

С. Вуйич (Сербия), И. Б. Табакман (Канада), Л. И. Тотев (Болгария)

**«Горный журнал» по решению ВАК Министерства науки и высшего образования РФ
включен в «Перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий для
публикации основных научных результатов диссертаций на соискание ученой степени
доктора и кандидата наук»**

РЕДАКЦИЯ:

главный редактор А. Г. Воробьев,
ведущий редактор Л. Е. Костина,
редактор В. А. Елистратова,
младший редактор М. Д. Матвеева,
менеджер по рекламе Н. И. Колыхалова,
специалист по доредакционной
подготовке Д. И. Воробьева

Издатель – АО «Издательский дом «Руда и Металлы»

Адрес издателя: 119049, Москва, Ленинский просп., д. 6,
строение 2, НИТУ «МИСИС», оф. 622

Адрес редакции: 119049, Москва, Ленинский просп., д. 6, стр. 2
НИТУ «МИСИС», оф. 619

Тел.: +7 (499) 236-10-62

Эл. почта: gornjournal@rudmet.ru

Почтовый адрес: 119049, Москва, а/я № 71

Отдел рекламы:

Тел/факс: +7 (499) 236-11-86

Эл. почта: reklama@rudmet.ru

www.rudmet.ru

**Ежемесячный научно-технический
и производственный журнал «Горный журнал»
Электронное периодическое издание**

Журнал зарегистрирован в Федеральной службе по надзору в сфере связи,
информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор)
(Свидетельство Эл № ФС77–43411 от 30.12.2010 г.)

Товарный знак и название «Горный журнал» являются исключительной
собственностью Издательского дома «Руда и Металлы»

Дата выхода в свет: 16.01.2024

Формат 60×90/8. Печ. л. 16,5

Цена свободная

- За достоверность рекламной информации
ответственность несет рекламодатель
- За достоверность научно-технической информации
ответственность несет автор
- Все материалы, поступающие в редакцию,
строго рецензируются и рассматриваются на заседаниях
соответствующих секций и редакционной коллегии
- Мнение редакции может не совпадать с позицией
авторов статей, опубликованных в журнале
- Перепечатка материалов возможна только
с письменного разрешения редакции
- При перепечатке ссылка на «Горный журнал» обязательна

ISSN 2413-9793



СОДЕРЖАНИЕ

ИЗ ОПЫТА РАБОТЫ ГОРНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ И ОРГАНИЗАЦИЙ

БЕЛГОРОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

- Тюпин В. Н.** Обоснование формул для оценки критической глубины месторождений по условию удароопасности 4
- Тюпин В. Н.** Изменение напряженно-деформированного состояния призабойного массива горных пород после взрывания проходческих шпуров 10
- Косинова И. И., Игнатенко И. М., Курьшев А. А., Бударина В. А.** Особенности трансформации эколого-гидрогеохимической обстановки территорий в пределах зон влияния Стойленского горнодобывающего комплекса . 14

ГЕОЛОГИЯ, ПОИСК И РАЗВЕДКА ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

- Сенин Б. В., Керимов В. Ю., Мустаев Р. Н., Мамедов Р. А.** Строение и эволюция структурно-геодинамических систем Восточной Арктики 22

СЫРЬЕВАЯ БАЗА

- Тараскин Е. Н., Терентьев С. Э., Подойницын С. П., Андреев Д. В.** Нефтетитановый потенциал Ярегского месторождения. Ч. 1. Освоение запасов тяжелой нефти 29

ФИЗИКА ГОРНЫХ ПОРОД И ПРОЦЕССОВ

- Дарбинян Т. П., Былков А. В., Цымбалов А. А., Плешко М. С.** Исследование деформационных процессов в крепи приствольных выработок глубокого шахтного ствола рудника «Скалистый» 36
- Зеленин Д. П., Ворошилин К. С.** Базовые факторы, определяющие устойчивость стационарных бортов угольных разрезов 41
- Семенова И. Э., Розанов И. Ю., Кулькова М. С.** Комплексное исследование параметров обрушения подработанной толщи пород Ждановского месторождения . 49

ЭКОНОМИКА, ОРГАНИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ

- Плаkitкин Ю. А., Плаkitкина Л. С., Дьяченко К. И.** Система мер государственного управления угольной отраслью с учетом санкционных ограничений и декарбонизации 55
- Потравный И. М., Новоселов А. Л., Новоселова И. Ю., Пельменева А. А.** Факторный анализ нефтегазовых проектов в арктических регионах с учетом риска 64

РАЗРАБОТКА МЕСТОРОЖДЕНИЙ

- Умаров Ф. Я., Нутфуллоев Г. С., Катанов И. Б., Кобилев Ш. Б.** Применение скважинных зарядов с кумулятивным эффектом на карьере «Ешлик-1» Республики Узбекистан 69

ПЕРЕРАБОТКА И КОМПЛЕКСНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ

- Коваленко Е. Г., Бабушкина А. Л., Чуть-Ды В. А.** Применение многокомпонентных собирателей и выбор температурных режимов в пенной сепарации алмазосодержащих кимберлитов 75
- Иодис В. А.** Лабораторный реактор для ультразвукового воздействия на пульпу кобальт-медно-никелевой руды . . 81

ОБОРУДОВАНИЕ И МАТЕРИАЛЫ

- Абдуазизов Н. А., Райханова Г. Е., Виноградов А. В., Жураев А. Ш.** Влияние состояния рабочей жидкости гидросистем горных машин открытых разработок на эксплуатационную эффективность гидравлического оборудования 88

ПРОМЫШЛЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ И ОХРАНА ТРУДА

- Кобылкин С. С., Каледина Н. О., Кобылкин А. С., Сенаторов В. А.** Динамика выхлопных газов от дизельных машин в рудниках 94

ПОДГОТОВКА КАДРОВ

- Березовой В. В., Зырянов И. В., Янгутова Ю. Е.** Деловое совершенство как основа устойчивого развития Мирнинского регионального технического колледжа . . . 104

К 200-ЛЕТИЮ «ГОРНОГО ЖУРНАЛА»

- Батищев С. Д., Неклюдов Е. Г.** «Горный журнал» XIX – начала XX в. сквозь призму «юбилейных» статей . . 112
- Инженер, организатор, руководитель 118

ЮБИЛЕИ

- Буткевичу Георгию Романовичу – 90 лет 54
- Репину Николаю Яковлевичу – 95 лет 74

ОБЩАЯ ИНФОРМАЦИЯ

- Памяти Мальгина Олега Николаевича 21
- Памяти Опарина Виктора Николаевича 125
- Содержание журнала за 2023 год 126

РЕКЛАМА

На обложке:

Компания «IMC Montan»
«Уголь России и Майнинг - 2024» – XXXII Международная специализированная выставка технологий горных разработок

На цветной вкладке:

«Mining World Russia - 2024» – 28-я Международная выставка машин и оборудования для добычи, обогащения и транспортировки полезных ископаемых

MONTHLY SCIENTIFIC-TECHNICAL AND INDUSTRIAL JOURNAL

The basic edition of the Intergovernmental council of CIS countries in exploration, usage and protection of the earth bowels

With participation of “ALROSA” PJSC, “Apatit” JSC, PJSC “MMC “NORILSK NICKEL”, “Mekhanobr-Technica” JSC
With assistance of IPKON RAN, Ural State Mining University, State enterprise Navoi mining and metallurgical works, “Gornopromyshlenniki Rossii” non-commercial partnership, State Hermitage Museum

Information coordinator in the area of mineral mining technologies – VNIIPromtekhologii (National Research and Design Institute for Industrial Technology) – Engineering Center of Rosatom State Atomic Energy Corporations’ Mining Division

Founders: “Ore & Metals” Publishing house, National University of Science and Technology “MISIS”, Autonomous Noncommercial Organization “TV News Channel “Khibiny TV”

Chairman of the managing board, Editor-in-Chief: **Alexander Vorobiev**

Actual address: Moscow, Leninsky prospekt 6 bld. 2, office 619
Mailing address: Russia, 119049, Moscow, P.O. Box # 71
Phone/fax: +7 (499) 236-10-62, +7 (499) 236-11-86
E-mail: gornjournal@rudmet.com
Internet: www.rudmet.com

The journal has been published since 1825 at Mining military school

Publisher: “Ore & Metals” publishing house
Phone/fax: +7 (495) 638-45-18
E-mail: rim@rudmet.com

Leading editor: **Lyudmila Kostina**
Editor: **Vera Elistratova**
Junior editor: **Margarita Matveeva**
Advertising manager: **Natalia Kolykhalova**
Responsible for pre-printing work: **Daria Vorobyeva**

Printed in “Kancler” printing house

CONTENTS

FROM THE OPERATIONAL EXPERIENCE OF THE MINING COMPANIES AND THE ORGANIZATIONS

BELGOROD STATE NATIONAL RESEARCH UNIVERSITY

- Tyupin V. N.** Validation of formulas for threshold mining depth evaluation by rockburst hazard criterion 4
- Tyupin V. N.** Change in the stress–strain behavior of rock mass after heading-aimed blasting 10
- Kosinova I. I., Ignatenko I. M., Kuryshv A. A., Budarina V. A.** Ecological and hydrogeochemical transformation features in influence zone of Stoilensky GOK mining facilities . . . 14

GEOLOGY, SEARCH AND EXPLORATION OF MINERALS

- Senin B. V., Kerimov V. Yu., Mustaev R. N., Mamedov R. A.** Morphology and evolution of Eastern Arctic structure and geodynamics 22

RAW MATERIAL BASE

- Taraskin E. N., Terentiev S. E., Podoinitsyn S. P., Andreev D. V.** Oil and titanium potential of the Yarega field: 90 years into successful strike. Part 1: Heavy crude oil recovery 29

PHYSICS OF ROCKS AND PROCESSES

- Darbinyan T. P., Bylkov A. V., Tsymbalov A. A., Pleshko M. S.** Deformation processes in roadway support systems at deep shaft in Skalisty Mine 36
- Zelenin D. P., Voroshilin K. S.** Basic governing factors of slope stability in open pit coal mines 41
- Semenova I. E., Rozanov I. Yu., Kulkova M. S.** Integrated research of undermined rock mass failure parameters in Zhdanovskoe ore field 49

ECONOMY, ORGANIZATION AND MANAGEMENT

- Plakitkin Yu. A., Plakitkina L. S., Dyachenko K. I.** Governmental management of coal industry with regard to sanctions and decarbonization 55
- Potravny I. M., Novoselov A. L., Novoselova I. Yu., Pelmeneva A. A.** Factor analysis of oil and gas projects in the Arctic areas with regard to risk 64

DEVELOPMENT OF DEPOSITS

- Umarov F. Ya., Nutfulloev G. S., Katanov I. B., Kobilov Sh. B.** The use of shaped charges at Eshlik-I open pit mine in the Republic of Uzbekistan 69

PROCESSING AND COMPLEX USAGE OF MINERAL RAW MATERIALS

- Kovalenko E. G., Babushkina A. L., Chut-Dy V. A.** Application of multi-component collectors and selection of temperature modes for frother separation of diamond-bearing kimberlites . . . 75
- Iodis V. A.** Lab-scale reactor for ultrasonic treatment of cobalt–copper–nickel ore pulp 81

EQUIPMENT AND MATERIALS

- Abduazizov N. A., Raikhanova G. E., Vinogradov A. V., Zhurayev A. Sh.** Influence of working fluid on operating efficiency of hydraulic systems of open pit mining machines . . . 88

INDUSTRY SAFETY AND LABOUR PROTECTION

- Kobylkin S. S., Kaledina N. O., Kobylkin A. S., Senatorov V. A.** Diesel exhaust gas dynamics in underground mines 94

TO THE 200TH ANNIVERSARY OF GORNYYI ZHURNAL

- Batishchev S. D., Neklyudov E. G.** Gornyy Zhurnal in the 19th–early 20th century through a limbeck of jubilee publications . . . 112

УДК 622.831.325:550:34

ОБОСНОВАНИЕ ФОРМУЛ ДЛЯ ОЦЕНКИ КРИТИЧЕСКОЙ ГЛУБИНЫ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПО УСЛОВИЮ УДАРООПАСНОСТИ

В. Н. ТЮПИН, проф., д-р техн. наук, tyupinvn@mail.ru

Белгородский государственный национальный исследовательский университет, Белгород, Россия

Введение

Определение критической глубины, с которой разведанное месторождение можно считать опасным по горным ударам, является весьма важной и масштабной задачей. Это связано с тем, что начиная с критической глубины существенно возрастают материальные и финансовые затраты горных предприятий для обеспечения безопасности и эффективности работ, создаются организационные структуры, обеспечивающие прогнозирование, предупреждение и фиксирование удароопасных ситуаций. Отнесение месторождения к опасным по горным ударам в настоящее время проводят на стадии проектирования [1, 2]. Обычно перед строительством нового горного предприятия в районе расположения полезного ископаемого осуществляют геологоразведочное бурение. По керну определяют физико-механические свойства горных пород и степень трещиноватости массива, что является основой для выбора системы разработки, определения устойчивых размеров обнажений и целиков, способов крепления выработок [3–7]. Кроме того, необходимо определять напряженно-деформированное состояние горного массива [8–19] и разрабатывать методы предупреждения удароопасных ситуаций [20–25].

Удароопасность месторождения устанавливают по наличию удароопасных пород и величине горного давления, при которой возможно хрупкое разрушение пород. Оценку удароопасности, склонности горной породы к хрупкому разрушению, как правило, проводят по отношению упругой деформации образца к общей деформации при наибольшем значении сжимающих напряжений [3]. При отношении не менее 0,7 порода считается удароопасной. Глубину, с которой месторождение относят к опасным по горным ударам, устанавливают более точно при ведении разведочных работ путем выполнения инструментальных исследований с определением уровня напряжений [2], а также по наличию в выработках динамических проявлений горного давления в виде шелушений, стреляний, динамического заколообразования, микроударов и горных ударов. Согласно нормативным документам [1], весьма важным вопросом является прогнозирование появления удароопасных ситуаций на определенной глубине уже на стадии изысканий и проектирования [2].

© Тюпин В. Н., 2023

Приведена упрощенная формула для расчета критической глубины $H_{кр}$, основанная на упругих свойствах горных пород, проведены расчеты $H_{кр}$. Разработана новая формула, основанная на закономерности увеличения диаметра зоны раздавливания и уменьшения радиуса зоны трещинообразования с увеличением горного давления при взрыве шпуровых зарядов ВВ. Правомерность использования новой формулы доказана путем расчетов и сравнения с фактической критической глубиной месторождений. Численные расчеты $H_{кр,р}$ для удароопасных пород Стрельцовской группы месторождений по обеим формулам дают хорошее совпадение с фактически принятой глубиной 500 м. Формулы для расчета критической глубины месторождений по удароопасности рекомендуется использовать для предварительных расчетов на стадии изысканий и проектирования месторождений. Для определения более точных значений критической глубины следует определять физико-механические свойства горных пород, отобранных на глубине 300–700 м.

Ключевые слова: горные породы, удароопасность, изыскание и проектирование, критическая глубина, упругие и прочностные свойства пород, радиусы зоны раздавливания и радиальных трещин, расчетные формулы, численные расчеты
DOI: 10.17580/gzh.2023.12.01

Целью статьи является вывод формулы для определения критической глубины месторождения по условию удароопасности на основе учета прочностных свойств горных пород.

Обоснование формулы для расчета критической глубины по фактору удароопасности

В работе [26] критическая глубина месторождения по горным ударам обосновывается тем, что при проходке разведочных выработок в процессе ведения взрывных работ в окружающем массиве образуется зона заколов. При этом в работе [26] установлено, что чем больше величина горного давления в массиве, тем больше размер зоны заколов. С учетом результатов исследований [27, 28] предполагается, что на удароопасном участке массива в зону заколов устремляется упругая энергия из прилегающих пород, провоцируя удароопасную ситуацию. Исходя из данной модели, получена формула для определения критической глубины, которая зависит от упругих свойств горных пород и параметров трещиноватости массива. Упрощенная формула расчета в работе [26] имеет вид:

$$H_{кр} = 2,62 \cdot 10^{-8} \frac{E\nu}{(1-\nu)}, \quad (1)$$

где E – модуль упругости горной породы, Па; ν – коэффициент Пуассона.

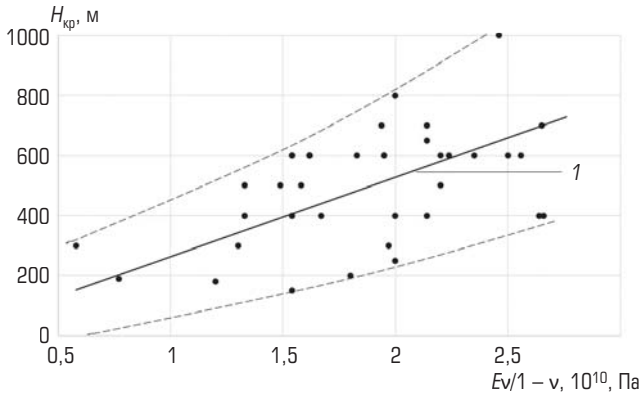


Рис. 1. Зависимость критической глубины месторождений от соотношения упругих свойств горных пород:

1 – кривая, построенная по зависимости (1); точки соответствуют фактической критической глубине [1] и соотношению упругих свойств $E\nu(1-\nu)^{-1}$ для пород месторождений, согласно работе [29]

Результаты численных расчетов по формуле (1) с использованием средних параметров упругих свойств горных пород, заимствованных в работе [29] для месторождений РФ и бывш. СССР, отражены на **рис. 1**.

Анализ **рис. 1** указывает на значительный разброс величины $H_{кр}$. Кроме того, удароопасные ситуации происходят с обязательным разрушением горного массива. Следовательно, в формуле для определения величины $H_{кр}$ должны присутствовать прочностные характеристики горных пород. В связи с этим исследования по определению величины $H_{кр}$ необходимо продолжить.

При проходке горных выработок на рудниках ПАО «ППГХО» в горных массивах трахидацитов была установлена следующая закономерность. С увеличением глубины от поверхности земли со 180 до 600 м (то есть с повышением горного давления) радиус зоны раздавливания вокруг взорванных проходческих шпуров возрастает, а радиус зоны радиальных трещин – уменьшается (**рис. 2**) [19, 21, 30]. Массивы трахидацитов Стрельцовского рудного поля обладают весьма малой вариацией физико-механических свойств и параметров трещиноватости.

Увеличение диаметра зоны раздавливания можно объяснить тем, что горное давление суммируется с давлением, создаваемым продуктами детонации при взрыве (**рис. 3**, левая часть).

В зоне радиальных трещин горное давление препятствует прорастанию трещин (см. **рис. 3**, правая часть).

В связи с этим возникла гипотеза: в удароопасном массиве радиус зоны раздавливания $R_{рд}$ равен радиусу зоны трещинообразования $R_{тр}$:

$$R_{рд} = R_{тр}. \quad (2)$$

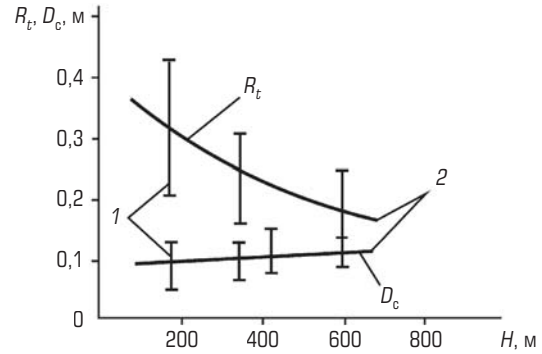


Рис. 2. Изменение радиуса зоны радиального трещинообразования R_t и диаметра зоны раздавливания «стакана» D_c от взрыва в массиве трахидацитов в зависимости от глубины разработки H :

1 – экспериментальные данные; 2 – расчетные показатели [21]

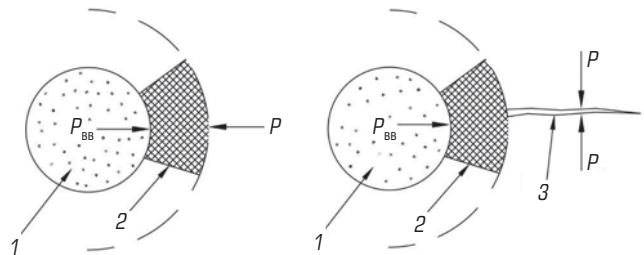


Рис. 3. Схема к определению воздействия продуктов взрыва и горного давления на зоны раздавливания и радиальную трещину:

1 – взрываемый шпур (скважина); 2 – зона раздавливания; 3 – прорастающая трещина; P – горное давление; $P_{вв}$ – давление продуктов детонации

Согласно работам [30, 31], формулы для определения радиусов указанных зон при взрыве цилиндрического заряда ВВ имеют вид:

$$R_{рд} = \frac{\sqrt{\pi}}{8} \frac{D\rho_b d_3 c}{(\sigma_{сж} - P)\Phi} \left(1 - \frac{\mu\nu}{1-\nu}\right); \quad (3)$$

$$R_{тр} = \frac{\sqrt{\pi}}{8} \frac{D\rho_b d_3 c\nu}{(\sigma_p + P)\Phi(1-\nu)} \left(1 - \frac{\mu\nu}{1-\nu}\right), \quad (4)$$

где D , ρ_b , d_3 – скорость детонации, м/с, плотность заряжения, кг/м³, диаметр заряда, м, ВВ соответственно; c – скорость продольной волны в отдельности массива, м/с; $\sigma_{сж}$ – предел прочности породы на сжатие; P – величина горного давления, Па; Φ – показатель трещиноватости горного массива; μ – коэффициент трения между отдельностями массива; σ_p – предел прочности породы на разрыв, Па.

Подставляя выражения (3) и (4) в (2) и решая уравнение относительно P , получим

$$P = \sigma_{сж} \nu - \sigma_p (1 - \nu). \quad (5)$$

Величину горного давления P можно выразить формулой

$$P = K \rho g H, \quad (6)$$

где K – коэффициент концентрации напряжений, создаваемый за счет образования выработанного пространства; ρ – объемная масса горного массива, кг/м³; g – ускорение свободного падения, м/с²; H – глубина от поверхности земли, м.

Подставляя (6) в (5), после преобразований получим

$$H_{кр.р} = \frac{\sigma_{сж} \nu - \sigma_p (1 - \nu)}{K \rho g}. \quad (7)$$

Таблица 1. Значения критической глубины удароопасных пород Стельцовского рудного поля, рассчитанные по формулам (1) и (8)

Горные породы	$E, 10^{10}, \text{Па}$	$\sigma_{сж}^2, 10^6, \text{Па}$	$\sigma_p^2, 10^6, \text{Па}$	ν	$H_{кр.р}, \text{м, по формулам}$	
					(1)	(8)
Андезиты	5,08	102,7	11,7	0,24	420,3	484,1
Базальты	6,44	135,1	13,0	0,23	504,5	421,3
Граниты	5,30	144,0	8,6	0,23	415,2	530,0
Трахидациты	4,75	97,2	13,9	0,29	507,8	366,4

Таблица 2. Фактическая и расчетная критическая глубина месторождений РФ и бывш. СССР по удароопасности

Месторождение	$H_{кр.р}, \text{м}$	Горная порода	ν	$\sigma_{сж}, \text{МПа}$	$\sigma_p, \text{МПа}$	$\sigma_{сж} \nu - \sigma_p (1 - \nu), \text{МПа}$	$H_{кр.р}, \text{м}$
Абаканское	600	Железная руда	0,23	158	10	28,7	573
Высокогорское	600	Сиениты	0,26	114	15	18,5	370
Гороблагодатское	300	Скарны	0,21	172	13	25,9	517
Казское	600	Диориты	0,22	170	22	20,3	405
		Роговики		172	11	29,3	585
Коробковское	600	Железистые кварциты	0,24	190	13,5	35,3	707
Лебяжинское	600	Скарны	0,23	172	13	29,5	591
Песчанское	400	Порфириты	0,22	148	17	19,3	386
Таштагольское	400	Сиениты	0,20	114	15	10,8	216
Шерегешское	600	Граниты	0,24	105	9	18,3	367
Яковлевское	600	Рудный массив	0,23	158	13	26,4	527
Белогорское	600	Граниты	0,23	105	9	17,2	344
Берикульское	600	Кварциты	0,16	190	13,5	19,0	381
		Габбро	0,24	162	16	26,7	534
«Восток-2»	500	Гранит-порфиры	0,20	148	17	16	320
Дарасунское	400	Кварцевые порфириты	0,26	148	17	25,9	518
Константиновское	300	Кварцевые диориты	0,16	170	22	8,7	174
Ловозерское	500	Уртиты	0,27	130	9	28,5	571
Николаевское «ОАО «Дальполиметалл»	700	Порфиры	0,26	148	17	25,9	518
Южное «ОАО «Дальполиметалл»	180	Песчаники	0,20	100	9,5	12,4	248
Огневско-Бакенное	600	Граниты	0,23	205	9	40,2	804
Октябрьское и Талнахское	700	Роговик, габбро-долериты	0,22	122	13	16,7	334
Перевальное (Солнечный ГОК)	600	Порфириты	0,22	148	17	19,3	386
Солнечное (Солнечный ГОК)	600	Порфириты	0,22	148	17	19,3	386
Садонское	700	Окварцованные граниты	0,23	205	9	40,2	804
Саткинское	250	Доломиты	0,24	121	11	20,6	413
Тырныаузское	800	Скарны	0,25	172	13	33,2	665
Хинганское	500	Брекчия	0,25	116	8,5	22,7	453
Кошвинское	400	Рисчорриты	0,25	100	5,9	21	420
Партомчоррское	400	Ийолит-уртиты	0,25	167	11	33,5	670
Узельгинское	650	Кварцевые липаритовые порфиры	0,27	148	17	27,6	551
Стрельцовское рудное поле	500	Граниты	0,23	144	8,6	26,5	530
Зырянское	600	Микрокварциты	0,23	190	13,5	33,2	665

Величину ρ можно принять равной $2,55 \cdot 10^3$ кг/м³, $g = 9,8$ м/с². Как правило, первые динамические проявления горного давления наблюдаются при проходке разведочных выработок или шахтных стволов. Коэффициент K при проходке выработок можно принять равным 2. Тогда формула (7) имеет вид:

$$H_{кр,р} = 2 \cdot 10^{-5} [\sigma_{сж} \nu - \sigma_p (1 - \nu)]. \quad (8)$$

Анализ выражения (8) показывает, что $H_{кр,р}$ наиболее существенно зависит от предела прочности породы на сжатие и коэффициента Пуассона. При этом с увеличением $\sigma_{сж}$ $H_{кр,р}$ также увеличивается: чем прочнее порода, тем большее давление (повышается с глубиной) она выдерживает без разрушения. Вполне логично и влияние коэффициента Пуассона: чем больше ν , тем более податлив, пластичен массив, что компенсирует возрастающую нагрузку, и $H_{кр,р}$, таким образом, можно увеличивать. Интересно влияние предела прочности на разрыв σ_p . Большое значение σ_p обеспечивает большее накопление упругой энергии в приконтурном массиве, которая затем преобразуется в горный удар. При малом значении σ_p происходит постепенное нединамическое разрушение породы с образованием, как правило, заколов вблизи открытых поверхностей.

Расчет фактической глубины по формулам (1) и (8)

На месторождениях Стрельцовского рудного поля в рудниках ПАО «ППГХО» к удароопасным горным породам с глубины 500 м отнесены: трахидациты, андезиты, базальты, граниты. Их физико-механические свойства заимствованы в работе [21]. Рассчитанные по формулам (1) и (8) значения критической глубины приведены в **табл. 1**.

Анализ данных **табл. 1** указывает на то, что $H_{кр,р}$, вычисленная по формулам (1) и (8), соответствуют принятой в 500 м для данных удароопасных пород. Незначительный разброс принятой и расчетной $H_{кр,р}$ объясняется вариацией физико-механических свойств пород при их определении.

Для дальнейшего доказательства правомерности использования формулы (8) для определения критической глубины в **табл. 2** приведены данные по месторождениям РФ и бывш. СССР, опасным и склонным к горным ударам, с указанием фактической глубины отнесения их к данной категории [1]. В **табл. 2** приведены средние прочностные параметры и коэффициент Пуассона удароопасных пород месторождений, заимствованные в работе [29], а также результаты расчетов $H_{кр,р}$.

Анализ данных **табл. 2** в некоторых случаях указывает на значительный разброс фактических $H_{кр}$ и расчетных $H_{кр,р}$ значений. Вероятно, это связано с произвольностью выбора физико-механических свойств пород по работе [29]. Для определения более точных значений критической глубины месторождений по условию удароопасности физико-механические свойства горных пород следует определять по керну, отобранному на глубине 300–700 м.

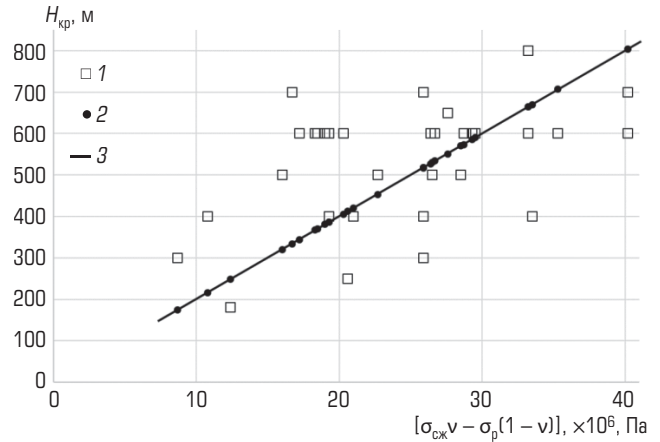


Рис. 4. Зависимость критической глубины $H_{кр}$ месторождений по условию удароопасности от соотношения прочностных свойств пород $[\sigma_{сж}\nu - \sigma_p(1 - \nu)]$:

1 – фактические значения по работе [1]; 2 – расчетные значения по формуле (8); 3 – расчетная прямая по формуле (8)

На **рис. 4** приведена зависимость рассчитанной по формуле (8) и фактической критической глубины $H_{кр}$ от $[\sigma_{сж}\nu - \sigma_p(1 - \nu)]$.

Анализ **рис. 4** указывает на относительно хорошую сходимость расчетных и фактических значений $H_{кр}$. Иными словами, полученная формула (8) может быть также использована для оценки критической глубины по условию удароопасности на стадии изысканий и проектирования месторождений к разработке.

Заключение

В настоящее время весьма актуальной и масштабной задачей является определение критической глубины, с которой разведанное месторождение следует считать опасным по горным ударам. Начиная с критической глубины возрастают материальные и финансовые затраты горных предприятий по обеспечению безопасности и эффективности работ. Автором проведены аналитические исследования и получены следующие результаты.

1. Разработана упрощенная формула (1) для расчета критической глубины $H_{кр}$ по условию удароопасности, основанная на упругих свойствах (E, ν) горных пород. Рассчитана величина $H_{кр}$ для месторождений РФ и бывш. СССР.


2. На основе закономерности увеличения диаметра зоны раздавливания и уменьшения радиуса зоны трещинообразования с увеличением горного давления при взрыве шпуровых зарядов ВВ получена новая формула (8) для определения $H_{кр,р}$, учитывающая прочностные свойства пород ($\sigma_{сж}, \sigma_p$) и коэффициент Пуассона ν . Правомерность использования

данной формулы доказана путем расчетов и сравнения полученных данных с фактической критической глубиной месторождений РФ и бывш. СССР.

3. Численные расчеты $H_{кр.р}$ для удароопасных пород Стрельцовской группы месторождений по формулам (1) и (8) дают хорошие совпадения с фактически принятой глубиной 500 м.

4. Формулы для расчета критической глубины месторождений по удароопасности (1) и (8) рекомендуется использовать для предварительных расчетов на стадии изысканий и проектирования месторождений к разработке.

Библиографический список

1. Положение по безопасному ведению горных работ на месторождениях, склонных и опасных по горным ударам. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности. Сер. 06. Вып. 7. – М.: ЗАО НТЦ ПБ, 2014. – 80 с.
2. Аксенов А. А., Ожиганов И. А. Совершенствование практики отнесения месторождений к склонным по горным ударам // Безопасность труда в промышленности. 2018. № 1. С. 58–60.
3. Айнбиндер И. И., Овчаренко О. В. Исследование потенциальной удароопасности массива горных пород на проектируемых глубинах отработки месторождения «Валунистое» // ГИАБ. 2022. № 6. С. 35–45.
4. Фрейдлин А. М., Неверов С. А., Неверов А. А., Конуриин А. И. Геомеханическая оценка геотехнологий подземной добычи руд на стадии проектных решений // Горный журнал. 2016. № 2. С. 39–44.
5. Козырев А. А., Панин В. И., Семенова И. З., Рыбин В. В. Геомеханическое обеспечение горных работ на горнодобывающих предприятиях Мурманской области // Горный журнал. 2019. № 6. С. 45–50.
6. Соннов М. А., Трофимов А. В., Румянцев А. Е., Шпилев С. В. Применение численного и блочного геомеханического моделирования для определения параметров крепления камерных выработок большого сечения // Горная промышленность. 2021. № 2. С. 127–131.
7. Тюпин В. Н. Установление динамически устойчивых размеров обнажений трещиноватого напряженного горного массива при камерных вариантах систем разработки // Вестник Забайкальского гос. ун-та. 2016. Т. 22. № 6. С. 31–39.
8. Рассказов И. Ю. Контроль и управление горным давлением на рудниках Дальневосточного региона. – М.: Горная книга, 2008. – 329 с.
9. Курленя М. В., Миренков В. Е., Шутлов А. В. Напряженно-деформированное состояние массива горных пород в зоне взаимного влияния выработок // ФТПРПИ. 2000. № 3. С. 8–17.
10. Серяков В. М. Расчет напряженного состояния горных пород с учетом последовательности отработки и закладки рудных тел на больших глубинах // ФТПРПИ. 2021. № 6. С. 18–26.
11. Рассказов Ю. И., Петров В. А., Федотова Ю. В., Аникин П. А., Потапчук М. И., Усиков В. И. Геодинамика и геомеханические условия разработки Мало-Тулукуйского месторождения (Юго-Восточное Забайкалье) // ФТПРПИ. 2021. № 5. С. 83–94.
12. Куранов А. Д. Применение численного моделирования для выбора безопасных параметров систем разработки рудных месторождений в высоконапряженных массивах // Записки Горного института. 2013. Т. 206. С. 60–64.
13. Xia-Ting Feng, Jianpo Liu, Bingrui Chen, Yaxun Xiao, Guangliang Feng, Fengpeng Zhang. Monitoring, Warning, and Control of Rockburst in Deep Metal Mines // Engineering. 2017. Vol. 3. Iss. 4. P. 538–545.
14. Li C. C. Principles of rockbolting design // Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering. 2017. Vol. 9. Iss. 3. P. 396–414.
15. Wang N., Wan B. H., Zhang P., Du X. L. Analysis on deformation development of open-pit slope under the influence of underground mining // Proceedings of International Symposium on Land Reclamation and Ecological Restoration. Beijing, China. 2015. P. 53–58.
16. Braun L. G. Seismic hazard evaluation using apparent stress ratio for mining-induced seismic events : Ph. D. Thesis, Laurentian University, 2015. – 257 p.
17. Wesseloo J., Woodward K., Pereira J. Grid-based analysis of seismic data // The Journal of Southern African Institute of Mining and Metallurgy. 2014. Vol. 114. P. 815–822.
18. Тюпин В. Н. Механизм формирования зоны остаточных напряжений при взрывании в трещиноватом гранитном массиве рудников ПАО «ППГХО» // Горный журнал. 2020. № 10. С. 60–64.
19. Тюпин В. Н., Пономаренко К. Б. Разработка метода определения напряженного состояния горного массива при взрывной проходке выработок // ГИАБ. 2022. № 8. С. 27–37.
20. Сабянин Г. В., Шилenco С. В., Трофимов А. В., Киркин А. П. Разгрузка массива горных пород взрывным способом на глубоких рудниках ЗФ ПАО ГМК «Норильский никель» // Горный журнал. 2021. № 2. С. 32–36.
21. Тюпин В. Н. Взрывные и геомеханические процессы в трещиноватых напряженных горных массивах : монография. – Белгород : ИД «Белгород» НИУ «БелГУ», 2017. – 192 с.
22. Simser B. P. Rockburst managements in Canadian hard rock mines // Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering. 2019. Vol. 11. No. 5. P. 1036–1043.
23. Malkowski P., Niedbalski Z. A comprehensive geomechanical method for the assessment of rockburst hazards in underground mining // International Journal of Mining Science and Technology. 2020. Vol. 30. No. 3. P. 345–355.
24. Jinglin Wen, Husheng Li, Fuxing Jiang. Rock burst risk evaluation based on equivalent surrounding rock strength // International Journal of Mining Science and Technology. 2019. Vol. 29. No. 4. P. 571–576.
25. Yue Haozhen, Yu C., Li H. B., Zhou C. B. The Effect of Blast-Hole Arrangement, Delay Time, and Decoupling Charge on Rock Damage and Vibration Attenuation in Multihole Blasting // Hindawi. Shock and Vibration. 2022. Vol. 8. P. 1–18.
26. Тюпин В. Н. Оценка критической глубины месторождений по условию удароопасности // Записки Горного института. 2019. Т. 236. С. 167–171. DOI: 10.31897/PMI.2019.2.167
27. Петухов И. М. Классификация горных ударов // Безопасность труда в промышленности. 1987. № 12. С. 41–43.
28. Петухов И. М. О природе толчкообразного деформирования горного массива // Горный журнал. 1989. № 7. С. 45–48.
29. Протодьяконов М. М., Тедер Р. И., Ильницкая Е. И. и др. Распределение и корреляция показателей физических свойств горных пород : справочное пособие. – М.: Недра, 1981. – 192 с.
30. Тюпин В. Н., Хаустов В. В., Воронов Е. Т. Влияние зон действия взрыва в трещиноватых массивах на процессы горного производства // Горный журнал. 2020. № 12. С. 26–29.
31. Тюпин В. Н., Рубашкина Т. И. Инженерные формулы расчета размеров зон разрушения и деформирования трещиноватых массивов взрывом на карьерах Забайкалья // Горный журнал. 2021. № 7. С. 40–44. 

Validation of formulas for threshold mining depth evaluation by rockburst hazard criterion**Information about author**

V. N. Tyupin¹, Professor, Doctor of Engineering Sciences, tyupinvn@mail.ru

¹Belgorod State University, Belgorod, Russia

Abstract

A topical and large-scale task of the present day is the evaluation of a threshold depth below which mining should be assumed as hazardous operations by the criterion of rockburst hazard. From a certain threshold depth downward, the material and financial expenditures of mining companies in pursuit of mining safety and efficiency begin to grow. The author has performed the analytical research which made the framework for the threshold depth formula with regard to the strength properties of rocks (ultimate compressive and tensile strengths) and Poisson's ratio. The validity of the formula is proved by the comparison of the calculated data with the actual threshold depths at mineral deposits in Russia and in Soviet Union. The formula of the threshold mining depth by the rockburst hazard is recommended for the preliminary calculations at the stages of exploration and mine planning and design.

Keywords: rocks, rockburst hazard, exploration and design, threshold depth, elasticity and strength properties of rocks, radii of crushing and radial cracking zones, design formulas, numerical calculations

References

1. Federal Code of Industrial Safety : Safety Regulations for Rockburst-Hazardous Mining. Moscow : NTs PB, 2014. Series 06. Safety, supervision and permission activity in mining industry. Iss. 7. 80 p.
2. Aksenov A. A., Ozhiganov I. A. Improvement of rockburst-based evaluation of mineral deposits. *Bezopasnost truda v promyshlennosti*. 2018. No. 1. pp. 58–60.
3. Aynbinder I. I., Ovcharenko O. V. Potential rockburst hazard research at the project mining depth at the Valunistoe deposit. *GIAB*. 2022. No. 6. pp. 35–45.
4. Freidin A. M., Neverov S. A., Neverov A. A., Konurin A. I. Geomechanical assessment of geotechnology at a project stage of underground ore mining. *Gornyi Zhurnal*. 2016. No. 2. pp. 39–44.
5. Kozyrev A. A., Panin V. I., Semenova I. E., Rybin V. V. Geomechanical support of mining operations in mines of the Murmansk Region. *Gornyi Zhurnal*. 2019. No. 6. pp. 45–50.
6. Sonnov M. A., Trofimov A. V., Rumyantsev A. E., Shpilev S. V. Application of numerical and block geomechanical modelling to determine parameters of large-section chambers. *Gornaya promyshlennost*. 2021. No. 2. pp. 127–131.
7. Tyupin V. N. Establishment of dynamically steady sizes of exposures of the jointed intense massif at chamber options of systems of development. *Vestnik Zabaykalskogo gosudarstvennogo universiteta*. 2016. Vol. 22, No. 6. pp. 31–39.
8. Rasskazov I. Yu. Control and management of rock pressure on the Far Eastern region mines. Moscow : Gornaya kniga, 2008. 329 p.
9. Kurlenya M. V., Mirenkov V. E., Shutov A. V. Stress-strain state of a rock mass in the zone of mutual influence of workings. *Journal of Mining Science*. 2000. Vol. 36, Iss. 3. pp. 200–208.
10. Seryakov V. M. Stress Determination in Rock Mass with Regard to Sequence of Deep-Level Cut-and-Fill. *Journal of Mining Science*. 2021. Vol. 57, Iss. 6. pp. 894–900.
11. Rasskazov I. Yu., Petrov V. A., Fedotova Yu. V., Anikin P. A., Potapchik M. I. et al. Maly Tulukui Deposit in Southeastern Transbaikalia: Geomechanics and Geodynamics. *Journal of Mining Science*. 2021. Vol. 57, Iss. 5. pp. 713–721.
12. Kuranov A. D. Application of numerical modeling for design of safety parameters of safety mining method in highly stressed masses. *Journal of Mining Institute*. 2013. Vol. 206. pp. 60–64.
13. Xia-Ting Feng, Jianpo Liu, Bingrui Chen, Yaxun Xiao, Guangliang Feng et al. Monitoring, Warning, and Control of Rockburst in Deep Metal Mines. *Engineering*. 2017. Vol. 3, Iss. 4. pp. 538–545.
14. Li C. C. Principles of rockbolting design. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*. 2017. Vol. 9, Iss. 3. pp. 396–414.
15. Wang N., Wan B. H., Zhang P., Du X. L. Analysis on deformation development of open-pit slope under the influence of underground mining. *Legislation, Technology and Practice of Mine Land Reclamation : Proceedings of the Beijing International Symposium on Land Reclamation and Ecological Restoration*. London : CRC Press, 2014. pp. 53–58.
16. Braun L. G. Seismic hazard evaluation using apparent stress ratio for mining-induced seismic events : Ph. D. Thesis. Laurentian University, 2015. 257 p.
17. Wesseloo J., Woodward K., Pereira J. Grid-based analysis of seismic data. *The Journal of Southern African Institute of Mining and Metallurgy*. 2014. Vol. 114. pp. 815–822.
18. Tyupin V. N. Initiation of residual stress zone during blasting in jointed granite rock mass in operation of Priargunsky Industrial Mining and Chemical Union. *Gornyi Zhurnal*. 2020. No. 10. pp. 60–64.
19. Tyupin V. N., Ponomarenko K. B. Method to determine rock mass stresses in mining with blasting. *GIAB*. 2022. No. 8. pp. 27–37.
20. Sabyanin G. V., Shilenko S. Yu., Trofimov A. V., Kirkin A. P. Destress blasting in deep mines of NorNickel's Polar Division. *Gornyi Zhurnal*. 2021. No. 2. pp. 32–36.
21. Tyupin V. N. Blasting and Geomechanical Processes in High-Stress Fractured Rock Mass. Belgorod : ID Belgorod NIU BelGU, 2017. 192 p.
22. Simser B. P. Rockburst managements in Canadian hard rock mines. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*. 2019. Vol. 11, Iss. 5. pp. 1036–1043.
23. Małkowski P., Niedbalski Z. A comprehensive geomechanical method for the assessment of rockburst hazards in underground mining. *International Journal of Mining Science and Technology*. 2020. Vol. 30, Iss. 3. pp. 345–355.
24. Jinglin Wen, Husheng Li, Fuxing Jiang, Zhengxing Yu, Haitao Ma et al. Rock burst risk evaluation based on equivalent surrounding rock strength. *International Journal of Mining Science and Technology*. 2019. Vol. 29, Iss. 4. pp. 571–576.
25. Yue H. Z., Yu C., Li H. B., Zhou C. B., Chen S. H. et al. The Effect of Blast-Hole Arrangement, Delay Time, and Decoupling Charge on Rock Damage and Vibration Attenuation in Multihole Blasting. *Shock and Vibration*. 2022. Vol. 2022. 2110160. DOI: 10.1155/2022/2110160
26. Tyupin V. N. Estimation of critical depth of deposits by rock bump hazard condition. *Journal of Mining Institute*. 2019. Vol. 236. pp. 167–171.
27. Petukhov I. M. Classification of rock bursts. *Bezopasnost truda v promyshlennosti*. 1987. No. 12. pp. 41–43.
28. Petukhov I. M. Nature of shock-wise deformation of rock mass. *Gornyi Zhurnal*. 1989. No. 7. pp. 45–48.
29. Protodyakonov M. M., Teder R. I., Ilnitskaya E. I., Yakobashvili O. P., Safronova I. B. et al. Distribution and correlation of indicators of physical properties of rocks : Reference book. Moscow : Nedra, 1981. 192 p.
30. Tyupin V. N., Khaustov V. V., Voronov E. T. Impact of blast zone on mining processes in fractured rock mass. *Gornyi Zhurnal*. 2020. No. 12. pp. 26–29.
31. Tyupin V. N., Rubashkina T. I. Engineering formulas for dimensioning of deformation and damage zones in jointed rock mass under impact of blasting in quarries in Transbaikalia. *Gornyi Zhurnal*. 2021. No. 7. pp. 40–44.

УДК 622.831

ИЗМЕНЕНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ПРИЗАБОЙНОГО МАССИВА ГОРНЫХ ПОРОД ПОСЛЕ ВЗРЫВАНИЯ ПРОХОДЧЕСКИХ ШПУРОВ*

В. Н. ТЮПИН, проф., д-р техн. наук, tyupinvn@mail.ru

Белгородский государственный национальный исследовательский университет, Белгород, Россия

Введение

Напряженно-деформированное состояние (НДС) массива горных пород в призабойной части проходимой выработки важно знать, так как это определяет степень устойчивости, удароопасность образованного забоя и параметры крепления выработки. Призабойной частью проходимой выработки будем считать участок массива горных пород вблизи забоев шпуров, там, где образуются «стаканы». На удароопасных участках месторождений напряженно-деформированное состояние определяет возможность динамических проявлений горного давления в виде стрельаний, интенсивного заколообразования, микроударов и горных ударов. В работе [1] указано, что основные удароопасные ситуации наблюдаются при бурении шпуров (23 %), ведении взрывных работ (50 %). Так, в блоке 6а-812 (слой 4, заходка 4) рудника 1 ПАО «ППГХО» при бурении шпуров произошел микроудар с выбросом из забоя заходки около 2 м³ рудной массы. С глубины 500 м месторождения ПАО «ППГХО» отнесены к опасным по горным ударам.

Оперативно определить НДС теоретическими [2–9] и экспериментальными методами, разработанными отечественными [10–18] и зарубежными [19–23] учеными, в призабойной части проходимой выработки практически невозможно, так как проходческий цикл выполняется минимум один раз в сутки, а как правило, три раза в сутки. Использование приборов для определения степени удароопасности массива не позволяет определить численно НДС.

В работах [24–26] приведено обоснование взрывного метода определения напряженного состояния горного массива, основанного на результатах действия взрыва шпурового заряда при проходке выработок. Даны теоретическая и аналитическая зависимости для расчета НДС, в которых учитываются: диаметр зоны раздавливания («стакана») после взрывания шпура, физико-технические свойства трещиноватого

Проведены экспериментальные исследования по определению напряженно-деформированного состояния призабойного массива горных выработок после взрывания проходческих шпуров. Расчеты показали, что напряженное состояние призабойного массива увеличивается от центра выработки к ее контуру. Приведена аналитическая формула для определения напряженно-деформированного состояния горного массива взрывным методом.

Ключевые слова: горный массив, напряженное состояние, взрывание проходческих шпуров, диаметр «стаканов», призабойный массив, устойчивость, удароопасность

DOI: 10.17580/gzh.2023.12.02

массива, детонационные и геометрические параметры взрываемого ВВ. В работе [26] приведены результаты промышленных экспериментов при взрывании шпуров в железистых кварцитах с определением величины горного давления и сравнением его с полученными посредством методов разгрузки на больших базах и щелевой разгрузки, что указывает на правомерность метода взрывной разгрузки. В процессе проведения промышленных экспериментальных исследований в забоях горно-разведочных выработок рудника № 8 ПАО «ППГХО» установлено, что диаметр «стаканов» от взрывания проходческих шпуров увеличивается от центра забоя к его контуру. Возникает вопрос о причинах этого явления.

Цель исследований – установление изменения напряженно-деформированного состояния горного массива вблизи образованного забоя от его центра к контуру после взрывания комплекта проходческих шпуров и обоснование причин изменения НДС

Методология исследований

Методология исследований заключается в анализе существующих методов определения напряженно-деформированного состояния горного массива по литературным источникам, промышленных экспериментах по замерам диаметра «стаканов» в плоскости забоя горно-разведочных выработок, пройденных в гранитах рудника № 8 ПАО «ППГХО». Также предполагается выполнение расчетов НДС с использованием взрывного метода (по диаметру «стаканов»), с учетом эффекта формирования взрывных остаточных напряжений, анализ результатов расчетов.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках Государственного задания № FZWG-2023-0011.

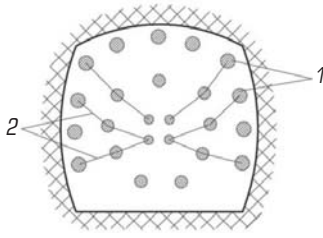


Рис. 1. Схема расположения «стаканов» в плоскости образованного забоя и характерные линии замеров:
 1 – «стаканы»;
 2 – характерные линии замеров

Экспериментальные замеры диаметра «стаканов» в направлении центр – контур выработки

Промышленные экспериментальные исследования проводили с целью установить изменение диаметра «стаканов» с расстоянием от центра выработки. Это позволяет определить НДС в районе расположения забоев взрывааемых шпуров. Исследования выполняли в забоях горно-разведочных выработок на глубине 690 м, проведенных ГРЗ-324 Сосновского производственного геологического объединения (штреки 301, 302, 306) в 1988 г. В настоящее время там расположен рудник № 8 ПАО «ППГХО».

Горный массив представлен гранитами с размером отдельности 0,4–1 м (0,7 м в среднем), число систем трещин 3–4. Физико-технические свойства гранитов приведены в работе [24]. Коэффициент крепости $f = 11 \div 20$; средние параметры физико-механических свойств: предел прочности на сжатие $\sigma_{сж} = 144$ МПа; скорость продольной волны в образце $c = 4,54 \cdot 10^3$ м/с; коэффициент Пуассона $\nu = 0,23$.

Площадь сечения штреков в основном 6,4 м², число шпуров на забой 25–35, расстояние между шпурами 0,4–0,7 м, длина шпуров 1,8 м, диаметр 40 мм. Взрывание электроогневого с интервалом замедления между шпурами 1–5 с. Вруб пирамидальный.

Замеры диаметра «стаканов» проводили на плоскости образованного забоя от центра к периферии по характерным линиям, приведенным на **рис. 1**.

Результаты исследований приведены на **рис. 2**.

Анализ **рис. 2** показывает: с увеличением расстояния от центра выработки диаметр «стаканов» увеличивается. Следовательно, согласно работам [24–26], НДС в окрестностях вновь образуемого забоя увеличивается от центра призабойной части выработки к ее контуру.

Анализ данных, приведенных на **рис. 2**, позволил установить эмпирическую зависимость изменения диаметра «стакана» с расстоянием от центра выработки для гранитных массивов рудника № 8 в виде:

$$D_c = (8 + 5\sqrt[3]{r}) \cdot 10^{-2}, \tag{1}$$

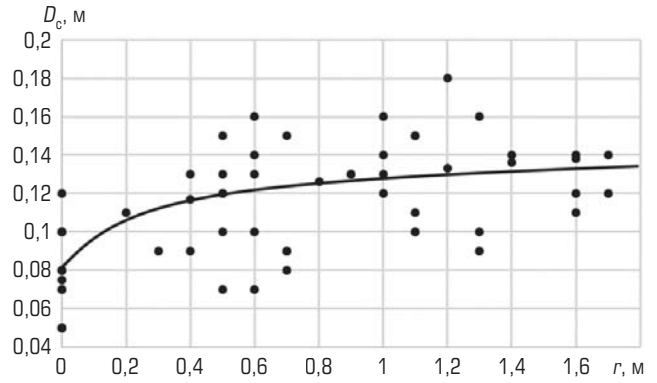


Рис. 2. Зависимость диаметра «стакана» D_c от расстояния до врубовых шпуров r :

точки – экспериментальные данные; линия – эмпирическая кривая по формуле (1)

где r – расстояние от центра забоя выработки (центра «стакана» от врубового шпура) до центра «стакана» отбойного или оконтуривающего шпура, м

Зависимость (1) изображена на **рис. 2** в виде кривой.

Формулы для расчета НДС при использовании взрывного метода

В работе [26] приведена теоретическая формула для расчета величины НДС при использовании взрывного метода:

$$P_B = \sigma_{сж} - \frac{\sqrt{\pi}}{4} \frac{D \rho_B d_3 c}{(D_c - d_3) \Phi} \sqrt{\frac{d_k}{d_e}}, \tag{2}$$

где P_B – величина напряженного состояния горного массива, Па; $\sigma_{сж}$ – предел прочности породы на сжатие, Па; D – скорость детонации ВВ, м/с; ρ_B – плотность заряжения, кг/м³; d_3 – первоначальный диаметр шпура (скважины), м; c – скорость продольной волны в породе, м/с; Φ – показатель трещиноватости; d_k – максимальный размер куска породы в «стакане» после взрыва, м; d_e – размер отдельности в массиве, м.

Подставив в выражение (2) численные значения параметров: $\sigma_{сж} = 144 \cdot 10^6$ Па; $D = 4,4 \cdot 10^3$ м/с; $\rho_B = 656$ кг/м³; $d_3 = 0,04$ м; $c = 4540$ м/с; $\Phi = 6$; $\sqrt{d_k / d_e} = 0,19$, получим аналитическую формулу для расчета НДС в районе образуемых «стаканов» для гранитов рудника № 8:

$$P_B = \left(144 - \frac{7,3}{D_c - 0,04} \right) \cdot 10^6. \tag{3}$$

Подстановка (1) в (3) дает формулу для определения НДС в виде

$$P_B = \left(144 - \frac{7,3}{0,04 + 0,05\sqrt[3]{r}} \right) \cdot 10^6. \tag{4}$$

Результаты расчета НДС, полученные на основе взрывного метода по формуле (4) при $r \geq 0,2$ м, представлены на **рис. 3** (кривая 1).

Теоретическое обоснование изменения НДС после взрывания врубовых, отбойных, оконтуривающих шпуров

Анализ рис. 3 (кривая 1) указывает на то, что с расстоянием от центра выработки НДС увеличивается. Причиной данного явления может быть формирование зоны взрывных остаточных напряжений, наличие которой экспериментально доказано в работах [13, 24]. При взрывании в трещиноватом горном массиве за зонами раздавливания и радиального трещинообразования образуется зона остаточных напряжений в результате смещения отдельностей от зарядов ВВ и их запрессовки в окружающий массив. Величина напряжений в трещиноватом массиве после взрывания одиночного заряда имеет вид [24]

$$P(r) = \frac{\sqrt{\pi}}{8} \frac{D\rho_g d_3 c}{r\Phi} \left(1 - \frac{\mu\nu}{1-\nu} \right) - \mu P + P, \quad (5)$$

где r – расстояние от взрываемого шпура, м; μ – коэффициент трения между отдельностями; ν – коэффициент Пуассона; P – естественное НДС перед взрыванием в ненарушенном массиве, Па.

Величину P в ненарушенном массиве определим на основании исследований ИГД СО РАН, проведенных в гранитах месторождения Антей ПАО «ППГХО» с использованием метода параллельных скважин. Сотрудниками ИГД СО РАН получены эмпирические зависимости изменения трех компонент горного давления с глубиной, приведенные в работах [24, 25]. Расчеты по данным зависимостям при глубине 690 м дают $P_z = 20,5$ МПа, $P_x = 39,6$ МПа, $P_y = 60,1$ МПа. Средняя величина $P = 40,1$ МПа. Иными словами, в районе забоев врубовых шпуров напряжение равно 40,1 МПа.

После взрывания врубового шпура в районе отбойного шпура НДС увеличивается, что можно вычислить по формуле (5) при $r = a = 0,5$ м (a – среднее расстояние между врубовыми и отбойными шпурами), $\mu = 0,53$, $\nu = 0,23$. Тогда напряжение в районе отбойных шпуров равно $P_0 = 50,8$ МПа.

Напряженно-деформированное состояние в районе оконтуривающих шпуров можно вычислить по формуле (5), учитывая, что остаточные напряжения там обеспечивает взрыв врубового, а затем отбойного шпуров. При этом расстояние от врубового до оконтуривающего шпура равно 1,1 м, расстояние от отбойного до оконтуривающего составляет 0,6 м. Тогда НДС в районе оконтуривающих шпуров $P_{ок} = 60,4$ МПа.

Результаты расчетов величины НДС с учетом формирования взрывных остаточных напряжений приведены на рис. 3 в виде точек и кривой 2. Анализ рис. 3 указывает на то, что зависимости НДС, определенные взрывным методом [25, 26] (по «стаканам», кривая 1) и с учетом формирования зоны взрывных остаточных напряжений (кривая 2), практически соответствуют.

Аналогичные исследования проведены при проходке выработок в кварцитах дренажной шахты Михайловского ГОКа, глубина 290 м [27]. Экспериментально в промышленных условиях установлено, что диаметр зоны раздавливания («стаканов»)

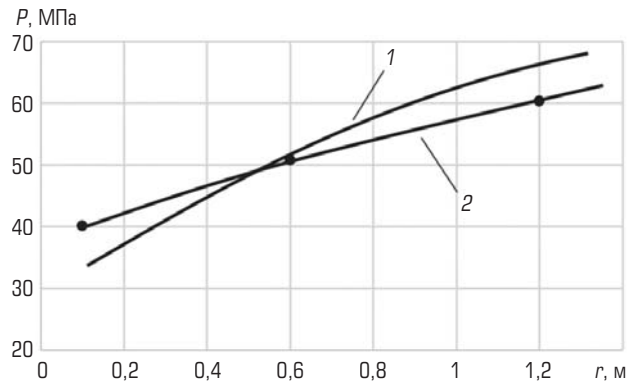


Рис. 3. Изменение величины P с расстоянием от центра выработки r в гранитах рудника № 8, определенное взрывным методом:

- 1 – эмпирическая зависимость по формуле (4);
- 2 – с учетом формирования зоны взрывных остаточных напряжений по формуле (5)

увеличивается от центра к контуру выработок с 0,112 до 0,154 м. Расчеты по аналитической формуле, разработанной для кварцитов, позволили установить увеличение напряженного состояния призабойной части горного массива с 10,2 МПа (в центре выработки) до 57,8 МПа в районе оконтуривающих шпуров.

Выводы

Промышленные экспериментальные исследования в забоях горно-разведочных выработок рудника № 8 ПАО «ППГХО» позволили установить, что диаметр «стаканов» увеличивается от центра забоя к его контуру в среднем от 0,08 до 0,14 м.

Получена аналитическая формула для определения НДС взрывным методом по диаметру «стаканов» при проходке выработок в гранитах рудника № 8 ПАО «ППГХО». Расчеты по формуле показали, что от центра забоя к его контуру напряжение увеличивается с 35–40 до 60–70 МПа. Аналогичные исследования проведены при проходке выработок в кварцитах дренажной шахты Михайловского ГОКа. Установлено, что диаметр зоны раздавливания («стаканов») увеличивается от центра к контуру выработок с 0,112 до 0,154 м, напряжение призабойной части горного массива – с 10,2 до 57,8 МПа.

Расчетами доказано, что последовательное взрывание проходческих шпуров от центра к контуру выработки приводит к увеличению НДС в районе отбойных и оконтуривающих шпуров за счет формирования там взрывных остаточных напряжений, что и увеличивает диаметр «стаканов».

Результаты расчетов НДС в окрестностях забоев взрываемых шпуров взрывным методом (по диаметру «стаканов») и с учетом формирования взрывных остаточных напряжений практически совпадают.

Использование взрывного метода позволяет оперативно определять напряженное состояние в призабойной части горного массива в процессе проходки выработок.

Библиографический список

- Ильин А. М. Проблемы горных ударов в горной промышленности // Безопасность труда в промышленности. 1984. № 10. С. 36–38.
- Курленя М. В., Миренков В. Е., Шутов А. В. Напряженно-деформированное состояние массива горных пород в зоне взаимного влияния выработок // ФТПРПИ. 2000. № 3. С. 8–15.
- Серяков В. М. Расчет напряженного состояния горных пород с учетом последовательности отработки и закладки рудных тел на больших глубинах // ФТПРПИ. 2021. № 6. С. 18–26.
- Ерёменко В. А., Хажылылай Ч. В., Умаров А. Р., Лагутин Д. В. Количественная оценка напряженно-деформированного состояния горного массива Северомуйского тоннеля // Горный журнал. 2023. № 1. С. 58–64.
- Кочарян Г. Г., Золотухин С. Р., Калинин Э. В., Панасьян Л. Л., Спугин В. Г. Напряженно-деформированное состояние массива горных пород Коробковского железорудного месторождения на участке зоны тектонических нарушений // ФТПРПИ. 2018. № 1. С. 16–24.
- Павлов А. М. Прогноз геомеханического состояния массива горных пород глубоких горизонтов Зун-Холбинского месторождения // ГИАБ. 2020. № 5. С. 105–114.
- Менгель Д. А. Изменение первоначального напряженного состояния северного участка Соколовского месторождения в процессе отработки // ГИАБ. 2020. № 3-1. С. 138–148.
- Масаев Ю. А., Тимофеев Д. В. Исследование влияния напряженного состояния горного массива на эффективность взрывных работ // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2002. № 5(30). С. 53–54.
- Казикаев Д. М. Геомеханика подземной разработки руд. – М.: МГГУ, 2009. – 542 с.
- Николенко П. В., Шкуратник В. Л., Чепур М. Д., Кошелев А. Е. Использование эффекта Кайзера в композиционных материалах для контроля напряженного массива горных пород // ФТПРПИ. 2018. № 1. С. 25–31.
- Сергеев С. В., Сеница И. В. Геомеханическое сопровождение подземной отработки железных руд на комбинате «КМАруда» // Горный журнал. 2019. № 8. С. 30–33.
- Хмелинин А. П. Разработка комплексного геофизического метода для выбора места заложения скважин геомеханических измерений и контроля процесса их бурения : дис. ... канд. техн. наук. – Новосибирск, 2014. – 165 с.
- Тюпин В. Н. Механизм формирования зоны остаточных напряжений при взрывании в трещиноватом гранитном массиве рудников ПАО «ППГХО» // Горный журнал. 2020. № 10. С. 60–64.
- Шкуратник В. Л. Методы определения напряженно-деформированного состояния массива горных пород. – М.: МГГУ, 2012. – 112 с.
- Рассказов И. Ю., Федотова Ю. В., Сидляр А. В., Потанчук М. И. Анализ проявлений техногенной сейсмичности в удароопасном массиве пород Николаевского месторождения // ГИАБ. 2020. № 11. С. 46–56.
- Лейзер В. И. Система ориентированного нагружения и разрыва стенок скважины для оценки напряжений в массиве горных пород // Горный журнал. 2023. № 1. С. 54–58.
- Адушкин В. В., Кишкина С. Б., Куликов В. И., Павлов Д. В., Анисимов В. Н. и др. Построение системы мониторинга потенциально опасных участков Коробковского месторождения Курской магнитной аномалии // ФТПРПИ. 2017. № 4. С. 3–13.
- Чанышев А. И., Абдулин И. М. Определение напряженно-деформированного состояния горных пород по данным измерений на контуре выработки вектора напряжений Коши и вектора смещений // ФТПРПИ. 2021. № 1. С. 13–20.
- Gui Y. L., Zhao Z. Y., Jayasinghe L. B., Zhou H. Y., Goh A. T. C. et al. Blast wave induced spatial variation of ground vibration considering field geological conditions // International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences. 2018. Vol. 101. P. 63–68.
- Duc-Phi Do, Nam-Hung Tran, Hong-Lam Dang, Dashnor Hoxha. Closed-form solution of stress state and stability analysis of wellbore in anisotropic permeable rocks // International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences. 2019. Vol. 113. P. 11–23.
- Xia-Ting Feng, Jianpo Liu, Bingrui Chen, Yaxun Xiao, Guangliang Feng et al. Monitoring, Warning, and Control of Rockburst in Deep Metal Mines // Engineering. 2017. Vol. 3. Iss. 4. P. 538–545.
- Li C. C. Principles of rockbolting design // Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering. 2017. Vol. 9. No. 3. P. 396–414.
- De Souza J. C., Da Silva A. C. S., Rocha S. S. Analysis of blasting rocks prediction and rock fragmentation results using split-desktop software // Tecnologia em Metalurgia, Materiais e Mineração. 2018. Vol. 15. No. 1. P. 22–30.
- Тюпин В. Н. Взрывные и геомеханические процессы в трещиноватых напряженных горных массивах. – Белгород: ИД «Белгород», 2017. – 192 с.
- Тюпин В. Н., Рубашкина Т. И. Взрывные методы определения напряженного состояния массивов горных пород // ФТПРПИ. 2018. № 4. С. 44–50. DOI: 10.15372/FTPRPI20180406
- Тюпин В. Н., Пономаренко К. Б. Разработка метода определения напряженного состояния горного массива при взрывной проходке выработок // ГИАБ. 2022. № 8. С. 27–37. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_8_0_27
- Тюпин В. Н., Пономаренко К. Б. Характер изменения напряженного состояния призабойного горного массива после взрывания проходческих шпуров // Маркшейдерия и недропользование. 2023. № 1(123). С. 52–56. DOI: 10.56195/20793332_2023_1_52_56

«GORNYI ZHURNAL», 2023, № 12, pp. 10–14
DOI: 10.17580/gzh.2023.12.02

Change in the stress–strain behavior of rock mass after heading-aimed blasting

Information about author

V. N. Tyupin¹, Professor, Doctor of Engineering Sciences, tyupinvn@mail.ru
¹Belgorod State University, Belgorod, Russia

Abstract

The full-scale experimental research implemented in exploration openings in Mine 8 of Priargunsky Mining and Chemical Production Association (PMCPA) shows that the diameters of the blast-induced “barrels” in heading boreholes grow from the center to periphery of the face of an underground opening from 0.08 to 0.014 m on the average. The analytical formula is presented for the stress state evaluation (by the blast-induced “barrel” diameter) in granite rock mass during heading-aimed blasting in Mine 8, PMCPA. The calculations show that the stress state of adjacent rock mass increases from the center to periphery of the face of an underground opening. The calculations prove that sequential blasting of heading holes in the direction from the underground opening face center to its

periphery increases the stress state in rock mass in the area of delineating and breaking holes owing to generation of blast-induced residual stresses, which ensures enlargement of “barrel” diameters. This method enables the real-time determination of stress state in adjacent rock mass during heading operations. The same research was carried out during heading operations in quartzite in a drainage mine at Mikhailovsky GOK. It is found that the diameter of the crushing zone (“barrel”) increases from 0.112 to 0.154 m from the center to periphery of underground openings, and the stress state in adjacent rock mass grows from 10.2 to 57.8 MPa.

The study was supported by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation, State Contract No. FZWG-2023-0011.

Keywords: rock mass, stress state, heading-aimed blasting, “barrel” diameter, adjacent rock mass, stability, rockburst hazard

References

- Ilin A. M. Rock bursts in mining industry. *Bezopasnost truda v promyshlennosti*. 1984. No. 10. pp. 36–38.
- Kurlenya M. V., Mirenkov V. E., Shutov A. V. Stress–strain state of a rock mass in the zone of mutual influence of workings. *Journal of Mining Science*. 2000. Vol. 36, Iss. 3. pp. 200–208.

3. Seryakov V. M. Stress determination in rock mass with regard to sequence of deep-level cut-and-fill. *Journal of Mining Science*. 2021. Vol. 57, Iss. 6. pp. 894–900.
4. Eremenko V. A., Khazhyylai Ch. V., Umarov A. R., Lagutin D. V. Quantitative assessment of rock mass stress-strain behavior at Severomuysky Tunnel. *Gornyi Zhurnal*. 2023. No. 1. pp. 58–64.
5. Kocharyan G. G., Zolotukhin S. R., Kalinin E. V., Panasyan L. L., Spungin V. G. Stress-strain state of rock mass in the zone of tectonic fractures in the Korobkov iron ore deposit. *Journal of Mining Science*. 2018. Vol. 54, Iss. 1. pp. 13–20.
6. Pavlov A. M. Prediction of geomechanical behavior of deep-level rock mass in the Zun-Kholba deposit. *GIAB*. 2020. No. 5. pp. 105–114.
7. Mengel D. A. Alteration of initial stress state in the north area of the Sokolov deposit in the course of mining. *GIAB*. 2020. No. 3-1. pp. 138–148.
8. Masev Yu. A., Timofeev D. V. Stress state effect on blasting performance in rock masses. *Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*. 2002. No. 5(30). pp. 53–54.
9. Kazikaev D. M. Geomechanics of underground ore mining. Moscow : MGGU, 2009. 542 p.
10. Nikolenko P. V., Shkuratnik V. L., Chepur M. D., Koshelev A. E. Using the Kaiser effect in composites for stressed rock mass control. *Journal of Mining Science*. 2018. Vol. 54, Iss. 1. pp. 21–26.
11. Sergeev S. V., Sinita I. V. Geomechanical supervision of underground mining at Kombinat KMAruda. *Gornyi Zhurnal*. 2019. No. 8. pp. 30–33.
12. Khmelinin A. P. Integrated geophysical method for the location of geomechanical measurement wells and their drilling control : Dissertation of Candidate of Engineering Sciences. Novosibirsk, 2014. 165 p.
13. Tyupin V. N. Initiation of residual stress zone during blasting in jointed granite rock mass in operation of Priargunsky Industrial Mining and Chemical Union. *Gornyi Zhurnal*. 2020. No. 10. pp. 60–64.
14. Shkuratnik V. L., Nikolenko P. V. Methods of identification of deflected mode of rock massif: Science and Education Course. Moscow : MGGU, 2012. 12 p.
15. Rasskazov I. Yu., Fedotova Yu. V., Sydylyar A. V., Potapchuk M. I. Analysis of induced seismic events in rockburst-hazardous Nikolaevsk deposit. *GIAB*. 2020. No. 11. pp. 46–56.
16. Leizer V. I. System of directed loading and rupture of borehole walls for stress assessment in rock mass. *Gornyi Zhurnal*. 2023. No. 1. pp. 54–58.
17. Adushkin V. V., Kishkina S. B., Kulikov V. I., Pavlov D. N., Anisimov V. N. et al. Monitoring potentially hazardous areas at Korobkovo deposit of the Kursk Magnetic Anomaly. *Journal of Mining Science*. 2017. Vol. 53, Iss. 4. pp. 605–613.
18. Chanyshiev A. I., Abdulin I. M. Stress-Strain behavior of rocks from the measurements of vectors of the Cauchy stresses and displacements at the boundary of an underground excavation. *Journal of Mining Science*. 2021. Vol. 57, Iss. 1. pp. 10-17.
19. Gui Y. L., Zhao Z. Y., Jayasinghe L. B., Zhou H. Y., Goh A. T. C. et al. Blast wave induced spatial variation of ground vibration considering field geological conditions. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*. 2018. Vol. 101. pp. 63–68.
20. Duc-Phi Do, Nam-Hung Tran, Hong-Lam Dang, Dashnor Hoxha. Closed-form solution of stress state and stability analysis of wellbore in anisotropic permeable rocks. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*. 2019. Vol. 113. pp. 11–23.
21. Xia-Ting Feng, Jianpo Liu, Bingrui Chen, Yaxun Xiao, Guangliang Feng et al. Monitoring, warning, and control of rockburst in deep metal mines. *Engineering*. 2017. Vol. 3, Iss. 4. pp. 538–545.
22. Li C. C. Principles of rockbolting design. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*. 2017. Vol. 9, Iss. 3. pp. 396–414.
23. De Souza J. C., Da Silva A. C. S., Rocha S. S. Analysis of blasting rocks prediction and rock fragmentation results using split-desktop software. *Tecnologia em Metalurgia, Materiais e Mineração*. 2018. Vol. 15, No. 1. pp. 22–30.
24. Tyupin V. N. Blasting and Geomechanical Processes in High-Stress Fractured Rock Mass. Belgorod : ID Belgorod NIU BelGU, 2017. 192 p.
25. Tyupin V.N., Rubashkina T.I. Blasting methods of stress state determination in rock mass. *Journal of Mining Science*. 2018. Vol. 54, Iss. 4. pp. 569–574.
26. Tyupin V. N., Ponomarenko K. B. Method to determine rock mass stresses in mining with blasting. *GIAB*. 2022. No. 8. pp. 27–37.
27. Tyupin V. N., Ponomarenko K. B. The character of variation stressed state in mine working after explosion blast-hole when the drifting method. *Marksheyderiya i nedropolzovanie*. 2023. No. 1(123). pp. 52–56.

УДК 550.4:556.388

ОСОБЕННОСТИ ТРАНСФОРМАЦИИ ЭКОЛОГО-ГИДРОГЕОХИМИЧЕСКОЙ ОБСТАНОВКИ ТЕРРИТОРИЙ В ПРЕДЕЛАХ ЗОН ВЛИЯНИЯ СТОЙЛЕНСКОГО ГОРНОДОБЫВАЮЩЕГО КОМПЛЕКСА

И. И. КОСИНОВА¹, зав. кафедрой, проф., д-р геол.-минерал. наук, kosinova777@yandex.ru

И. М. ИГНАТЕНКО², доцент, канд. техн. наук

А. А. КУРЫШЕВ¹, доцент, канд. геол.-минерал. наук

В. А. БУДАРИНА¹, доцент, канд. юр. наук

¹Воронежский государственный университет, Воронеж, Россия

²Белгородский государственный национальный исследовательский университет, Белгород, Россия

Введение

Старооскольский район расположен в южной части Среднерусской возвышенности. В его пределах сосредоточены богатейшие запасы как рудных, так и нерудных (неметаллических) полезных ископаемых Курской магнитной аномалии

Проведены исследования по выявлению специфики трансформации эколого-гидрогеохимической обстановки на территории в пределах зоны влияния Стойленского горнодобывающего комплекса Курской магнитной аномалии. Оценены масштабы химического загрязнения окружающей среды. Для большей части обследуемой территории установлено умеренно-опасное состояние подземных вод. В качестве основных загрязнителей определены свинец и железо.

Ключевые слова: загрязняющие вещества, водоносные горизонты, карьеры, фоновые значения, зона влияния, микрокомпоненты, сельские поселения

DOI: 10.17580/gzh.2023.12.03

(КМА). Железные руды залегают на глубине от 135 м под осадочными разновозрастными породами. На Стойленском ГОКе ежегодно добывают 3,6 млн т богатых руд, 4,8 млн т мела,

пригодного для переработки (ежегодный прирост в 5 млн т использует цементный завод) [1–3]. В месторождениях Стойленское, Лебединское, Коробковское, Гостищевское, Яковлевское, Приоскольское сосредоточено свыше 60 % запасов руд КМА. Отличием Старооскольского горнопромышленного комплекса является его расположение в пределах плотно освоенной и заселенной территории, где земли сельских поселений вплотную примыкают к горному отводу предприятия. Одним из ярких примеров смыкания предприятий горнопромышленной деятельности и аграрных площадей сельских поселений Белгородской области является Долгополянское сельское поселение. Актуальность проведенных исследований определяется длительным по времени и значимым по масштабам воздействием отработки карьеров на подземную гидросферу прилегающих территорий [4–7]. Эколого-гидрогеохимическая оценка процессов трансформации подземных вод является основой разработки системы водоснабжения региона [8, 9].

В пределах разрабатываемого месторождения на докембрийских породах развита позднепротерозойско-раннепалеозойская кора выветривания, сформировавшая в отдельных рудных районах КМА залежи остаточных богатых железных руд, залегающих на окисленных железистых кварцитах [2]. Кристаллический фундамент перекрыт чехлом из осадочных пород девона, юры, мела, палеогена, неогена и четвертичных отложений, являющихся вмещающими породами для водоносных горизонтов (маастрихт-туронского, неоком-аптского) и комплексов (четвертичного, неоген-палеогенового, альб-сеноманского, юрского, девонского, архей-протерозойского).

В пределах Долгополянского сельского поселения для хозяйственно-питьевых целей преимущественно используют четвертичный и альб-сеноманский водоносные комплексы. Оработка Стойленского и Лебединского карьеров в течение более 62 лет привела к значительной трансформации подземной гидросферы [3, 10].

Долгополянское сельское поселение является административно-территориальной единицей в составе Старооскольского района Белгородской области. На северной границе оно граничит с отвалами и хвостохранилищами Стойленского и Лебединского ГОКов. По территории сельского поселения проходит большое число высоковольтных линий электропередач и трубопроводов, которые необходимы для обеспечения горнопромышленной деятельности.

Объекты и методы исследования

Подземные воды в пределах района исследований отбирали из колодцев и 13 водозаборных скважин, являющихся источниками централизованного водоснабжения. Оценка степени химического загрязнения проводят по показателям, разработанным при сопряженных геохимических и гигиенических исследованиях окружающей среды [11, 12]. Коэффициент концентрации относительно ОДК / ПДК характеризует превышение содержания элемента в пробе:

$$K_{\text{ОДК(ПДК)}} = C_i / \text{ОДК(ПДК)}, \quad (1)$$

где C_i – фактическое содержание i -го химического элемента в пробе, мг/дм³.

Коэффициент концентрации K_{ci} характеризует интенсивность аномалии:

$$K_{ci} = C_i / C_{\text{фи}i}, \quad (2)$$

где $C_{\text{фи}i}$ – фоновое содержание i -го химического элемента в пробе, мг/дм³.

Фоновые значения для исследуемых загрязняющих веществ по подземным водам приняты в соответствии со средним содержанием в подземных водах зоны выщелачивания (ПВЗВ) умеренного климата [13–16].

В процессе эколого-гидрогеохимических исследований оценку проводили по двум схемам: нормирование относительно ПДК; нормирование относительно фоновых значений.

При эколого-гидрогеохимической оценке состояния подземных вод основным оценочным параметром являлось содержание микро- и макрокомпонентов [17, 18]. При этом показатели загрязнения отдельных объектов интерполировали на весь горизонт в пределах исследуемого сельского поселения [19].

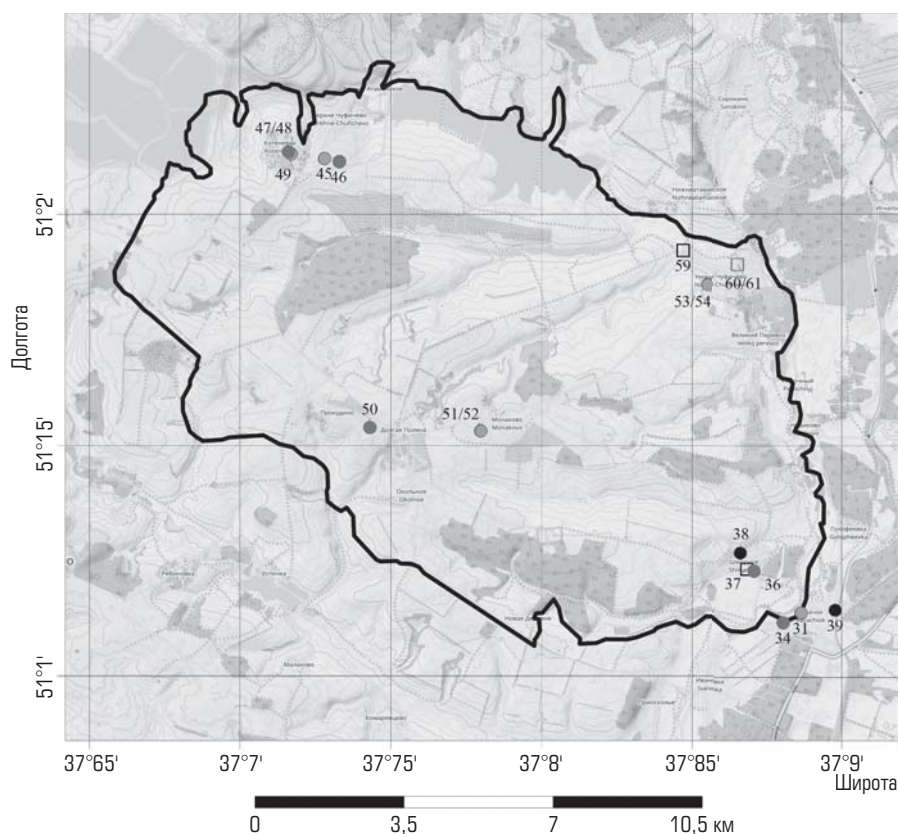
Результаты и их обсуждение

Основными эксплуатационными водоносными комплексами для исследуемой территории являются средневерхнечетвертичный аллювиальный аQ_{II-III} и альб-сеноманский Kal-s [2]. Частично используется маастрихт-туронский водоносный комплекс аQ_{II-III}. Система водоснабжения включает колодцы и схему централизованной подачи воды из скважин. Каждый населенный пункт Долгополянского сельского поселения имеет собственные источники водоснабжения. Воды средневерхнечетвертичного аллювиального водоносного комплекса эксплуатируются жителями сельского поселения через систему колодцев. Их глубина залегания варьирует от 7 до 15 м. Централизованное водоснабжение осуществляют в основном из альб-сеноманского водоносного комплекса, глубина залегания которого превышает 90 м. Установлено, что 50 % обследуемых колодцев не пригодны для использования по органолептическим и химическим показателям. Для отдельных водоподъемных скважин отмечено отсутствие зон санитарной охраны I пояса.

По результатам обследования территории составлена карта-схема эколого-гидрогеохимической оценки современного состояния объектов водного хозяйства (рис. 1).

Результаты определения макрокомпонентного состава подземных вод представлены на диаграммах Стиффа [20], отражающих эквивалентный состав воды в пунктах опробования.

По химическому составу подземные воды средневерхнечетвертичного аллювиального водоносного комплекса гидрокарбонатные кальциевые, пресные, средней жесткости (жесткость карбонатная), pH = 7,2÷8,1. Сухой остаток не превышает 462 мг/л. Окисляемость не превышает нормы (рис. 2). Следует обратить внимание на некоторое защелачивание вод данного горизонта.



- | | |
|--------------------|----------------------------------|
| Состояние колодцев | Состояние зоны санитарной охраны |
| □ Непригодные | ● Неудовлетворительное |
| □ Пригодные | ● Удовлетворительное |
| | ● Централизованная сеть |

Рис. 1. Карта эколого-гидрогеохимической оценки современного состояния объектов водоснабжения Долгополянского сельского поселения.

Село Котеневка расположено в непосредственной близости к отвалам Стойленского ГОКа (рис. 4). В глубине представленного рисунка видны контуры отвала Стойленского ГОКа.

Глубина водозаборной скважины составляет 120 м. По сведениям местных жителей, ранее вода здесь имела красный цвет, была сильно ожежена. В настоящее время водозабор дополнен станцией водоподготовки по очистке воды от железа.

По химическому составу подземные воды альб-сеноманского водоносного комплекса гидрокарбонатные кальциевые, пресные, средней жесткости (жесткость карбонатная), $pH = 7,2 \div 7,8$. Сухой остаток в пробах не превышает 440 мг/л. Окисляемость находится в пределах нормы (рис. 5).

Большая часть показателей макрокомпонентного состава воды отвечает требованиям нормативов. Превышения наблюдаются по железу и общей жесткости. Несмотря на примененные системы водоподготовки, коэффициент концентрации железа относительно ПДК равен 5. Коэффициент концентрации общей жесткости незначительно превышает 1 (1,13). Повышенное содержание железа и показателя общей жесткости связано с деятельностью железорудного карьера.

Второй метод оценки степени трансформации эколого-гидрогеохимической обстановки базировался на нормировании относительно показателей среднего содержания в подземных водах зон выщелачивания умеренного климата. В результате выявлены динамика макрокомпонентного состава всех исследуемых водоносных комплексов.

Содержание кальция во всех пробах в среднем увеличено в 2–2,5 раза, гидрокарбонатов – в 1,5–2 раза. Превышение содержания магния в 1,5–2 раза относительно ПВЗВ выявлено в средневерхнечетвертичном аллювиальном и альб-сеноманском водоносных комплексах. Наибольший коэффициент концентрации относительно ПВЗВ натрия и калия

Практически все показатели макрокомпонентного состава воды отвечают требованиям нормативов. В северной части территории выявлено повышенное содержание железа. Коэффициент концентрации железа в пробах относительно ПДК составляет 1,73 и 1,33. Обнаружено незначительное превышение по общей жесткости: при ПДК = 7 ммоль/л показатели общей жесткости составили 7,33 и 7,55 ммоль/л ($K_{ПДК} = 1,05; 1,08$). В колодцах обнаружен землистый запах, который составляет 3 балла при ПДК, равной 2 баллам. Такие показатели могут быть вызваны тем, что колодцы используют нерегулярно, только для технических целей в связи с наличием централизованного водоснабжения.

Водоснабжение с. Шмарное, входящего в Долгополянское сельское поселение, осуществляется из маастрихт-туронского водоносного комплекса, залегающего на глубине 30–50 м. По химическому составу подземные воды данного комплекса гидрокарбонатные кальциевые, пресные, средней жесткости (жесткость карбонатная), $pH = 7,3 \div 7,7$. Сухой остаток в пробах не превышает 444 мг/л. Окисляемость находится в пределах нормы (рис. 3). Почти все показатели макрокомпонентного состава воды отвечают требованиям нормативов. Коэффициент концентрации железа относительно ПДК равен 1,10. Превышение содержания железа является характерной особенностью подобных железорудных районов.

Опробование альб-сеноманского водоносного комплекса осуществляли по скважинам водоснабжения отдельных сел.

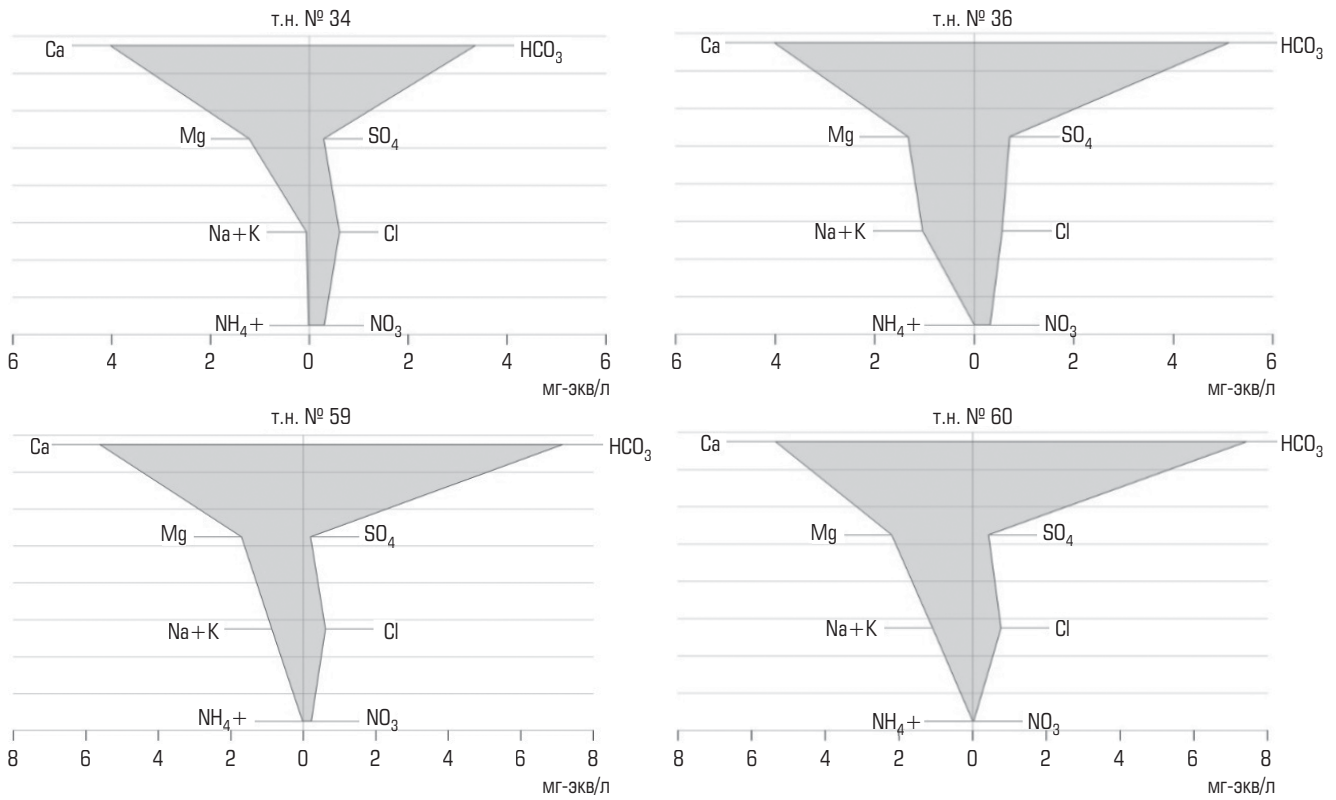


Рис. 2. Макрокомпонентный состав подземных вод средневерхнечетвертичного аллювиального водоносного комплекса аQ_{II-III} Долгополянского сельского поселения (диаграммы Стиффа)

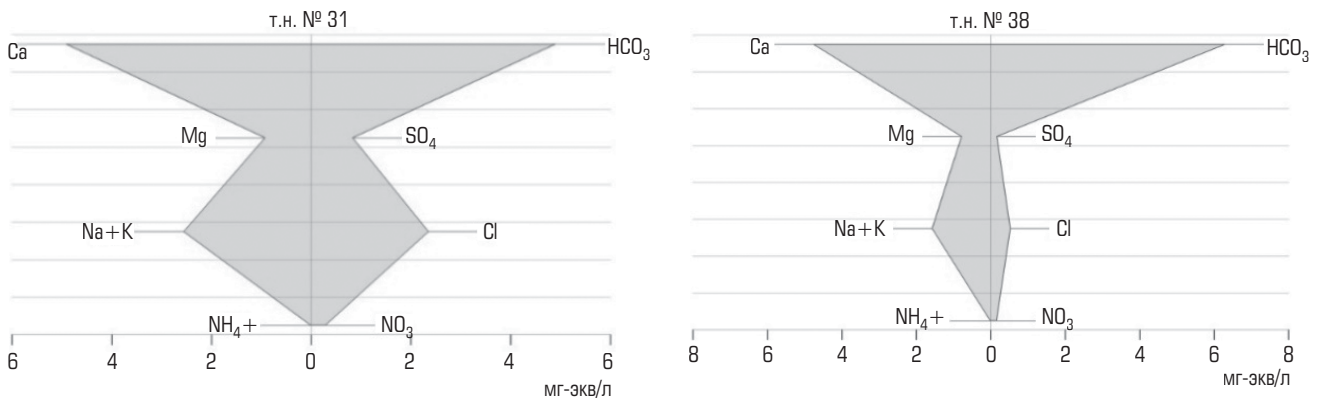


Рис. 3. Макрокомпонентный состав подземных вод маастрихт-туронского водоносного комплекса аQ_{II-III} Долгополянского сельского поселения (диаграммы Стиффа)

в средневерхнечетвертичном водоносном горизонте незначителен и практически равен 1,05, максимальный коэффициент концентрации в маастрихт-туронском водоносном комплексе составляет 2,47, в альб-сеноманском водоносном горизонте максимальное значение $K_{ПВЗВ} = 1,66$. Коэффициент концентрации сульфатов варьирует от 1,13 до 2,25. Содержание хлора в среднем увеличено в 1,5 раза при максимуме $K_{ПВЗВ} = 5,25$. Высокое содержание нитратов установлено в средневерхнечетвертичном водоносном горизонте, коэффициент концентрации

варьирует от 6,48 до 9,39. В маастрихт-туронском водоносном комплексе по содержанию нитратов $K_{ПВЗВ} = 8,17$. В пределах альб-сеноманского горизонта содержание нитратов почти не превышает фоновых значений.

Подобные показатели свидетельствуют о заметном техногенном преобразовании подземных вод в районе исследования. Освоение железорудных месторождений и создание сопутствующей инфраструктуры привели к изменению естественного режима подземных вод. Формирование

депресссионных воронок и активизация процессов выщелачивания обусловили увеличение содержания макрокомпонентов относительно фоновых значений.

Результаты исследований микрокомпонентного состава подземных вод представлены в **табл. 1**.

Относительно ПВЗВ наблюдается существенное превышение концентраций микроэлементов в анализируемых пробах для средневерхнечетвертичного аллювиального и, в особенности, альб-сеноманского водоносных комплексов (**табл. 2**).

Сравнительная оценка концентрации микрокомпонентов в подземных водах средневерхнечетвертичного аллювиального и альб-сеноманского водоносного комплексов представлена на **рис. 6**.

Коэффициент концентрации стронция относительно ПВЗВ варьирует от 11,70 до 19,32. Максимальный коэффициент концентрации бария составляет 5,77. Содержание свинца превышено относительно фоновых значений в 2–4 раза. Очень высокое содержание цинка отмечено в трех пробах, максимальная концентрация наблюдается в пробе № 48 ($K_{ПВЗВ} = 13,95$). Коэффициент концентрации никеля варьирует от 3,33 до 4,67, меди – от 2 до 6,6. Содержание хрома увеличено только в пробе № 54 ($K_{ПВЗВ} = 2,33$). В качестве основных загрязняющих элементов выделены: стронций (максимальный $K_K=18$), цинк (максимальный $K_K=14$), медь (максимальный $K_K=7$). Высокое содержание стронция



Рис. 4. Водозабор с. Котеневка со станцией по водоподготовке

предположительно связано с породами карбонатной серии. В диапазоне превышения K_K от 5 до 6 располагаются барий, никель и свинец. Причины данных аномалий будут установлены после эколого-гидрогеохимических исследований подземных

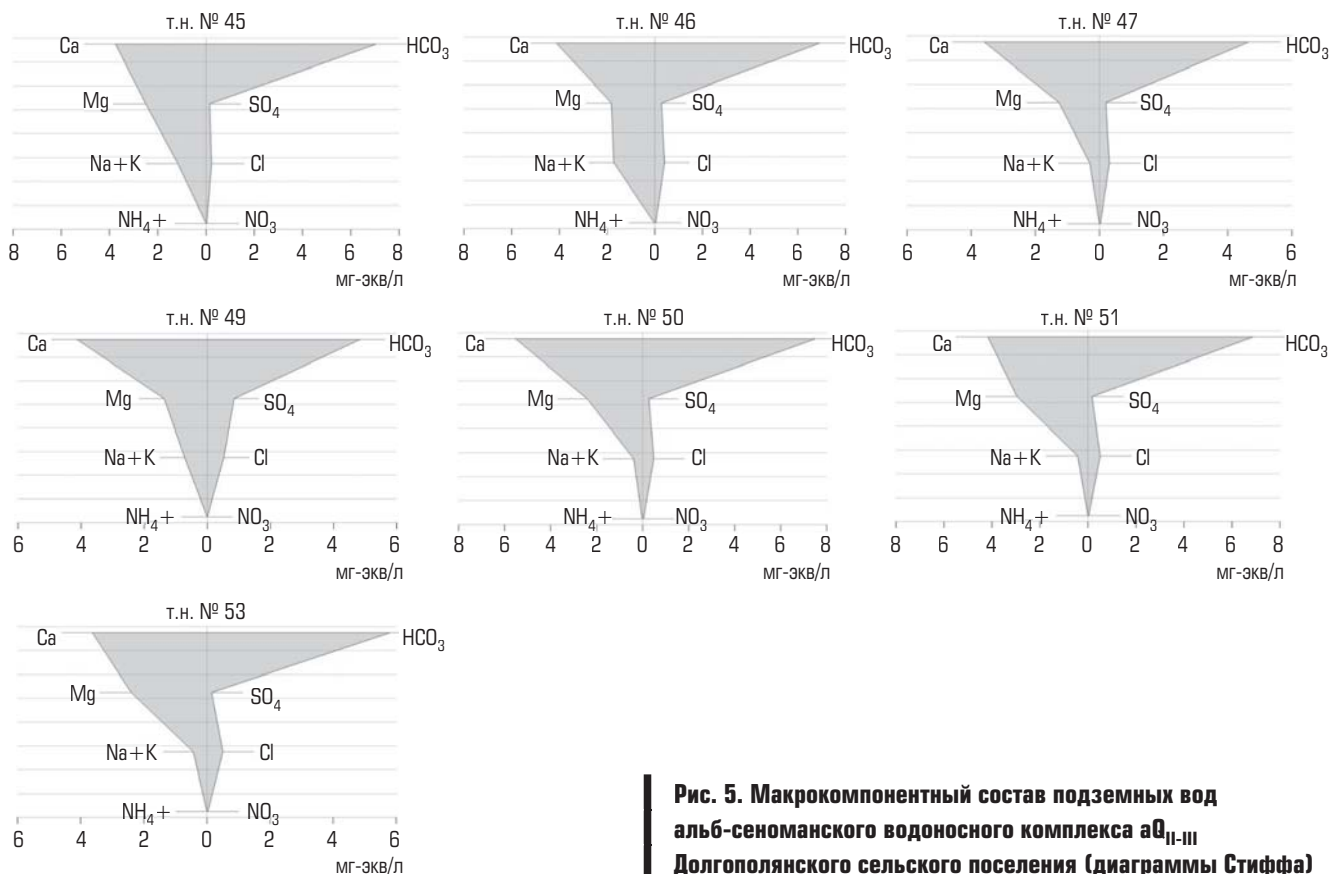


Рис. 5. Макрокомпонентный состав подземных вод альб-сеноманского водоносного комплекса аQ_{II-III} Долгополянского сельского поселения (диаграммы Стиффа)

вод удаленных от карьеров участков Белгородской области. Авторы полагают, что данная ситуация сформировалась как в результате природных особенностей гидрогеологического строения региона КМА, так и вследствие преобразования гидродинамической обстановки в районах горнодобывающих предприятий.

Заключение

Проведенные эколого-гидрогеохимические исследования территории Долгополянского сельского поселения Старооскольского района Белгородской области позволили сделать следующие выводы.

1. На большей части исследуемой территории (60 %) состояние подземных вод оценивается как умеренно-опасное. Ключевые загрязнители подземных вод по K_k относительно ПДК относятся ко 2-му (Pb) и 3-му (Fe) классам опасности.

2. Выявлено, что большая часть обследуемых колодцев не пригодна для использования по органолептическим и химическим показателям. Для ряда водозаборных скважин отмечено отсутствие санитарной охраны I пояса.

3. В водах рассмотренных водоносных комплексов показатели макрокомпонентного состава отвечают требованиям нормативов. Исключение составляют показатели по железу, нитратам и общей жесткости. Выявлены особенности техногенной трансформации водоносных комплексов по разрезу. Первый от поверхности средневерхнечетвертичный аллювиальный водоносный комплекс испытывает негативное воздействие агропромышленного и селитебного типов, что проявляется в повышенном содержании нитратов. Максимальные трансформации макро- и мезокомпонентного составов относительно фоновых значений зафиксированы в водах маастрихт-туронского водоносного комплекса. Он располагается на средних глубинах 30–50 м и испытывает максимальное воздействие как поверхностных источников (нитратное загрязнение), так и техногенных процессов выщелачивания в рамках депрессионной воронки.

4. Максимально глубокий альб-сеноманский водоносный комплекс отличается природной защищенностью и находится вне основного контура депрессионной воронки. Уровни его преобразования по макро- и мезокомпонентному составу минимальные. Однако его подверженность негативным процессам подтверждается наличием загрязнения подземных вод свинцом в концентрациях, близких к ПДК и превышающих их.

5. Установлено, что наиболее эффективным методом оценки степени трансформации эколого-гидрогеохимической обстановки является сравнение содержания компонентов подземных вод с химическим составом вод зоны выщелачивания

Таблица 1. Коэффициент концентрации микрокомпонентов относительно ПДК

Номер точки наблюдений	Sr	Ba	As	Pb	Zn	Ni	Cu	Co	V	Cr	Rb
<i>Средневерхнечетвертичный аллювиальный водоносный горизонт aQ_{II-III}</i>											
61	0,32	0,10	–	–	0,02	0,50	0,01	–	–	0,06	–
<i>Альб-сеноманский водоносный горизонт Kal-s</i>											
48	0,46	0,09	–	1,40	0,11	0,50	0,03	–	–	0,04	–
52	0,44	0,25	–	0,80	0,01	0,70	0,00	–	–	0,02	–
54	0,52	0,17	–	0,70	0,02	0,50	0,03	–	–	0,14	–

Таблица 2. Коэффициент концентрации микрокомпонентов относительно ПВЗВ

Номер точки наблюдений	Sr	Ba	As	Pb	Zn	Ni	Cu	Co	V	Cr	Rb
<i>Средневерхнечетвертичный аллювиальный водоносный горизонт aQ_{II-III}</i>											
61	11,70	2,27	–	–	2,55	3,33	2,00	–	–	1,00	–
<i>Альб-сеноманский водоносный горизонт Kal-s</i>											
48	16,78	2,07	–	4,67	13,95	3,33	5,40	–	–	0,67	–
52	16,19	5,77	–	2,67	0,75	4,67	0,80	–	–	0,33	–
54	19,32	4,03	–	2,33	3,08	3,33	6,60	–	–	2,33	–

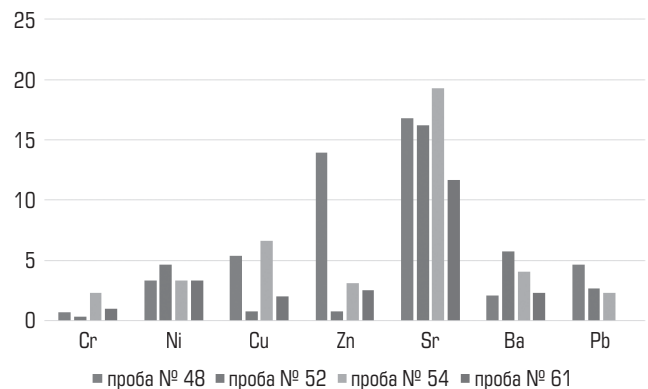


Рис. 6. Коэффициент концентрации микрокомпонентов относительно фоновых показателей (PВЗВ)


умеренного климата (PВЗВ). Использование данного метода позволяет более отчетливо обозначить тенденцию техногенной трансформации подземных вод. В частности, для исследуемого объекта выявлены тенденции значимого преобразования подземных вод всего разреза, что фиксируется по динамике макрокомпонентного состава. Это свидетельствует о заметном техногенном преобразовании подземных вод в районе исследования. Также значимые преобразования относительно фона выявлены по микрокомпонентному составу подземных

вод, которые располагаются в ряду: Sr > Zn > Cu > Ba > Ni > Pb.

6. Основными источниками преобразования подземной гидросферы в районе крупного горнодобывающего предприятия являются: процессы выщелачивания горных пород в конуре депрессионной воронки, отличающейся повышенными

скоростями движения подземных вод и значительными углами наклона ее плечей; поверхностное поступление загрязняющих веществ в результате различных видов хозяйственно-бытовой деятельности. Отличительные особенности подобных районов – глубинное преобразование подземной гидросферы и ее дифференциация в разрезе.

Библиографический список

1. Косинова И. И., Попов В. И. Анализ особенностей техногенной трансформации эколого-геохимической функции приповерхностной части литосферы Губкинско-Старооскольского промышленного района // Закономерности трансформации экологических функций геосфер крупных промышленных регионов: материалы междунар. науч.-практич. конф. – Воронеж, 2020. – 368 с.
2. Экологическая геология КМА / под ред. И. И. Косиновой. – Воронеж : ИПЦ ВГУ, 2009. – 216 с.
3. Экологическая геология крупных горнодобывающих районов Северной Евразии (теория и практика) / под ред. И. И. Косиновой. – Воронеж, 2015. С. 53–57.
4. Гарецкий Р. Г., Каратаев Г. И. Эколого-тектонифизическая среда Беларуси // Национальная академия наук Беларуси, Институт природопользования. – Минск : Беларуская навука, 2015. – 184 с.
5. Михайлов В. Н., Добролюбов С. А. Гидрология : учебник для вузов. – М. – Берлин : Директ-Медиа, 2017. – 753 с.
6. Ильяш В. В. Физика Земли. – Старый Оскол, 2019. – 68 с.
7. Фонова О. Г., Косинова И. И., Бударина В. А., Долбилова С. В., Зинченко Е. В. Преобразование абиотических компонентов природной среды в районах длительно существующих объектов логистики нефтепродуктов // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Геология. – Воронеж, 2019. № 1. С. 88–92.
8. Василенко Т. А., Свергузова С. В. Оценка воздействия на окружающую среду и экологическая экспертиза инженерных проектов : учебное пособие; – 2-е изд., испр. и доп. – М. – Вологда : Инфра-Инженерия, 2019. – 265 с.
9. Нестеров Е. М., Снытко В., Александровская О. А. и др. Геология, геоэкология, эволюционная география. – Санкт-Петербург : Российский государственный педагогический университет им. А. И. Герцена (РГПУ), 2020. Т. XVIII. – 296 с.
10. Fonova O. G., Kosinova I. I., Fonova S. I. Assessment criteria for ecological and geological zoning of territories // South of Russia: ecology, development. 2021. Vol. 16. P. 104–112.
11. Базарский О. В., Косинова И. И. О единой метрике комплексного эколого-геологического пространства // Вестник Воронежского гос. ун-та. Серия: Геология. 2005. № 2. С. 168–172.
12. Косинова И. И., Ильяш В. В. Особенности и функциональное назначение эколого-геологических исследований территорий // Вестник Воронежского гос. ун-та. Серия: Геология. 2001. № 11. С. 230–236.
13. Gaillardet Y., Viers Y., Dupre B. Trace elements in river water. Ch. 7.7 // Treatise on Geochemistry: Second Edition. H. D. Holland., K. K. Turekian. Elsevier Ltd. 2014. Vol. 7. P. 195–235.
14. Meybeck M. Global occurrence of major elements in rivers // Treatise on Geochemistry. Vol. 5. – Amsterdam : Elsevier–Pergamon, 2004. P. 207–223.
15. Шварцев С. Л. Гидрогеохимия зоны гипергенеза. – 2-е изд., испр. и доп. – М. : Недра, 1998. – 367 с.
16. Эколого-гидрогеологическое прогнозирование и моделирование : сост. В. С. Стародубцев. – Воронеж : Воронежский гос. ун-тет, 2014. – 116 с.
17. Санитарные правила и нормы СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания».
18. Сукало Г. М. Надзор и контроль в сфере безопасности : учебное пособие. – М. : Директ-Медиа, 2022. – 308 с.
19. Крынев А. В., Лукин Г. В. Математические методы обработки неопределенных данных. – М. : Физматлит, 2006. – 281 с.
20. Stiff H. A. The interpretation of chemical water analysis by means of patterns // Journal of Petroleum Technology. 1951. Vol. 3. No. 10. P. 15–17. 

«GORNYI ZHURNAL», 2023, № 12, pp. 14–21
DOI: 10.17580/gzh.2023.12.03

Ecological and hydrogeochemical transformation features in influence zone of Stoilensky GOK mining facilities

Information about authors

I. I. Kosinova¹, Head of Department, Professor, Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, kosinova777@yandex.ru

I. M. Ignatenko², Associate Professor, Candidate of Engineering Sciences

A. A. Kuryshev¹, Associate Professor, Candidate of Geological and Mineralogical Sciences

V. A. Budarina¹, Associate Professor, Candidate of Juridical Science

¹Voronezh State University, Voronezh, Russia

²Belgorod State University, Belgorod, Russia

Abstract

Rural settlements of modern Russia are the basis of the food policy of the country. They ensure the demographic and economic development. A complicating factor is the location of rural settlements in the immediate vicinity of particularly dangerous industrial and mining facilities. The relevance of the conducted research is determined by the long-term and significant scale impacts of quarrying on the underground hydrosphere. Ecological and hydrogeochemical assessment of the processes of groundwater transformation is the basis

for the development of a water supply system in the region. The purpose of the work is to identify the specifics of the ecological and hydrogeochemical situation transformation in the influence zone of Stoilensky GOK mining facilities in the Kursk Magnetic Anomaly. The assessment of the degree of chemical pollution was carried out by indicators developed during the coupled geochemical and hygienic studies of the environment. As a result of the research, a moderately dangerous state of groundwater was revealed for most of the surveyed area. The main pollutants are lead and iron. The main sources of transformation of the underground hydrosphere in the area of a large mining enterprise are: the processes of rock leaching in the contour of a depression funnel; the surface intake of pollutants as a result of various types of practical and economic activities. A distinctive feature of such areas is the depth of transformation of the underground hydrosphere and its differentiation in the section.

Keywords: pollutants, aquifers, quarries, background values, zone of influence, micro-components, rural settlements

References

1. Kosinova I. I., Popov V. I. Features of induced ecological and geochemical transformation in the top lithosphere in the Gubkin–Stary Oskol industrial area. *Ecological Transformation Features in Geospheres of Large Industrial Regions : International Conference Proceedings*. Voronezh : Istoki, 2020. pp. 38–42.
2. Kosinova I. I. (Ed.). *Environmental geology in the Kursk Magnetic Anomaly*. Voronezh : IPTs VGU, 2009. 216 p.

3. Kosinova I. I. (Ed.). Environmental geology in large mining areas in the Northern Eurasia (Theory and practice). Voronezh, 2015. 576 p.
4. Garetskiy R. G., Karataev G. I. Ecological and tectonophysical environment in Belarus. Minsk : Belarusskaya navuka, 2015. 184 p.
5. Mikhaylov V. N., Dobrolyubov S. A. Hydrology : Textbook. Moscow ; Berlin : Direkt-Mediya, 2017. 752 p.
6. Ilyash V. V. Physics of the Earth. Staryi Oskov, 2019. 68 p.
7. Kosinova I. I., Budarina V. A., Fonova O. G., Dolbilova S. V., Zinchenko E. V. Transformation of abiotic components of the environment in areas of long-existing oil products logistics facilities. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Geologiya*. 2019. No. 1. pp. 88–92.
8. Vasilenko T. A., Sverguzova S. V. Environmental impact and expertise and engineering projects : Tutorial. 2nd revised and enlarged edition. Moscow–Vologda : Infra-Inzheneriya, 2019. 265 p.
9. Nesterov E. M., Snytko V. A. (Eds.). Geology, geoecology and evolution geography. Saint-Petersburg : Izdatelstvo RGPU im. A. I. Gerytsena, 2019. Vol. XVIII. 296 p.
10. Kosinova I. I., Fonova O. G., Fonova S. I. Assessment criteria for ecological and geological zoning of territories. *Yug Rossii: ekologiya, razvitie*. 2021. Vol. 16, No. 4. pp. 104–112.
11. Bazarsky O. V., Kosinova I. I. About indivisible birth certificate of complex ecological-geological area. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Geologiya*. 2005. No. 2. pp. 168–172.
12. Kosinova I. I., Ilyash V. V. Specifics and functions of ecological and geological territorial research. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Geologiya*. 2001. No. 11. pp. 230–237.
13. Gaillardet J., Viers J., Dupré B. Trace Elements in River Water. Treatise on Geochemistry. 2nd ed. Amsterdam : Elsevier, 2014. Vol. 7. pp. 195–235.
14. Meybeck M. Global occurrence of major elements in rivers. Treatise on Geochemistry. Oxford : Elsevier, 2003. Vol. 5. pp. 207–223.
15. Shvartsev S. L. Hydrogeochemistry of hypergenesis zone. 2nd enlarged and revised edition. Moscow : Nedra, 1998. 367 p.
16. Starodubtsev V. S. Ecological and hydrogeological prediction and modeling. Voronezh : Voronezhskiy gosudarstvennyi universitet, 2014. 116 p.
17. Sanitary Rules SanPiN 1.2.3685–21. Hygienic norms and standards of safety and (or) harmlessness of human environment (as amended 30 Dec 2022). Available at: <https://docs.cntd.ru/document/573500115> (accessed: 15.06.2023).
18. Sukalo G. M. Supervision and control in the field of safety : Tutorial. Moscow : Direkt-Media, 2022. 308 p.
19. Kryanev A. V., Lukin G. V. Mathematical methods of uncertain data processing. Moscow : Fizmatlit, 2006. 281 p.
20. Stiff H. A. The interpretation of chemical water analysis by means of patterns. *Journal of Petroleum Technology*. 1951. Vol. 3, No. 10. pp. 15–17.

ПАМЯТИ МАЛЬГИНА ОЛЕГА НИКОЛАЕВИЧА



С глубоким прискорбием извещаем горнотехническую общественность о том, что 29 сентября 2023 г. на 87-м году ушел из жизни Олег Николаевич Мальгин – известный специалист и ученый в области горного дела, доктор технических наук, действительный член Академии горных наук, член редакционной коллегии «Горного журнала».

Вся трудовая деятельность О. Н. Мальгина связана с урано- и золотодобывающей промышленностью Узбекистана. После окончания в 1959 г. Среднеазиатского политехнического института Олег Николаевич начал работать на Навоийском горно-металлургическом комбинате, пройдя трудовой путь от горного мастера до заместителя главного инженера по горным работам.

За годы своей производственной и научной деятельности О. Н. Мальгин внес значительный вклад в освоение месторождений золота и урана Узбекистана. Под его руководством и при непосредственном участии выполнены исследования по созданию новой технологии добычи урана способом скважинного подземного выщелачивания, впервые в мире реализована технология выемки пород с крепкими пропластками роторными комплексами, разработана и внедрена циклично-поточная технология на карьере «Мурунтау», на карьерах уранового месторождения Учкудук освоены механизированные комплексы и комбайны. Будучи заместителем

главного инженера НГМК по горным вопросам, Олег Николаевич ни один десяток лет курировал научно-исследовательские работы по перспективному развитию отработки крупнейших золоторудных месторождений Мурунтау-Ютенбай, Кокпатас и Даугызтау, которые выполняли специалисты АО «ВНИПИпромтехнологии». Постоянно интересовался ходом выполнения работ по технико-экономическому обоснованию развития горных работ на этих месторождениях, а также вновь вовлекаемых в отработку месторождениях Тамдыбуллак, Балпантау, Триада, Бесопантау и высказывал ценные пожелания и рекомендации. После выхода на пенсию и переезда в Москву О. Н. Мальгин долгое время консультировал молодых специалистов-горняков института по вопросам отработки месторождений глубокими карьерами.

С 1998 г. О. Н. Мальгин входит в состав редакционной коллегии «Горного журнала». Им опубликовано более 150 научных работ, в том числе 6 монографий.

Многолетний и плодотворный труд О. Н. Мальгина отмечен орденом Трудового Красного Знамени, медалями и ведомственными знаками отличия; он является полным кавалером почетного знака «Шахтерская слава», обладателем знака «Горняцкая слава» I степени, имеет звания «Ветеран НГМК» и «Ветеран атомной промышленности и энергетики».

*Академия горных наук,
АО «ВНИПИпромтехнологии»,
редколлегия и редакция «Горного журнала»*

УДК 550.8

СТРОЕНИЕ И ЭВОЛЮЦИЯ СТРУКТУРНО-ГЕОДИНАМИЧЕСКИХ СИСТЕМ ВОСТОЧНОЙ АРКТИКИ

Б. В. СЕНИН¹, главный геолог, д-р геол.-минерал. наук

В. Ю. КЕРИМОВ², зав. кафедрой, проф., д-р геол.-минерал. наук, заслуженный геолог РФ, vagif.kerimov@mail.ru

Р. Н. МУСТАЕВ², ведущий научный сотрудник, доцент, канд. геол.-минерал. наук

Р. А. МАМЕДОВ², доцент, канд. геол.-минерал. наук

¹ОАО «Южморгеология», Геленджик, Россия

²Российский государственный геологоразведочный университет им. Серго Орджоникидзе, Москва, Россия

Введение

Целью исследований является анализ строения и эволюции структурно-геодинамических систем Восточной Арктики. Под структурно-геодинамическими системами (СГС) понимают совокупность элементов строения фундамента и осадочного чехла, объединяемых общей реакцией на геодинамические воздействия со стороны внешнего или внутреннего (по отношению к системе) источника тектонической энергии в течение одной или нескольких фаз тектоногенеза. Тектоническая модель основания плитного разреза Восточной Арктики определяет их вертикальную структурно-тектоническую этажность, которую устанавливают на основании косвенных характеристик по результатам интерпретации материалов сейсморазведки и иных геофизических съемок. При этом наблюдается различная степень достоверности данных, увязанных с изученными разрезами соседних или удаленных районов. Соответственно, построенные на этой базе модели вертикальной структуры и формационного состава являются в значительной степени гипотетическими и имеют тенденцию к изменению (вплоть до принципиального) по мере накопления геолого-геофизической информации.

Методика исследований

Геодинамический анализ формирования СГС Восточной Арктики осуществляли на тектоногеодинамических моделях палеорекострукции, отображающих взаимодействие глыб и блоков консолидированной земной коры. Исследования выполняли для геохронологических рубежей, которые разделяют фазы мезозойского и альпийского тектоногенеза, характеризующиеся формированием и развитием крупных осадочных бассейнов Восточно-Арктических морей: древнекеммерийской (ТЗ-Ж1); новокеммерийской (ЖЗ-К1) и ларамийской, или раннеальпийской (К2). С первой фазой связано развитие в регионе поясов растяжения, разделяющих крупные, относительно жесткие массивы континентальной земной

Выполнен анализ строения и эволюции структурно-геодинамических систем Восточной Арктики. Установлено, что тектоническая модель основания плитного разреза Восточной Арктики обуславливает их вертикальную структурно-тектоническую этажность, которую определяют на основании косвенных признаков по результатам интерпретации материалов сейсморазведки и иных геофизических съемок. Отмечено, что построенные на этой базе модели вертикальной структуры и формационного состава являются в значительной степени гипотетическими и имеют тенденцию к изменению по мере накопления геолого-геофизической информации.

Ключевые слова: Восточная Арктика, фундамент, кайнозойские отложения, геодинамический анализ, временной разрез, нефтегазоносность

DOI: 10.17580/gzh.2023.12.04

коры и давших начало формированию основных осадочных бассейнов в регионе. Вторая фаза — это заложение Канадской глубоководной впадины; образование связанных с ней «реактивных» сдвиговых и раздвиговых структур в области восточно-арктических шельфов; развитие в границах шельфов складчато-надвиговых дислокаций раннеплатформенного чехла с образованием в его стратиграфическом интервале верхнего, переходного мегакомплекса фундамента; накопление раннесинрифтовых подкомплексов плитного чехла; разрушение Центрально-Арктического кратона (Арктиды) и возникновение высокоширотной магматической провинции (НАИР) [1]. Третья фаза соотносится со временем заложения Евразийской спрединговой впадины Северного Ледовитого океана и сопряженных с ней структур восточно-арктического шельфа; началом формирования в его границах основной (пострифтовой) толщи плитного чехла; периодом обособления от Тихого океана дальневосточных морей [Цуканов Н. В., 2015; Цой И. Б., 2012], формирования их мегабассейновой и бассейновой структуры и, возможно, с начальной фазой накопления мел-кайнозойских газо- и нефтематеринских толщ в некоторых бассейнах Восточной Арктики и Дальнего Востока.

Тектоногеодинамические реконструкции на указанных геохронологических рубежах осуществляли методом разделения исходной модели тектонического строения фундамента морской периферии РФ, разработанной авторами ранее (в 2016–2017 гг.) с учетом геодинамических условий формирования основных элементов его структуры.

Положение и конфигурацию наиболее крупных элементов их внутренней структуры определяли на основе анализа особенностей строения поверхности разновозрастного фундамента и в первую очередь зон разнопорядковых градиентов, разделяющих области поднятий и погружений

(рис. 1). В Восточно-Арктических морях анализ геодинамических условий развития осуществляли для следующих объектов: в море Лаптевых – Лаптевоморский осадочный бассейн с суббассейнами Центрально-Лаптевским, Анисинским и Восточно-Лаптевским; в Восточно-Сибирском море – Восточно-Новосибирский бассейн с суббассейнами Жоховско-Роутанским и Медвежинско-Благовещенским, а также транзитный Усть-Индигорский (Тастахский).

Результаты исследований

Разработанная тектоническая модель основания плитного разреза Восточно-Арктических и прилегающих территорий определяет их вертикальную структурно-тектоническую этажность. Ее установление имеет наибольший уровень геологической обоснованности в тех районах акваторий и их побережий, где интерпретация материалов геофизического изучения разреза опирается на данные прямого изучения его вещественного состава, геохронологии и структуры.

Для Восточной Арктики это, как правило, скважины северной, Лаптевоморской зоны побережья Сибирской платформы, обнажения западной и южной береговых зон и островов Новосибирского архипелага (Анжу и Ляховских), а также результаты драгирования коренных пород на склонах примыкающего к шельфу подводного поднятия – хребта Ломоносова, отрога Геофизиков, поднятия Менделеева.

Море Лаптевых

Анализ результатов исследований позволил сформировать сводную хроностратиграфическую и формационную схему, отображающую два типа разреза, которые характеризуют акваторию моря Лаптевых и различаются структурно-тектонической этажностью и набором формационных комплексов.

Первый тип разреза характеризует окраины акватории, соответствующие разбуренным и изученным геологическими съемками континентальным и затопленным участкам северного погружения древней Сибирской платформы (Хатангский, Анабарский и Оленекский заливы, возможно, западная часть дельты р. Лены), палеозойской Таймырской складчато-орогенной системы и Таймыро-Северо-Земельского щита гренвилльской или байкальской консолидации. Очевидно, что карельские палеозойские или гренвилско-байкальские комплексы этих тектонических элементов образуют и нижний структурно-тектонический этаж складчато-метаморфического фундамента приматериковых зон моря Лаптевых [2].

Второй тип разреза соответствует большей части акватории моря Лаптевых и, как отмечалось выше, определяется преимущественно по геофизическим данным и результатам сопоставления с геологическими данными по прилегающим континентальным регионам. Структурно-тектонический этаж, образующий его фундамент, формируется комплексами киммерид, западная часть которых образована продолжающимися в акваторию и погружающимися под плитный чехол складчатыми структурами Верхояно-Колымской системы,

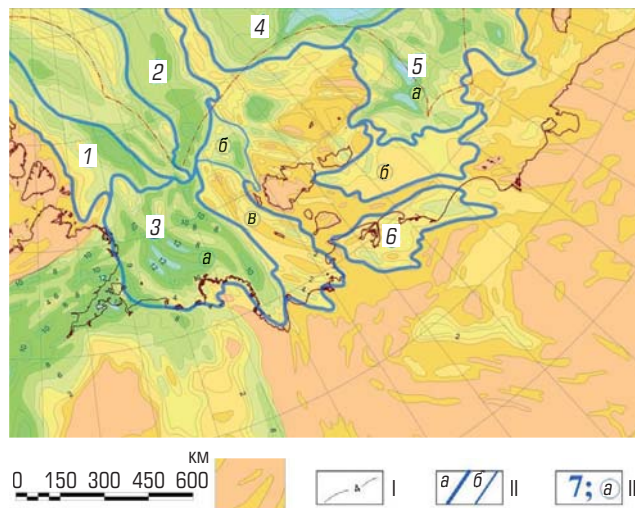


Рис. 1. Структурная схема поверхности разновозрастного фундамента Восточно-Арктических морей и прилегающих регионов:

I – изолинии глубин поверхности фундамента; II – контуры: а – бассейнов; б – суббассейнов; III – индексы осадочных бассейнов и суббассейнов. Осадочные бассейны и суббассейны: 1 – Нансена; 2 – Амундсена; 3 – Лаптевоморский (суббассейны: а – Центрально-Лаптевский; б – Восточно-Лаптевской ступени; в – Анисинский); 4 – Подводников/Толля; 5 – Восточно-Новосибирский (а – Жоховско-Роутанский; б – Медвежинско-Благовещенский); б – Усть-Индигорский (Тастахский)

а восточная – Новосибирско-Чукотской системы. Их сопряжение в Лаптевоморской акватории предполагается по системе Лазаревского разлома (шва).

Плитный структурно-тектонический этаж акватории образует верхнеюрско-кайнозойский разрез, включающий, предположительно, четыре комплекса.

Нижний, развитый не повсеместно и представленный с наибольшей вероятностью в глубоких рифтогенных прогибах, объединяет отложения верхней юры и нижнего мела и может быть определен как синрифтовый. Вероятность его присутствия в нижней части плитного разреза обусловлена результатами современных исследований как непосредственно в акватории, так на ее континентальном обрамлении [3].

Три вышележащих комплекса могут быть объединены в пострифтовый мегакомплекс преимущественно континентального, прибрежно-морского и мелководного происхождения, содержащий угленосные горизонты. Нижний комплекс представлен дислоцированным мел-палеогеновым разрезом, средний – олигоцен-миоценовой толщей аккумулятивного выравнивания, а верхний – плащеобразно залегающими плиоцен-четвертичными образованиями.

Восточно-Сибирское и Чукотское моря

Выделение структурно-тектонических этажей в морской части региона в основном базируется на сейсмических данных, по которым устанавливаются разделяющие их поверхности крупных несогласий, связанных с перерывами в осадконакоплении и фиксируемых по наличию эрозионных поверхностей и особенностям волновой картины внутри выделяемых сейсмокомплексов.

Хорошо изученная стратификация сейсмических комплексов и соответственно выделяемых структурно-тектонических этажей (СТЭ) существует только в восточной (американской) части Чукотского моря. Здесь она подтверждена результатами бурения в морской и континентальной частях Северной Аляски. Ее надежная передача в акваторию российской части Чукотского моря и далее в Восточно-Сибирское море по имеющейся сети региональных профилей вызывает значительные затруднения, а иногда практически невозможна, например, при сравнении стратификации элсмирских толщ Аляски и Новосибирского бассейна [4].

Это объясняется особенностями геологической истории развития региона, которая определила сложное строение фундамента и осадочного чехла. Сложность их структуры обусловлена:

- *во-первых*, наличием обособленных древних массивов разного размера, разделенных системами прогибов и впадин, в основном рифтогенного происхождения; с этим связаны резкие изменения мощностей осадочных комплексов с их полным выклиниванием на склонах поднятий, сопряженных с прогибами и впадинами, в частности на склонах Чукотской платформы;

- *во-вторых*, развитием в южной части региона складчатого комплекса (Новосибирско-Чукотский складчатый пояс), в который входят отложения, предположительно, аналогичные элсмирскому комплексу Аляски, имеющие доверхнемеловой возраст и изначально платформенное залегание.

Таким образом, можно говорить о наличии на акваториях Восточно-Сибирского и Чукотского морей трех структурно-тектонических этажей.

Нижний включает в себя отложения франклинского комплекса в составе эпикаледонско-эпибайкальской Восточно-Арктической подвижной платформы; *средний* выделяется в составе эпикиммерийской Новосибирско-Чукотской подвижной платформенной области и представлен отложениями элсмирского комплекса, который, по сути, выполняет роль промежуточного этажа; образующие его отложения находят как в складчатом, так и в субплатформенном залегании. *Верхний* СТЭ является осадочным чехлом в плитном состоянии и представлен отложениями брукинского (брукского) комплекса [5–7].

Комплексом, безусловно относимым к фундаменту, является древнейшая в шельфовом регионе метаморфическая толща, которая обнажается в ядрах антиклиналей только на

о. Врангеля [7]. Эта толща представлена Врангелевским комплексом мощностью около 2000 м, который состоит из сильно дислоцированных метавулканических, метавулканокластических и метасадочных терригенных пород – сланцев, метапесчаников, метаконгломератов с линзами и пластами метаморфизованных карбонатов и интрузивными телами базитов и гранитоидов. Районы выходов докембрийского фундамента закартированы также за пределами континентального шельфа, в Центрально-Арктической области, где протерозойские толщи образуют цоколь подводного хребта Ломоносова в районе его примыкания к шельфу Восточно-Сибирского моря, в основании верхнемелового-кайнозойского разреза отрога Геофизиков – восточного ответвления хребта Ломоносова и в котловине Подводников.

Имея в виду значительно более молодой возраст складчатости комплексов в южно-прибрежной зоне Восточно-Сибирского и южной части Чукотского морей, можно с уверенностью говорить об омоложении возраста исходного фундамента от места Центрально-Арктических поднятий и северных зон восточно-арктического шельфа (докембрий – начало палеозоя) к его береговой зоне (верхний палеозой-мезозой). Соответственно, имеется принципиальная возможность расширения стратиграфического интервала осадочного чехла в противоположном направлении (с юга на север) – от верхнего мела-кайнозоя на юге до палеозоя-кайнозоя на севере.

Что касается более молодых комплексов разреза, перекрывающих отложения докембрия и определяемых как промежуточный комплекс, то их участие в составе фундамента или осадочного чехла зависит, как отмечено выше, от их пространственного положения относительно зон активного тектогенеза.

В общем случае Д. А. Вольнов и его коллеги, основываясь на материалах полевых исследований, разделяют промежуточный комплекс Восточно-Сибирского моря на три структурных яруса, разделенных стратиграфическими перерывами и несогласиями: верхнепротерозойско-среднедевонский; среднедевонско-нижнекаменноугольный; среднекаменноугольно-валанжинский.

Полагаем, что первый из них примерно соответствует франклинскому комплексу Арктической Аляски и является отражением каледонского цикла развития региона, который завершается позднекаледонской или раннегерцинской (D_1 - D_2) фазой складчатости и поднятия и, возможно, дислокациями сформированного в ордовике – начале девона чехла и подстилающего фундамента.

Второй ярус приблизительно соответствует нижней части нижнеэлсмирского подкомплекса и одной из ранних фаз герцинского цикла развития региона, который завершается активизацией движений в раннесреднем карбоне.

Третий ярус, учитывая наличие несогласий, различий в мощностях и характеристике деформаций тектонических контактов между отложениями среднего карбона-перми и нерасчлененного пермотриаса может быть, по-видимому, разделен

на два подъяруса. Нижний, объединяющий отложения карбона и нижней части верхней перми, примерно соответствует верхней части элсмирского комплекса Аляски и отображает позднегерцинский этап развития региона. Верхний подъярус, включающий отложения верхней перми-триаса, целиком соответствует верхнеэлсмирскому подкомплексу и древнекиммерийской фазе развития региона, которая завершается складчатостью на рубеже триаса и юры [7].

Как уже было отмечено выше, границы между структурно-тектоническими этапами выделяют по наличию несогласий и по различию сейсмической волновой картины внутри этажей, что во многом определяется условиями осадконакопления, последующими постседиментационными преобразованиями, в том числе активизацией тектонической деятельности на различных этапах тектогенеза и др. В связи с этим ниже будут кратко рассмотрены особенности волнового сейсмического поля на уровне сейсмостратиграфических комплексов (ССК) по главным структурно-тектоническим элементам региона.

Северо-Чукотский прогиб

В сейсмическом волновом поле осадочный чехол прогиба в зависимости от условий осадконакопления представлен осями синфазности от плоскопараллельных до косослоистых (клиноформных). В нижней части разреза выделяется двухфазное отражение EU, предположительно связанное с мало-мощным франклинским комплексом, залегающим на древнем кристаллическом фундаменте (Fk).

Отложения нижнеэлсмирского (каменноугольно-нижнепермского) комплекса в подошве контролируются отражающим горизонтом (ОГ) EU, в кровле – ОГ PU. Комплекс имеет локальное распространение, выклинивается на южном борту Северо-Чукотского прогиба по типу подошвенного налегания. По волновой картине может быть разделен на два подкомплекса, заметно отличающихся по динамике и форме отражений, что может быть связано с изменением литологического состава этих подкомплексов: в подошвенной части ему соответствуют плоскопараллельные отражения разной протяженности, динамически слабовыраженные; в кровельной части – протяженные, плоскопараллельные многофазные отражения, визуально высокодинамичные, низкочастотные по отношению к перекрывающей толще, осложненные локальными участками, с отсутствием регулярной записи.

Верхнеэлсмирский комплекс (верхнепермско-нижнемеловой) по характеру волновой картины разделен на три подкомплекса.

Судя по непрерывным протяженным осям синфазности, иноформенным образованиям, характеру залегания выявленных сейсмокомплексов разрез осадочного чехла Северо-Чукотского прогиба формировался в условиях открытого шельфа и склона и представлен преимущественно терригенными образованиями. Разломная тектоника присутствует в палеозойско-мезозойской части разреза, затухая в палеоценовых отложениях.

В западной части Восточно-Сибирского моря, исходя из принятых авторами структурно-тектонической модели и стратификации, в волновом поле выделяют три литологических этажа: кристаллический фундамент; складчатый фундамент, в который, предположительно, входят отложения элсмирского и, возможно, в нижней части франклинского комплексов; осадочный чехол в составе брукинского комплекса апт-альбского-верхнемелового-кайнозойского возраста.

Строение осадочного чехла на востоке российской части Чукотского моря прослежено на примере восточной части Северо-Чукотского прогиба и Центрально-Чукотской террасы, входящей в состав Чукотско-Бофортской плиты. На востоке Северо-Чукотского прогиба выделены те же ССК, что и в западной части прогиба. При этом наблюдаются некоторые отличия в волновой картине, связанные, по всей видимости, с локальными изменениями условий седиментации.

Дельтовый комплекс большой мощности, хорошо различимый в олигоцен-четвертичных отложениях на западе Северо-Чукотского прогиба, совсем не представлен на востоке. Возможно, это связано с короткой длиной рассматриваемого сейсмического профиля – он не выходит в зону развития этого комплекса. На миграцию к северу области разгрузки отложений косвенно указывает латеральное и вертикальное литологическое замещение – замена плоскопараллельной высокодинамичной записи на слабовыраженную в динамике. Возможно, данный профиль пересек верхнюю (шельфовую) часть клиноформ, а склоновые фации будут развиты севернее окончания профиля.

В пределах Центрально-Чукотской террасы происходит резкое уменьшение мощности осадочного чехла. Элсмирские отложения и большая часть брукинских выклиниваются со стороны Северо-Чукотского прогиба на склоне террасы по типу подошвенного налегания, предположительно, на древний кристаллический фундамент [8]. Неполные эродированные мощности предполагаемых частей элсмирского и брукинского комплексов появляются в пределах грабенообразных структур, развитых в пределах Врангелевско-Чукотской плиты.

Осадочные комплексы в пределах плиты на сейсмических разрезах представлены разнообразными сейсмофациями от параллельных до косослоистых, имеющих различную динамику; встречаются локальные области развития хаотичных отражений в подошве осадочного чехла с очень высокой динамикой. Их появление можно связать с развитием магматических образований, широко представленных на побережье Чукотки.

Следует отметить, что в Восточно-Сибирском и Чукотском морях по сейсмическим разрезам все опорные несогласия, связанные с эрозией, выделяются только в областях, где продолжительное время существовали и существуют крупные выступы и массивы древнего фундамента или новообразованные поднятия, обусловленные складчатыми дислокациями в юрско-меловое время [9].

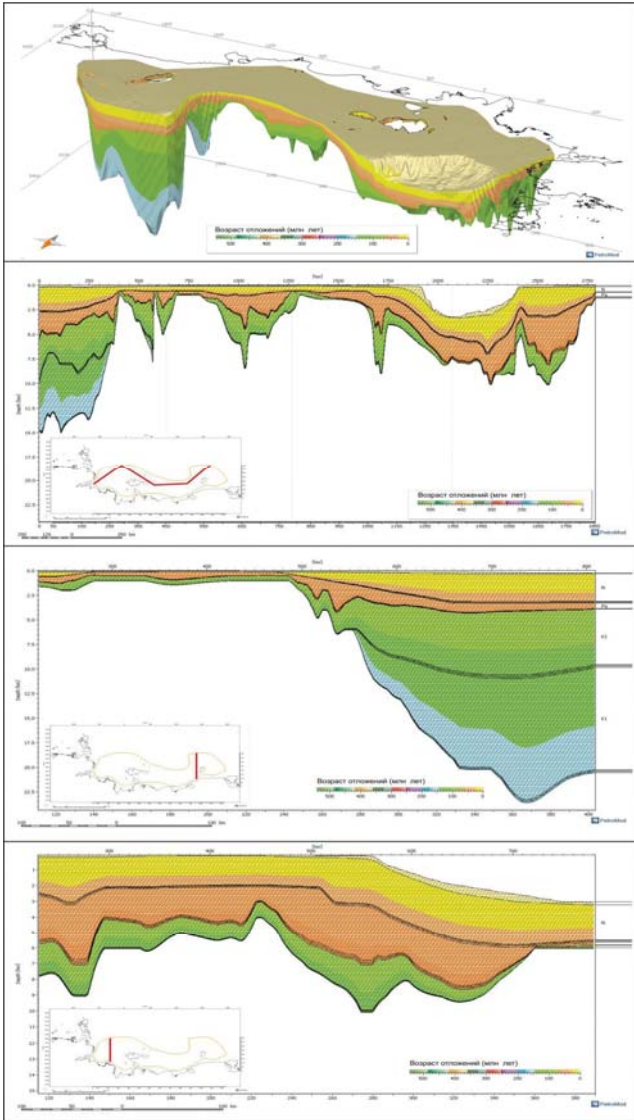


Рис. 2. Пространственно-временная модель Восточной Арктики

Результаты моделирования структурно-геодинамических систем

Структурная модель охватывает акватории моря Лаптевых, Восточно-Сибирского и Чукотского морей и включает пять основных поверхностей: подошву осадочного чехла; преаптское несогласие; подошву кайнозоя; несогласие в нижней части олигоцена и подошву четвертичных отложений, а также современный рельеф дна [10, 11]. Сформированная модель состоит, таким образом, из четырех основных осадочных комплексов: доаптского; апт-верхнемелового; палеогенового; неоген-четвертичного (рис. 2).

В качестве палеогеографической основы для бассейнового анализа использована модель, разработанная специалистами Equinor (Т. О. Сомме и др., 2018), которая охватывает временной период с триаса по палеоген включительно и учитывает

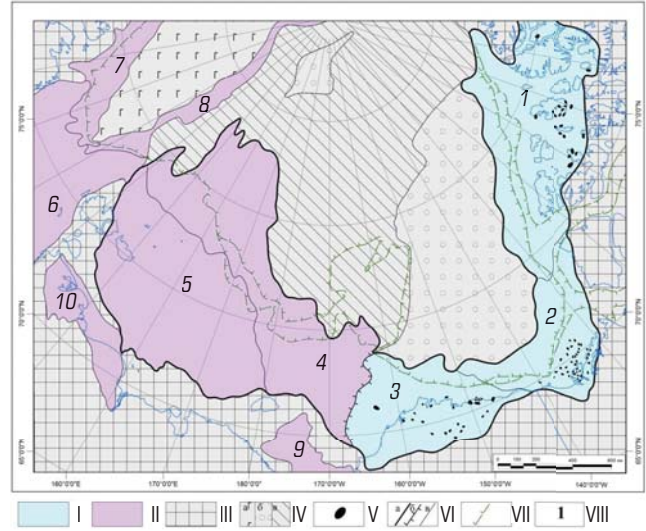


Рис. 3. Амеразийско-Арктический пояс нефтегазоаккумуляции (по Б. В. Сенину, М. И. Леончику, 2016):

I – нефтегазоносные провинции; *II* – потенциально нефтегазоносные провинции и самостоятельные области; *III* – неперспективные и низкоперспективные земли континентальных и шельфовых областей; *IV* – неперспективные области и области неясных перспектив дна Северного Ледовитого океана; *a* — область океанической коры Евразийской котловины; *b* — области континентальной, субконтинентальной и субокеанической коры системы Центрально-Арктических поднятий; *V* – месторождения углеводородов; *VI* – границы: *a* — пояса нефтегазоаккумуляции, *b* — мегапровинций, *в* — нефтегазоносных и потенциально нефтегазоносных провинций и областей, структурно-геологических провинций и областей; *VII* – бровка современного шельфа и сброшенных шельфовых ступеней, шельфовые каналы; *VIII* – индексы провинций и самостоятельных областей (1 – Канадского арктического архипелага; 2 – Бофорта – Маккензи; 3 – Северного склона Аляски; 4 – Восточно-Сибирская – Северо-Чукотская (Гиперборейская); 5 – Восточно-Арктическая; 6 – Лаптевская; 7 – Нансена; 8 – Амундсена; 9 – Южно-Чукотская; 10 – Усть-Индибирская (Тастахская)

плитотектонические реконструкции, выполненные А. Г. Доре с соавторами в 2015 г. Плитная модель, в свою очередь, базируется на представлении о последовательном трехэтапном исследовании Арктики: Канадский бассейн; котловина Подводников и Евразийский бассейн [12]. В представленных очертах потенциально нефтегазоносные провинции российской Восточной Арктики объединяются с нефтегазоносными провинциями арктической окраины Северной Америки (Северного склона Аляски, Бофорта – Маккензи, Канадского арктического архипелага) в гипотетический Амеразийско-Арктический

пояс нефтегазоаккумуляции (рис. 3). Восточная, американская часть этого пояса содержит в своей шельфовой зоне более 80 месторождений углеводородов с суммарными извлекаемыми запасами нефти более 2,6 млрд т и газа около 1 трлн м³, в том числе знаменитое нефтегазовое месторождение Прадхо-Бей, начальные извлекаемые запасы нефти которого превышают 1,5 млрд т. Российская шельфовая часть пояса изучена весьма слабо, однако ее площадь сопоставима с суммарной площадью трех названных выше североамериканских провинций (Б. В. Сенин, М. И. Леончик, 2016; А. П. Афанасенков, Б. В. Сенин, М. И. Леончик, 2016).

Сходство объектов проверяют по ряду критериев, среди которых: тектонический режим, возрастной диапазон отложенных осадочного чехла, палеогеографические условия формирования осадков, тепловая история бассейна и т. д. Проведенный в рамках настоящего исследования сравнительный анализ показал, что изучаемые бассейны различаются по ряду сравниваемых параметров. Существенно варьирует возраст осадочных пород. Палеозойские (допермские) и более древние породы входят в состав фундамента всех рассматриваемых осадочных бассейнов, за исключением прогиба Ханна, где, по крайней мере на части его территории, девонские отложения слабо деформированы и могут представлять интерес в плане поисков углеводородов. Наиболее молодой возраст чехла отмечается в Лаптевоморском бассейне и Северо-Чукотском прогибе. Юрские континентальные отложения, возможно, присутствуют в основании осадочного чехла Новосибирского бассейна [13–15].

Изученные бассейны в течение своей эволюции претерпели смену тектонических режимов: пассивная континентальная окраина, рифтинг, пострифтовое погружение. Новосибирский бассейн развивался в условиях континента с незначительным эпизодом континентального рифтогенеза в середине юры. Северо-Чукотский бассейн испытал две фазы рифтинга (на рубеже 125 и 65 млн лет) и, соответственно, две фазы погружения, что обусловило накопление значительных объемов осадочного материала в бассейне. Северо-Чукотский бассейн выделяется среди остальных значительной мощностью осадочного чехла. Установленные различия эволюции бассейнов касаются также и палеогеографии. Устойчивые морские условия (шельфовые и более глубоководные) характерны для бассейнов Северного склона, Северо-Чукотского прогиба и моря Лаптевых. В Новосибирском бассейне континентальные

условия осадконакопления существовали вплоть до палеогена. Отрог Ханна испытал несколько фаз аплифта, наиболее значительный из которых произошел в палеогене.

Заключение

Площадные сейсмические работы регионального этапа в море Лаптевых позволили изучить региональную структуру осадочного чехла центральной части его акватории. Ключевым для формирования осадочного чехла Восточной Арктики является существование с конца палеозоя – начала триаса Аляскинско-Чукотского микроконтинента и его последующая трансформация под влиянием тектонических факторов [5].

Большой объем новых данных получен по южной (Новосибирской) впадине Восточно-Сибирского моря, представления о строении которой ранее базировались почти исключительно на результатах интерпретации грави- и магнитометрических данных и незначительном объеме сейсмических материалов, полученных по единичным рекогносцировочным профилям. Эти данные позволили существенно обновить, расширить и в ряде случаев детализировать представления о строении фундамента и отдельных опорных горизонтов осадочного чехла этой части акватории. Несмотря на эти работы, изученность Восточно-Сибирского моря остается весьма низкой, что не позволяет построить однозначные геолого-геофизические профили (на акватории моря отсутствуют скважины глубокого бурения).

Существенные объемы сейсмических работ выполнены в российском секторе Чукотского моря – как в его центральной, так и в северной части. Полученные материалы позволили детализировать региональную структуру субмеридиональной разломно-блоковой зоны Чукотского моря и примыкающих к ней структурных элементов Северо-Чукотского прогиба. Для Чукотского моря характерна та же проблема, что и для Восточно-Сибирского – довольно низкая геолого-геофизическая изученность.

Восточно-Арктические акватории представляют значительный интерес в плане поисков углеводородов, однако оценка их углеводородного потенциала затруднена в силу слабой геофизической изученности и отсутствия скважин. В таких условиях часто применяют метод геологических аналогий. Для Восточной Арктики в настоящее время в качестве аналога используют бассейны Северного Склона Аляски, однако возможность проведения такой аналогии до сих пор не была обоснована.

Библиографический список

1. Конторович В. А., Конторович А. Э., Губин Н. А., Зотеев А. М., Лапковский В. В., Малышев Н. А., Соловьев М. В., Фрадкин Г. С. Структурно-тектоническая характеристика и модель геологического строения неопротерозойско-фанерозойских отложений Анабаро-Ленской зоны // Геология и геофизика. 2013. Т. 54. № 8. С. 1253–1274.
2. Афанасенков А. П., Сенин Б. В., Леончик М. И. К уточнению модели нефтегазогеологического районирования арктического шельфа России в свете современных геолого-геофизических данных // Геология нефти и газа. 2016. № 4. С. 79–90.
3. Шервуд К. В. Арктические оффшорные провинции Аляски // Неоткрытые ресурсы нефти и газа на федеральном шельфе Аляски (по состоянию на январь 1995 г.). УВД ММС, ОКС : монография ММС 98-0054; 1998. С. 94–114.
4. Шервуд К. В., Крейг Дж. Д., Лотамер Р. Т., Джонсон П. П., Зервик С. А. Оценка шельфа Чукотки // Неоткрытые ресурсы нефти и газа на федеральном шельфе Аляски (по состоянию на январь 1995 г.). УВД ММС, ОКС : монография ММС 98-0054; 1998. С. 115–196.
5. Ильхан И., Коакли Б., Хаускнехт Д. В. Мезо-кайнозойская эволюция Чукотского шельфа и Северо-Чукотского бассейна, Северный Ледови-

- тый океан // Морская и нефтегазовая геология. 2018. 95. DOI: 10.1016/j.marpetgeo.2018.04.014
6. Шенк О., Магун Л. Б., Берд К. Дж., Питерс К. Е. Моделирование нефтегазовых систем северной Аляски // *Hedberg Series*. 2012. № 4. С. 317–338.
 7. Григорьев М. Н. Морфология и динамика преобразования подводной мерзлоты в прибрежно-шельфовой зоне морей Лаптевых и Восточно-Сибирского // *Наука и образование*. 2006. № 4. С. 104–109.
 8. Decker P. L. Nanushuk Formation Discoveries Confirm World-Class Exploration Potential in a Newly Proven Stratigraphic Play, Alaska North Slope // *AAPG ACE 2018 : Discovery Thinking Forum* 2018. – Utah, 2018.
 9. Керимов В. Ю., Леонов М. Г., Осипов А. В., Мустаев Р. Н., Ву Нам Хай. Залежи углеводородов в фундаменте шельфа Вьетнама и структурно-тектоническая модель их формирования // *Геотектоника*. 2019. № 1. С. 42–59.
 10. Kerimov V. Y., Osipov A. V., Mustaeв R. N., Monakova A. S. Modeling of petroleum systems in regions with complex geological structure // 16th Science and Applied Research Conference on Oil and Gas Geological Exploration and Development, GEOMODEL 2014. Gelendzhik, Sept. 8–11, 2014.
 11. Богоявленский В. И., Кишанков А. В. Опасные газонасыщенные объекты на акваториях Мирового океана: Берингово море // *Бурение и нефть*. 2018. № 9. С. 4–12.
 12. Сомме Т. О., Доре А. Г., Лундин Э. Р., Торудбаккен Б. О. Триасовая палеогеография Арктики: последствия для маршрутизации отложений и заполнения бассейнов // *Бюллетень AAPG*. 2018. Т. 102. № 12. С. 2481–2517.
 13. Хаускнехт Д. В. Нефтяные системы в рамках значительных новых открытий нефти в гигантской меловой (апт-сеноманской) клинотема в арктической части Аляски // *Бюллетень AAPG*. 2019. 103 (3). С. 619–652.
 14. Керимов В. Ю., Бондарев А. В., Мустаев Р. Н. Оценка геологических рисков при поисках и разведке месторождений углеводородов // *Нефтяное хозяйство*. 2017. № 8. С. 36–41.
 15. Богоявленский В. И., Керимов В. Ю., Ольховская О. О. Опасные газонасыщенные объекты на акваториях Мирового океана: Охотское море // *Нефтяное хозяйство*. 2016. № 11. С. 43–47. **PK**

«GORNYI ZHURNAL», 2023, № 12, pp. 22–28
DOI: 10.17580/gzh.2023.12.04

Morphology and evolution of Eastern Arctic structure and geodynamics

Information about authors

B. V. Senin¹, Chief Geologist, Doctor of Geological and Mineralogical Sciences
V. Yu. Kerimov², Head of Department, Professor, Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, Honored Geologist of the Russian Federation, vagif.kerimov@mail.ru
R. N. Mustaeв², Leading Research, Associate Professor, Candidate of Geological and Mineralogical Sciences
R. A. Mamedov², Associate Professor, Candidate of Geological and Mineralogical Sciences
¹Yuzhmorgeologiya, Gelendzhik, Russia
²Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting, Moscow, Russia

Abstract

The authors aimed at the analysis of the morphology and evolution of the structure and geodynamics in the Eastern Arctic area. It is found that the plate tectonics of the basement in the section of the Eastern Arctic governs the vertical tectonic level structure defined by some indirect signs from the interpretation of seismic exploration data and other geophysical surveys. A huge amount of work connected with ground seismics is performed in the southern (Novosibirsk) depression of the East Siberian Sea in the Russian sector of the Chukotka Sea. The Eastern Arctic water areas are greatly interesting in terms of hydrocarbon resources; on the other hand, appraisal of the hydrocarbon potential of the areas is heavily complicated due to geophysical understudy of the locality and owing to lack of exploration boreholes. In such conditions, the method of analogies is often used. For the Eastern Arctic, the analogy is the reservoirs of the Alaska North Slopes.

Keywords: Eastern Arctic, basement, Cenozoic sediment, geodynamic analysis, time section, oil and gas content.

References

1. Kontorovich V. A., Kontorovich A. E., Gubin I. A., Zoteev A. M., Lapkovsky V. V. et al. The Neoproterozoic–Phanerozoic section of the Anabar–Lena province: Structural framework, geological model, and petroleum potential. *Russian Geology and Geophysics*. 2013. Vol. 54, No. 8. pp. 980–996.
2. Afanasenkov A. P., Senin B. V., Leonchik M. I. Refinement of petrogeological zonation model of the Russian Arctic shelf in light of modern geological and geophysical data. *Geologiya nefii i gaza*. 2016. No. 4. pp. 77–88.
3. Sherwood K. W., Craig J. D., Cooke L. W., Lothamer R. T., Johnson P. P. et al. Undiscovered Oil and Gas Resources Alaska Federal Offshore. Alaska : U.S. Department of the Interior Minerals Management Service, 1998. pp. 94–14.
4. Sherwood K. W., Craig J. D., Cooke L. W., Lothamer R. T., Johnson P. P. et al. Undiscovered Oil and Gas Resources Alaska Federal Offshore. Alaska : U.S. Department of the Interior Minerals Management Service, 1998. pp. 115–196.
5. Ilhan I., Coakley B. J. Meso–Cenozoic evolution of the southwestern Chukchi Borderland, Arctic Ocean. *Marine and Petroleum Geology*. 2018. Vol. 95. pp. 100–109.
6. Schenk O., Peters K. E., Magoon L. B., Bird K. J. Petroleum System Modeling of Northern Alaska. *Basin Modeling: New Horizons in Research and Applications*. AAPG Hedberg Series 4. Tulsa, 2012. pp. 317–338.
7. Grigorev M. N. Morphology and transformation dynamics of submarine permafrost in nearshore–shelf zone of the Laptev and East Siberian Seas. *Nauka i obrazovanie*. 2006. No. 4. pp. 104–109.
8. Decker P. L. Nanushuk formation discoveries confirm world-class exploration potential in a newly proven stratigraphic play, Alaska North Slope. *AAPG ACE 2018 : Discovery Thinking Forum* 2018. Utah, 2018.
9. Kerimov V. Yu., Leonov M. G., Osipov A. V., Mustaeв R. N., Khai Vu Nam. Hydrocarbons in the basement of the South China Sea (Vietnam) shelf and structural–tectonic model of their Formation. *Geotectonics*. 2019. Vol. 53, Iss. 1. pp. 42–59.
10. Kerimov V. Y., Osipov A. V., Mustaeв R. N., Monakova A. S. Modeling of petroleum systems in regions with complex geological structure. *Geomodel-2014 : Proceedings of the 16th EAGE Science and Applied Research Conference on Oil and Gas Geological Exploration and Development*. Gelendzhik, 2014. DOI: 10.3997/2214-4609.20142245
11. Bogoyavlenskii V. I., Kishankov A. V. Dangerous gas-saturated objects in the World Ocean: The Bering Sea. *Burenie i nefi*. 2018. No. 9. pp. 4–12.
12. Sømme T. O., Dore A. G., Lundin E. R., Tørudbakken B. O. Triassic–Paleogene paleogeography of the Arctic: Implications for sediment routing and basin fill. *AAPG Bulletin*. 2018. Vol. 102, No. 12. pp. 2481–2517.
13. Houseknecht D. W. Petroleum systems framework of significant new oil discoveries in a giant Cretaceous (Aptian–Cenomanian) clinothem in Arctic Alaska. *AAPG Bulletin*. 2019. Vol. 103, No. 3. pp. 619–652.
14. Kerimov V. Yu., Bondarev A. V., Mustaeв R. N., Khoshtariya V. N. Estimation of geological risks in searching and exploration of hydrocarbon deposits. *Oil Industry*. 2017. No. 8. pp. 36–41.
15. Bogoyavlenskii V. I., Kerimov V. Yu., Olkhovskaya O. O. Dangerous gas-saturated objects in the World Ocean: The Sea of Okhotsk. *Oil Industry*. 2016. No. 6. pp. 43–47.

УДК 622.276

НЕФТЕТИТАНОВЫЙ ПОТЕНЦИАЛ ЯРЕГСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ.

Ч. 1. ОСВОЕНИЕ ЗАПАСОВ ТЯЖЕЛОЙ НЕФТИ

Е. Н. ТАРАСКИН, инженер I категории, Evgeny.Taraskin@pnn.lukoil.com

С. Э. ТЕРЕНТЬЕВ, начальник отдела

С. П. ПОДОЙНИЦЫН, начальник отдела

Д. В. АНДРЕЕВ, начальник управления

ПермНИПИнефть, Пермь, Россия

Введение

Согласно решению Правительства РФ, к трудноизвлекаемым видам полезных ископаемых, помимо запасов нефтей в баженовских, доманиковых и других аналогичных низкопроницаемых отложениях, относятся также запасы тяжелых нефтей с пластовой вязкостью более 10 тыс. мПа·с [1]. Трудноизвлекаемыми эти запасы названы потому, что, несмотря на значительную ресурсную базу, их разработка на естественном режиме или при помощи заводнения оказывается практически невозможной. Предоставленные во второй половине 2000-х годов значительные фискальные преимущества в виде обнуления ставки налога на добычу полезных ископаемых и снижения на 90 % экспортной пошлины для тяжелых нефтей существенно повысили конкурентоспособность таких запасов и позволили привлечь необходимые инвестиции для активизации их добычи преимущественно при помощи термических методов воздействия. В масштабах страны добыча такой нефти увеличилась примерно в 5 раз и достигла 10 млн т. Однако в 2021 г. указанные налоговые льготы были полностью отменены, в результате цена безубыточной добычи тяжелых нефтей снова возросла, и большинство новых проектов по освоению таких запасов оказались в «замороженном» состоянии. Основная цель статьи состоит в том, чтобы привлечь внимание к современным проблемам освоения трудноизвлекаемых запасов тяжелой нефти и сопутствующей ей титановой руды и представить инновационные способы их решения на примере уникального Ярегского месторождения.

Геолого-физическая характеристика нефтяных пластов Ярегского месторождения

Мировые геологические запасы тяжелой нефти оцениваются в 190–200 млрд т [2]. В пластах российских месторождений сосредоточено не менее 30 млрд т таких нефтей [3]. В настоящее время практически половина отечественной добычи тяжелых нефтей приходится на Республику Коми, прежде всего на Ярегское месторождение. Более 90 лет назад его первооткрыватель И. Н. Стрижов планировал получить из закладываемых на этой территории разведочных скважин лишь гелиеносный газ [4]. Поэтому в апреле 1932 г. для него

Статья посвящена 90-летию открытия уникального Ярегского нефтетитанового месторождения Республики Коми. В первой части статьи рассмотрены достигнутые показатели освоения нефтяных запасов Яреги за счет внедрения прорывных отечественных решений для термического извлечения тяжелой нефти шахтным способом и при помощи скважин, пробуренных с поверхности. Подчеркнуто, что для дальнейшего наращивания добычи тяжелой нефти требуется последовательная государственная поддержка в виде льготного налогового режима, учитывающего текущее состояние разработки Ярегского месторождения.

Ключевые слова: тяжелая нефть, титановая руда, шахтная технология, горизонтальные скважины, флотация, коагулянт, гель, налоговые льготы

DOI: 10.17580/gzh.2023.12.05

оказалось совершенно неожиданным поднять на поверхность с глубины 180–200 м из пробуренной полуручным способом скважины нефтенасыщенный песчаник, а в ноябре того же года при опробовании следующей скважины, для строительства которой уже использовали станок ударно-канатного бурения, получить до 2 т густой, как патока, нефти.

Продолжению разбуривания месторождения способствовали установленные необычные свойства ярегской нефти, которая на 40 % состоит из асфальтосмолистых веществ, практически не содержит серы (не более 1,3 %) и парафинов (около 1 %), принадлежит к нафтоароматическому типу и характеризуется в пластовых условиях при температуре 8 °С высокими значениями плотности (945 кг/м³) и вязкости (15 тыс. мПа·с). Такая нефть является ценным сырьем для производства нефтепродуктов с низкой температурой застывания, включая трансформаторное масло и дизельное топливо, а также высоколиквидных сортов битума. Потенциально из ярегской нефти можно получать и ванадий, концентрация которого в ее вакуумном остатке превышает 300 г/т.

В 1937 г. Н. Н. Тихоновичем была сформулирована и впоследствии успешно защищена в ГКЗ СССР концепция геологического строения Ярегского месторождения [5], фактическая достоверность которой подтверждается и современными исследованиями [6]. В тектоническом отношении месторождение приурочено к основному ярегскому и в два раза меньшим по суммарной площади лыя-ельскому и вежавожскому куполам, вытянутым с северо-запада на юго-восток в свode крупной Ухтинской складки. Общая площадь месторождения составляет 80 км². В геологическом разрезе вскрыты терригенные породы девонской системы, которые в пределах всего контура нефтеносности перекрыты четвертичными отложениями и залегают на метаморфических рифейско-вендских

сланцах, выполняющих роль подошвы осадочного чехла. Основным объектом разработки является III пласт, который объединяет продуктивные отложения джьерского и старооскольского горизонтов, а также эйфельского яруса. Общая толщина III пласта достигает 85–105 м, а эффективная нефтенасыщенная толщина – 20–55 м. Старооскольский горизонт представлен чистыми, хорошо отсортированными высокопористыми (до 30 %) кварцевыми песчаниками. Над ним расположена базальная часть джьерского горизонта из грубозернистых заглинизированных песчаников, которая имеет незначительную общую толщину и плохо выдержана по площади. Эйфельский ярус разделяется на две пачки: верхнюю, представленную в основном слабопроницаемыми алевролитами и аргиллитами с линзами проницаемых песчаников, и нижнюю, сложенную разноразмерными песчаниками и гравелитами, в которой выделяются коллекторы, сравнимые по своему объему и свойствам со старооскольским горизонтом. Значительная часть эйфельского яруса расположена ниже водонефтяного коллектора (ВНК). Весь III пласт интенсивно разбит дизъюнктивными нарушениями с амплитудой смещения не более 5–10 м и сопутствующим им трещинами, которые вместе обеспечивают высокую проницаемость (2–3 мкм²) и гидродинамическую связанность коллекторов в разрезе.

Периодизация разработки Ярегского месторождения

К настоящему времени в процессе разработки нефтяных запасов Ярегского месторождения выделены четыре этапа: опытная эксплуатация с поверхности; разработка ярегской площади шахтным способом на естественном режиме и термошахтным способом, а также начало разработки лыа-ельской площади при помощи технологии термогравитационного дренирования пластов (рис. 1).

С 1932 по 1944 г. из примерно 70 вертикальных разведочно-эксплуатационных скважин, пробуренных с поверхности по треугольной сетке на расстоянии 70–100 м друг от друга, преимущественно самоизливом за счет энергии растворенного газа добыто около 35 тыс. т нефти, достигнутый коэффициент извлечения нефти (КИН) на опытных участках Ярегского месторождения составил менее 0,02.

Учитывая крайне низкую продуктивность поверхностных скважин, неглубокое залегание III пласта и незначительный газовый фактор ярегской нефти (не более 15 м³/т), Н. Н. Тихонович предложил максимально приблизиться к III пласту и осуществлять его дальнейшую разработку шахтным способом. Это было необходимо для снижения противодавления на нефтяной пласт со стороны столба жидкости в добывающих скважинах.

В середине 1937 г. было начато строительство шахты № 1 с добычной мощностью 125 тыс. т нефти в год, которая была введена в эксплуатацию уже в 1939 г. Из-за возросшей потребности в нефти в 1942 г. инициировано строительство



Рис. 1. Динамика добычи нефти на Ярегском месторождении в целом

еще двух шахт той же мощности, которые были последовательно введены в эксплуатацию в 1943 и 1949 гг. К 1955 г. на трех шахтах удалось достичь максимальных объемов добычи нефти в 390 тыс. т, после чего по причине истощения пластового давления наступила стадия снижения добычи. Всего шахтным способом на естественном режиме добыто 7,5 млн. т нефти. Для этого пройдено 650,5 км горных выработок, из которых пробурено более 116 тыс. подземных скважин. Однако достигнутый КИН не превысил 0,05.

В 1972 г. начато промышленное внедрение созданной П. Г. Ворониным, Е. И. Гуровым, В. Н. Мишаковым и другими учеными двухгоризонтной системы для вторичной разработки Ярегского месторождения термошахтным способом [7]. Суть двухгоризонтной системы заключалась в том, что для закачки пара использовали подземные вертикальные скважины надпластового горизонта, а отбор нефти осуществляли через пологовосходящие скважины, пробуренные из горных выработок, расположенных в нижней части III пласта.

Большая толщина коллекторов с высокими фильтрационно-емкостными свойствами и текущей нефтенасыщенностью создавала почти идеальные условия для применения перегретого пара с температурой около 200 °С, снижающего вязкость пластовой нефти более чем в тысячу раз, а остаточную нефтенасыщенность кварцевых песчаников – до 20–30 %. С другой стороны, шахтный способ позволил использовать плотные сетки подземных скважин (0,002–0,003 га/скважину), что обеспечивало сверхинтенсивный охват разбуренных пластов термогравитационным дренированием.

Следует отметить, что еще на этапе разведки Ярегского месторождения первоначально И. Н. Стрижовым, а затем А. В. Кулевским предлагалось испытать термическое воздействие для извлечения тяжелой нефти, но слабая техническая оснащенность в тот период не позволила это реализовать.

К 2003 г. на 42 блоках ярегской площади было пройдено более 185 км выработок, пробурено около 20 тыс.

нагнетательных и 11,5 тыс. добывающих скважин. На трех стационарных котельных установках произведено 34,5 млн т пара. Все это позволило добыть 13,1 млн т нефти. Достигнутый КИН в отработанных блоках составил 0,4–0,6, что оказалось равноценным открытию нового крупного месторождения.

Однако в середине 1990-х годов из-за падения цен на нефть и высоких затрат на поддержание созданной инфраструктуры термошахтной разработки добыча нефти на Ярегском месторождении оказалась нерентабельной. В целях адаптации к низкой рыночной конъюнктуре были созданы и внедрены новые варианты термошахтной разработки.

Современное состояние термошахтной разработки ярегской площади

Согласно подземно-поверхностной системе (авторы В. В. Питиримов, Б. А. Тюнькин, Ю. П. Коноплев и другие) пар закачивают через вертикальные нагнетательные скважины, пробуренные с поверхности на границе блоков, и распределяют по пласту с помощью парораспределительных скважин, которые бурят из выработок к забоям нагнетательных скважин. Добычу нефти осуществляют через подземные добывающие скважины [8]. В модернизированной одногоризонтной системе (авторы Л. М. Рузин, О. А. Морозюк, С. М. Дуркин и другие) нагнетательные и добывающие пологовосходящие скважины бурят из одной выработки в нижней части пласта и обсаживают у устья термоизолированными трубами [9].

Обе системы позволяют снизить объем проходки в 2,6–4,2 раза за счет отказа от надпластовых выработок, увеличить среднюю площадь блока в 3 раза за счет большей длины стволов пологовосходящих скважин и тем самым сократить сроки подготовки блока к эксплуатации до 1,5–2 лет. Показатели технологической эффективности, включая темпы разработки и КИН, а также паронефтяное отношение для обеих систем примерно сопоставимы. Основным преимуществом подземно-поверхностной системы является более благоприятная температура в выработках из-за меньших прорывов в них пара. Однако в тех зонах ярегской площади, где бурение вертикальных нагнетательных скважин с поверхности невозможно, предпочтительным оказывается одногоризонтный вариант термошахтной разработки.

За последние 20 лет на ярегской площади введено в эксплуатацию около двух десятков новых блоков, строительство которых осуществляли, в том числе, комбайновым способом с увеличенной скоростью проходки до 1 км/забой в год. Для бурения пологовосходящих скважин использовали подземный самоходный станок, обеспечивающий направленную проводку таких скважин длиной от 400 до 800 м. В настоящее время 16 новых блоков разрабатывают по подземно-поверхностной системе и 3 блока – по модернизированной одногоризонтной системе (рис. 2). Общий объем закачки пара в этих блоках составляет 4286,4 тыс. т, что позволило повысить уровень добычи нефти термошахтным способом до

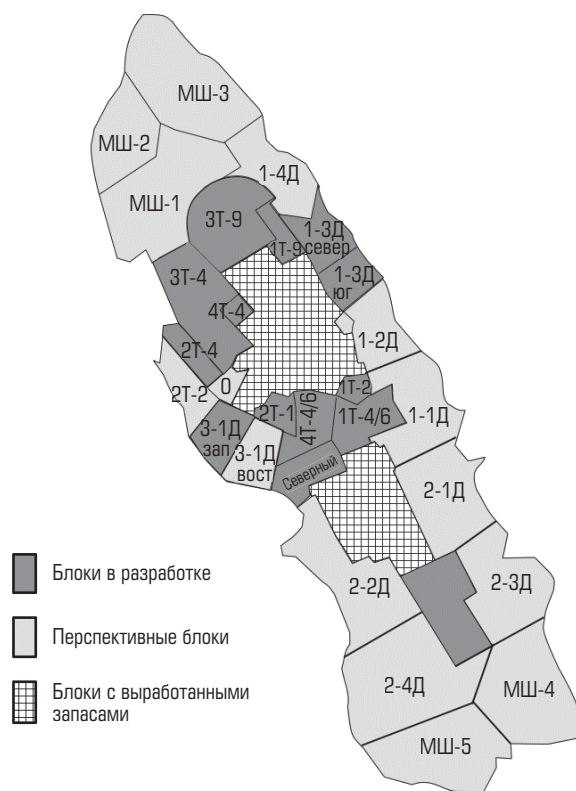


Рис. 2. Текущее состояние термошахтной разработки ярегской площади

1633,8 тыс. т и нарастить накопленную добычу нефти в границах горных отводов существующих шахт до 36,17 млн т.

Ввод в разработку нефтяных запасов лыа-ельской площади

Переломный момент в освоении лыа-ельской площади, которая является второй по объемам геологических запасов тяжелой нефти на Ярегском месторождении, наступил в 2014 г., когда была начата ее промышленная разработка по технологии встречного термогравитационного дренирования пластов с использованием горизонтальных скважин, пробуренных с поверхности (авторы В. В. Муляк, М. В. Чертенков, А. И. Бабчин и другие). До этого лыа-ельская площадь не была затронута термошахтной разработкой, поскольку находится в водонефтяной зоне и характеризуется в 1,5–2 раза меньшей нефтенасыщенной толщиной III пласта по сравнению с ярегской площадью.

В 1973–1992 гг. на лыа-ельской площади проводили опытно-промышленные работы по закачке пара с поверхности с использованием вертикальных скважин (авторы Л. М. Рузин, А. П. Базылев, В. П. Филиппов и другие). Для этого на участке ОПУ-1 площадью 25 га было пробурено 114 таких скважин и сформировано около 30 разных по плотности сетки и схеме расположения скважин элементов разработки [10]. В целом

за счет площадной закачки пара на ОПУ-1 добыто 140 тыс. т нефти. И хотя конечный КИН на этом участке достиг 0,33, средний дебит скважин по нефти не превышал 1–2 т/сут, а накопленное паронефтяное отношение не удалось снизить менее 7 т/т.

Наиболее сложная проблема разработки ОПУ-1 была связана с высоким фильтрационным сопротивлением III пласта при начальной температуре, что существенно затрудняло освоение скважин под закачку пара. Для этого использовали подстилающий водоносный горизонт, через который осуществляли предварительный прогрев нефтяной толщи. Кроме того, обязательным условием реакции добывающих скважин являлось проведение на них до трех пароциклических обработок. Полученный опыт позволил установить, что закачка пара в водоносный пласт сопровождалась большими потерями теплоты, а время начала реакции добывающих скважин при увеличении расстояния между ними и зоной нагнетания с 40 до 70 м возрастало от 2–3 мес до года. По мере разогрева пласта до 60–70 °С условия взаимодействия скважин стабилизировались, но одновременно интенсифицировались прорывы пара в добывающие скважины. После перехода на циклический режим закачки пара и ограничения отборов жидкости темпы добычи нефти быстро снижались.

Накопленные результаты разработки лыа-ельской площади с поверхности также показали, что применение вертикальных скважин для паротеплового воздействия недостаточно эффективно, в том числе из-за того, что в данном случае не используют сеть трещиноватых зон III пласта, расположенных преимущественно субвертикально. В то же время опыт термошахтной разработки ярегской площади пологовосходящими скважинами доказал высокую эффективность применения горизонтального бурения в комбинации с паротепловым воздействием на пласт. Вследствие резкого увеличения поверхности фильтрации в результате соединения траекторий скважин с трещинами фильтрационное сопротивление в пласте снижается и повышается его охват воздействием.

В 1976 г. на Ярегском месторождении для изучения возможностей добычи тяжелых нефтей побывали специалисты из Научно-исследовательского центра AOSTRA (г. Эдмонтон, Канада) и их партнеры [11]. Учитывая опыт термошахтной разработки ярегской площади, в 1983 г. на месторождении нефтяных песков Атабаска в канадской провинции Альберта была введена в эксплуатацию экспериментальная нефтяная шахта (underground test facility–UTF), где успешно использовали одногоризонтную систему. На других участках этого месторождения также для реализации одногоризонтной системы было пробурено несколько пар горизонтальных скважин, но уже с поверхности. Свою версию ярегской технологии канадские коллеги назвали Steam assisted gravity drainage (SAGD), или термогравитационное дренирование пласта (ТГДП), которая к началу текущего века получила широкое распространение в разных модификациях на многих

зарубежных месторождениях тяжелых нефтей, прежде всего в Канаде и Китае [12, 13].

Впервые на Ярегском месторождении технология ТГДП была испытана на участке ОПУ-3 ярегской площади в 2005–2007 гг., где пробурено пять пар горизонтальных скважин с длиной горизонтального участка 300 м. Согласно традиционной схеме ТГДП, в каждой паре горизонтальная нагнетательная скважина расположена выше горизонтальной добывающей скважины на 5–10 м, но в одной с ней вертикальной плоскости. Расстояние между парами скважин было выбрано равным 70 м. Из-за неконтролируемых утечек закачиваемого пара за пределы участка по разветвленной системе ранее существовавших подземных скважин и горных выработок и в связи с этим отсутствие в пласте приемлемых условий для формирования паровых камер испытания технологии ТГДП на ОПУ-3 были преждевременно остановлены.

С 2011 по 2013 г. на участке ОПУ-5 лыа-ельской площади, который до этого не был вовлечен в разработку, проводили опытные работы по реализации технологии встречного ТГДП с использованием пяти пар горизонтальных скважин с длиной горизонтальных участков от 850 до 1000 м (рис. 3). В отличие от традиционного ТГДП, в использованной на ОПУ-5 встречной схеме бурение горизонтальных нагнетательных и добывающих скважин осуществляли с двух кустовых площадок, расположенных друг напротив друга (аналогично наиболее эффективной подземно-поверхностной схеме термошахтного способа разработки), но расстояние между парами скважин, равное 70 м, и вертикальный сдвиг в 5–10 м между нагнетательной и горизонтальной скважинами каждой пары остались такими же, как на ОПУ-3. При бурении скважин использовали пеноцементную технологию крепления обсадных колонн для повышения качества цементирования в условиях интенсивных поглощений из-за низкого пластового давления (градиент пластового давления составлял 0,07 МПа/10 м) и при пересечении трещиноватых зон пласта, а также для предотвращения негативных последствий от высоких температурных нагрузок в процессе закачки пара [14]. В целях минимизации поступления песка, особенно на начальной стадии эксплуатации, все добывающие скважины ОПУ-5 оборудованы свободным от цементного камня фильтром-хвостовиком, ширина вырезанных щелей в котором не превышает 350 мкм.

Результаты опытно-промышленных работ подтвердили основное преимущество встречного ТГДП, связанное с тем, что зона максимальной депрессии, создаваемая насосом при отборе жидкости в «пятке» добывающей скважины, не совпадает с зоной максимальной репрессии от закачки пара, образующейся в «пятке» нагнетательной скважины, поскольку при встречном ТГДП эти зоны находятся друг от друга на удалении, равном длине горизонтального участка скважин. В результате вдоль всего интервала горизонтального участка в обеих скважинах устанавливается практически равномерное распределение температуры и давления.

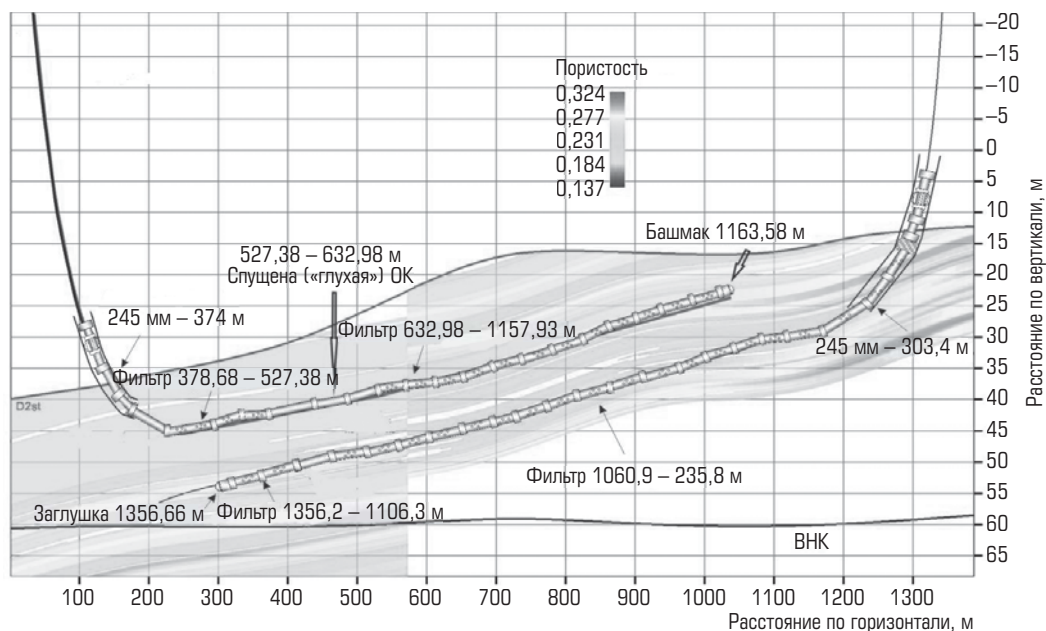


Рис. 3. Расположение горизонтальных скважин по схеме встречного ТГДП на участке ОПУ-5

Таким образом, закачиваемый пар достигает «носки» и прогревает весь горизонтальный участок нагнетательной скважины, а не уходит в пласт исключительно через ее «пятку», как это часто бывает при традиционном ТГДП. Полноценный охват нагревом всего горизонтального участка нагнетательной скважины способствует развитию в пласте увеличенной паровой камеры, при этом дебит добывающей скважины по нефти быстро нарастает с одновременным замедлением темпов ее обводнения и ускоренным снижением накопленного паронефтяного отношения.

Специфика внедрения встречного ТГДП также предполагает обязательное проведение на начальной стадии процесса в течение не менее 2–3 мес предварительного прогрева межскважинной зоны пласта путем циркуляции пара в каждой горизонтальной скважине сначала по колонне насосно-компрессорных труб (НКТ) к «носку», а затем в обратном направлении по межтрубному пространству к «пятке». В результате конденсации пар теряет свою теплоту, которая передается прискважинной области пласта за счет теплопроводности. Происходит постепенный нагрев пласта, снижается вязкость нефти, что способствует установлению гидродинамической связи между нагнетательной и добывающей скважинами практически по всей длине их горизонтальных участков.

При эксплуатации скважин в режиме ТГДП ведут непрерывный мониторинг объемов закачиваемого пара и добываемой жидкости на устьях нагнетательных и добывающих скважин соответственно, а также температуры и давления на приеме насоса в каждой добывающей скважине. Такая информация необходима для регулирования роста паровой камеры в пласте, предупреждения прорывов пара и нагрева насоса в добывающих скважинах более 150 °С. Из накопленных данных следует, что оптимальные значения недогрева жидкости (т. е. разница между температурой насыщенного

пара и температурой жидкости на приеме насоса) изменяются в пределах 50–70 °С, а компенсации отборов жидкости закачкой в пересчете на конденсат составляет 75–90 %. Соблюдение такого режима эксплуатации, с одной стороны, не допускает излишнего «затопления» конденсатом нагнетательных скважин и охлаждение пласта, а с другой – защищает добывающую скважину от потенциальных проблем, связанных с прорывами в нее пара и запесковыванием.

Опираясь на положительные результаты опытно-промышленных работ на ОПУ-5, в 2014 г. принято решение об использовании технологии встречного ТГДП для разработки всей лыа-ельской площади (рис. 4). Одновременно рекомендовано в целях обеспечения стабильной работы насосов в добывающих скважинах при разбуривании новых кустов изменить траекторию этих скважин на пологовосходящую или горизонтальную.

По состоянию на 01.01.2022 г. на лыа-ельской площади пробурены и введены в эксплуатацию 93 пары горизонтальных скважин, при этом годовой уровень закачки пара возрос до 2982,8 тыс. т, а добычи нефти – до 855 тыс. т. Конечный КИН на лыа-ельской площади с применением встречного ТГДП оценивается не ниже 0,34.

Модернизация системы обустройства промышленной инфраструктуры

Достигнутые темпы освоения нефтяных запасов на Ярегском месторождении не были бы возможны без масштабного обновления его наземной промышленной инфраструктуры. В 2016–2018 гг. введены в эксплуатацию следующие новые объекты, построенные согласно современным требованиям экологической безопасности:

- энергоцентр мощностью 75 МВт для выработки собственной электроэнергии в составе трех газовых турбин и многофункциональной системы газоподготовки;

- четыре парогенераторные установки общим количеством вырабатываемого пара 1500 т/ч, рассредоточенные на ярегской и лыа-ельской площадях;
- составляющие единый производственный комплекс замкнутого цикла установка подготовки и сбора нефти производительностью 300 т/ч и водоподготовительная установка производительностью 700 м³/ч, где из попутной воды методом вакуумного выпаривания получают дистиллят для производства пара;
- установка химической водоочистки на лыа-ельской площади производительностью 330 м³/ч для подготовки поверхностной питательной воды докотлового качества.

Создание системы оборотного водоснабжения с использованием водоподготовительной установки на ярегской площади позволило полностью отказаться от забора питательной воды из поверхностных источников для термошахтной разработки и более чем наполовину сократить объемы утилизации попутной воды на полигонах захоронения.

Заключение

В настоящее время Ярегское месторождение является одним из самых значимых в глобальном масштабе центров добычи тяжелой нефти, сопоставимым с созданными в Канаде и Омане производственными кластерами для разработки аналогичных месторождений. Следует отметить, что такой высокий результат достигнут на Ярегском месторождении исключительно при использовании отечественных технологических решений.

Прорывные способы добычи тяжелой нефти в виде подземно-поверхностной системы с увеличенной протяженностью подземных скважин и встречного ТГДП, а также имеющиеся инфраструктурные возможности обеспечивают годовое извлечение тяжелой нефти на Ярегском месторождении в количестве 2,4–2,6 млн т.

Основные перспективы термошахтной разработки ярегской площади связаны со строительством в ее периферийных

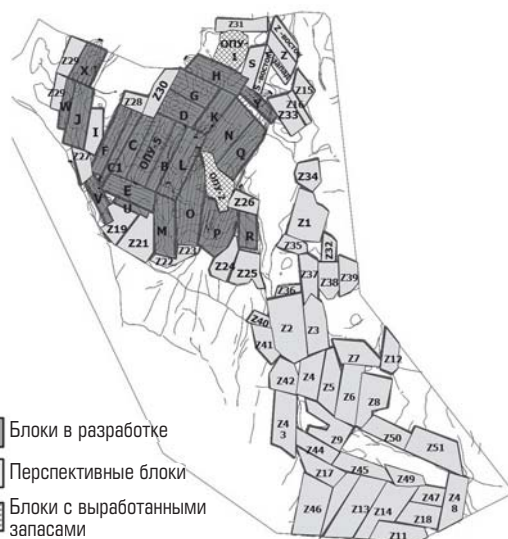


Рис. 4. Текущее состояние разработки лыа-ельской площади по технологии встречного ТГДП

зонах модельных шахт с минимальным объемом горных выработок. Для увеличения охвата III пласта термогравитационным дренированием и снижения паронефтяного отношения на лыа-ельской площади необходимы уплотняющие горизонтальные скважины. При этом в обоих случаях нагнетательные и добывающие скважины должны располагаться таким образом, чтобы основные зоны закачки пара и отбора нагретой нефти были удалены друг от друга не менее чем на 400 м.

Несмотря на более чем девяностолетнюю историю разработки, остаточный ресурсный потенциал Ярегского месторождения позволяет увеличить годовую добычу тяжелой нефти, как минимум, на треть, т. е. до 3,5 млн т. Однако для этого необходима государственная поддержка, компенсирующая финансовые потери, возникшие в результате изменения налогового режима для тяжелых нефтей.


Библиографический список

1. Об установлении видов трудноизвлекаемых полезных ископаемых, в отношении которых право пользования участком недр может предоставляться для разработки технологий геологического изучения, разведки и добычи трудноизвлекаемых полезных ископаемых: Постановление Правительства РФ от 19.09.2020 № 1499 (с изм. на 12.02.2022). URL: <https://docs.cntd.ru/document/565829662> (дата обращения: 15.06.2023).
2. Liu Zuodong, Wang Hongjun, Blackburn G., Ma Feng, He Zhengjun et al. Heavy Oil and Oil Sands: Global Distribution and Resource Assessment // Acta Geologica Sinica. 2019. Vol. 93. Iss. 1. P. 199–212.
3. Зарипов А. Т., Разумов А. Р., Береговой А. Н., Князева Н. А., Васильев З. П. и др. Повышение эффективности разработки залежей сверхвязкой нефти в уплотненных и заглинизированных коллекторах // Нефтяное хозяйство. 2021. № 7. С. 28–31.
4. Захаров В. Д., Козулин А. Н. Нефть и газ Коми АССР: сб. документов и материалов – Сыктывкар: Коми книжное изд-во, 1979. – 262 с.
5. Тихонович Н. Н. Нефтяные месторождения Ухто-Печорского края // Международный XVII геологический конгресс. – М.–Л., 1937. С. 21–22.
6. Ершова О. В., Терентьев С. Э. Планирование и сопровождение бурения горизонтальных скважин в условиях геологической и тектонической неопределенностей на лыаельской площади Ярегского месторождения // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. 2022. № 9(369). С. 55–62.
7. Пат. 747986 СССР. Шахтный способ разработки нефтяных месторождений / П. Г. Воронин, Е. И. Гуров, В. С. Зубков и др.; заяв. 13.03.1972; опубл. 15.07.1980, Бюл. № 26.
8. Пат. 2199657 РФ. Подземно-поверхностный способ разработки месторождения высоковязкой нефти / Ю. П. Коноплев, Б. А. Тюнькин, Л. Г. Груцкий и др.; заявл. 17.04.2001; опубл. 27.02.2003.
9. Пат. 2702040 РФ. Способ термошахтной разработки месторождения высоковязкой нефти по усовершенствованной одногоризонтной системе со скважинами длиной до 800 м / С. М. Дуркин, Л. М. Рузин, О. А. Морозюк и др.; заявл. 29.12.2017; опубл. 03.10.2019, Бюл. № 28.
10. Дуркин С. М., Меньшикова И. Н., Рузин Л. М., Терентьев А. А. Опыт разработки Лыаельской площади Ярегского месторождения высоковяз-

кой нефти с применением различных технологий // Нефтяное хозяйство. 2019. № 10. С. 62–67.

11. Duncan G. J. Drilling Horizontal Wells for the Mine Assisted In-Situ Project // GeoConvention 2013: Integration Conference. Calgary, 2013.
12. Zeinab Zargar, Syed Farouq Ali. How to Space SAGD Well Pairs for Optimal Performance // SPE Annual Technical Conference and Exhibition. – Dubai, 2021. DOI: 10.2118/206381-MS
13. Guodong Cui, Ting Liu, Jingyu Xie, Guanghui Rong, Lihong Yang. A review of SAGD technology development and its possible application potential on thin-

layer super-heavy oil reservoirs // Geoscience Frontiers. 2022. Vol. 13. Iss. 4. ID 101382.

14. Лопарев Д. С., Деминская Н. Г., Молоканов Д. Р., Чертенков М. В., Василенко И. Р. Развитие технологии крепления скважин на Ярегском месторождении при паротепловом воздействии // Нефтяное хозяйство. 2017. № 7. С. 33–35. 

«GORNYI ZHURNAL», 2023, № 12, pp. 29–35
DOI: 10.17580/gzh.2023.12.05

Oil and titanium potential of the Yarega field.

Part 1. Development of heavy oil reserves

Information about authors

E. N. Taraskin¹, Engineer Category I, Evgeny.Taraskin@pnn.lukoil.com

S. E. Terentiev¹, Head of Department

S. P. Podoinitsyn¹, Head of Department

D. V. Andreev¹, Director of Management

¹PermNIPneft, Perm, Russia

Abstract

The paper is dedicated to the 90th anniversary of the discovery of the unique Yarega heavy oil-titanium field in the Komi Republic of Russia. The first part of the paper examines the achieved indicators of the development of Yarega field fluid reserves by the breakthrough domestic solutions for the thermal heavy oil recovery using underground mining facilities and SAGD wells. It has been shown that the highest reservoir heating and heavy oil recovery are obtained by the scheme of horizontal wells, in which the main zones of steam injection and heated oil extraction are located at least 400 m from each other. It is emphasized that for further increase in heavy oil recovery it is necessary to have a consistent government support in the form of a preferential tax regime that takes into account the current state of Yarega field.

Keywords: heavy crude oil, titanium-bearing oil, in situ technology, horizontal wells, flotation, coagulant, gel, tax benefits

References

1. Available at: <https://docs.cntd.ru/document/565829662> (accessed: 15.06.2023).
2. Liu Zuodong, Wang Hongjun, Blackburn G., Ma Feng, He Zhengjun et al. Heavy oil and oil sands: Global distribution and resource assessment. *Acta Geologica Sinica*. 2019. Vol. 93, Iss. 1. pp. 199–212.

3. Zarirov A. T., Razumov A. R., Beregovoy Ant. N., Knyazeva N.A., Vasilyev E. P. et al. Improved production performance of heavy oil reservoirs with compacted and shaled-out interlayers. *Neftyanoe khozyaystvo*. 2021. No. 7. pp. 28–31.
4. Zakharov V. D., Kozulin A. N. Oil and gas of the Komi ASSR : Collected papers. Syktyvkar : Komi knizhnoe izdatelstvo, 1979. 262 p.
5. Tikhonovich N. N. The Ukhta–Pechora oil fields. *XVII International Geological Congress*. Moscow–Leningrad, 1937. pp. 21–22.
6. Ershoba O.V., Terentev S. E. Horizontal drilling planning and supervision under geological and tectonic uncertainty in the Lyael area of the Yarega field. *Geologiya, geofizika i razrabotka neftnykh i gazovykh mestorozhdeniy*. 2022. No. 9(369). pp. 55–62.
7. Voronin P. G., Gurov E. I., Zubkov V. S. et al. In situ oil recovery method. Patent SSSR, No. 747986. Applied: 13.03.1972. Published: 15.07.1980. Bulletin No. 26.
8. Konoplev Yu. P., Tyunkin B. A., Grutskiy L. G. et al. Underground-surface method of development of high-viscosity oil deposit. Patent RF, No. 2199657. Applied: 17.04.2001. Published: 27.02.2003.
9. Durkin S. M., Ruzin L. M., Morosyuk O. A. Method for thermal treatment of deposit of high-viscosity oil using improved single-horizon system with wells of up to 800 meters. Patent RF, No. 2702040. Applied: 29.12.2017. Published: 03.10.2019. Bulletin No. 28.
10. Durkin S.M., Menshikova I. N., Rusin L. M., Terentiev A. A. Experience of development of the Liael area of Yaregskoye heavy oil field using different technologies. *Neftyanoe khozyaystvo*. 2019. No. 10. pp. 62–67.
11. Duncan G. J. Drilling horizontal wells for the mine assisted in-situ project. *GeoConvention 2013: Integration Conference*. Calgary, 2013.
12. Zeinab Zargar, Syed Farouq Ali. How to space SAGD well pairs for optimal performance. *SPE Annual Technical Conference and Exhibition*. Dubai, 2021. DOI: 10.2118/206381-MS
13. Guodong Cui, Ting Liu, Jingyu Xie, Guanghui Rong, Lihong Yang. A review of SAGD technology development and its possible application potential on thin-layer super-heavy oil reservoirs. *Geoscience Frontiers*. 2022. Vol. 13, Iss. 4. ID 101382.
14. Loparev D. S., Deminskaya N. G., Molokanov D. R., Chertenkov M. V., Vasilenko I. R. Developing well casing technology in condition of sag at Yaregskoye field. *Neftyanoe khozyaystvo*. 2017. No. 7. pp. 33–35.

От имени коллектива Публичного акционерного общества «Приаргунское производственное горно-химическое объединение» выражаю благодарность редакции «Горного журнала» за высокий профессионализм по выпуску в журнале № 7 (июль) 2023 г. публикаций об основных вехах развития, достижениях и направлениях производственной деятельности ПАО «ППГХО», в том числе проектов, нацеленных на долгосрочную перспективу и совершенствование действующих методов добычи и переработки уранового сырья.

Коллективу издательского дома «Руда и Металлы» позвольте пожелать дальнейшего процветания, новых творческих идей, вдохновения и перспектив в освещении научно-технических проблем и достижений передовых горнодобывающих и перерабатывающих предприятий, научно-исследовательских институтов и организаций.

Благодарим за совместную работу и надеемся на дальнейшее плодотворное сотрудничество.

Генеральный директор

И. А. Киселев



УДК 622.25

ИССЛЕДОВАНИЕ ДЕФОРМАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ В КРЕПИ ПРИСТВОЛЬНЫХ ВЫРАБОТОК ГЛУБОКОГО ШАХТНОГО СТВОЛА РУДНИКА «СКАЛИСТЫЙ»

Т. П. ДАРБИНЯН¹, директор Департамента горного производства, канд. техн. наук, DarbinyanTP@nornik.ru

А. В. БЫЛКОВ¹, первый зам. директора по развитию минерально-сырьевой базы

А. А. ЦЫМБАЛОВ¹, зам. директора по горному производству

М. С. ПЛЕШКО², проф., д-р техн. наук

¹Заполярный филиал ПАО «ГМК «Норильский никель», Норильск, Россия

²Горный институт НИТУ МИСИС, Москва, Россия

Введение

Вертикальные стволы горных предприятий сооружают в комплексе с различными приствольными выработками и камерами: сопряжениями с основными рабочими и вентиляционными горизонтами, камерами загрузочных устройств и бункеров, вентиляционными и калориферными каналами, камерами зумпфового водоотлива, перекачными, редуцированными камерами и др.

Многочисленные обследования вертикальных стволов в Норильском промышленном районе, Донбассе, на Верхнекамском месторождении калийно-магниевых солей показали, что на долю участков примыкания приствольных выработок к стволам приходится до 75 % критических нарушений конструкций ствола [1–3].

Безремонтные сроки эксплуатации сопряжений шахтных стволов в ряде случаев не превышают 3–4 лет. Характерными видами дефектов являются трещины, заколы, вывалы крепи и пород, деформации арматурных элементов, искривления расстрелов и проводников, образование пустот в закрепном пространстве. Прослеживается тенденция ухудшения состояния крепи и армировки по мере увеличения глубины заложения сопряжений [4].

Изучению напряженно-деформированного состояния сопряжений шахтных стволов теоретическими и экспериментальными методами посвящено большое число работ отечественных ученых и специалистов.

В работах В. Е. Боликова, А. А. Бородули, В. А. Дрибана, А. М. Козела, И. А. Колдунова, С. В. Сергеева, И. А. Южанина и других выполнены комплексные натурные исследования по анализу напряженно-деформированного состояния участков сопряжений вертикальных стволов, выявлению причин нарушений крепи и армировки с учетом влияния горно-геологических и горнотехнических факторов. Обобщение

Описан опыт сооружения вертикального ствола СКС-1 рудника «Скалистый» Заполярного филиала ПАО ГМК «Норильский никель». Для расчески приствольных выработок на больших глубинах применена прогрессивная схема проходки сопряжений с передовой комбинированной крепью. Параллельно осуществляли мониторинг напряженно-деформированного состояния крепи и оценку устойчивости выработок. По результатам исследований сделан вывод, что предложенная схема мониторинга напряженно-деформированного состояния приствольной выработки является простым и эффективным способом оценки ее устойчивости.

Ключевые слова: ствол, сопряжение, устойчивость, крепь, массив, технология проходки, мониторинг, напряжения, деформации
DOI: 10.17580/gzh.2023.12.06

результатов данных исследований выполнено в монографии [5], где отдельно подчеркнута важность экспериментальных натурных исследований в шахтных стволах.

Эффективные технологические схемы расчески сопряжений вертикальных стволов одновременно с проходкой ствола разработаны А. А. Бородулей, С. В. Борщевским, М. В. Вальцевым, В. В. Левитом, Ф. И. Ягодкиным и другими [1, 6, 7]. В трудах этих ученых представлено обоснование параметров анкерного упрочнения породного массива в районах сопряжений, а также комбинированной анкерно-бетонной крепи приствольных выработок, что позволило существенно повысить технико-экономическую эффективность строительства приствольных выработок за счет отказа от громоздких рамных и металлобетонных крепей, широко применяемых в 1970–1980-х годах.

Следует отметить, что при анализе напряженно-деформированного состояния и оценке устойчивости участков сопряжений стволов необходимо рассматривать большой комплекс влияющих факторов. Проходка шахтного ствола и расческа приствольных выработок приводят к перераспределению напряжений и развитию деформаций в околоствольном массиве. При определенных условиях происходит образование зон предельного состояния пород, которые в дальнейшем разрушаются в условиях неоднородных объемных напряженных состояний. В классических трудах И. В. Баклашова [8] показано, что зона дезинтеграции вокруг ствола может включать различные области деформирования и разрушения: примыкающие к внешней поверхности крепи области остаточной прочности или области руинного разрушения; области запредельного деформирования с постепенно возрастающей в глубь массива прочностью пород.

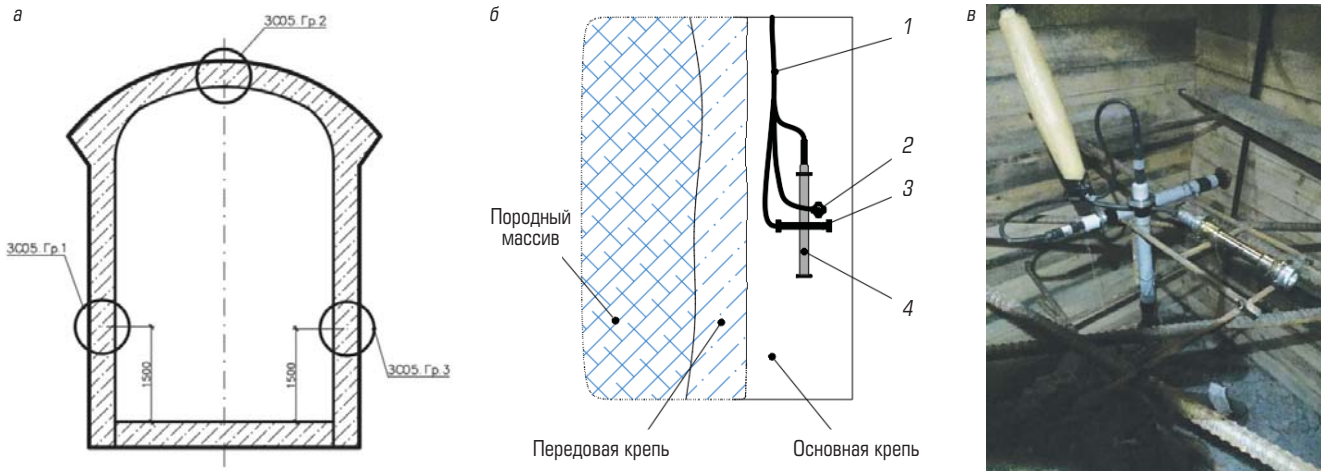


Рис. 1. Станция деформационного мониторинга в сопряжении ствола:

1 – кабельная группа; 2 – датчик линейных деформаций бетона ПЛДС-М-400 С; 3 – датчик линейных деформаций бетона ТБ 200-ВНИИГ; 4 – датчик линейных деформаций бетона ПЛДС-М-400 Р; ЗСО5.Гр.1 – замерная станция № 5, первая группа датчиков

С ростом глубин геомеханическая ситуация в шахтных стволах ухудшается. Например, при строительстве ствола глубиной 1527 м предприятия Xincheng Gold Mine наблюдались динамические проявления горного давления, которые сделали невозможным применение жестких конструкций крепей, возводимых по совмещенной технологической схеме. Реализована параллельная технологическая схема с передовой комбинированной крепью из анкеров и торкрет-бетона [9, 10].

Современные результаты натурных исследований в глубоких шахтных стволах [11, 12] показали, что к снижению устойчивости стволов и сопряжений стволов с горизонтами дополнительно приводит неравномерность горизонтального поля напряжений в породном массиве, которая также наблюдается на многих месторождениях в Российской Федерации. В таких условиях эффективным является применение двухуровневой анкерной крепи, канатных анкеров и других энергоэффективных анкеров с высокой несущей способностью [12].

В сопряжениях стволов с глубокими горизонтами могут развиваться неравномерные и растягивающие деформации, наиболее опасные для крепей на основе бетона. Для их компенсации целесообразно применение глубинных анкеров длиной до 7–9 м в сочетании с основной сплошной крепью [13].

Помимо объективных горнотехнических проблем строительства и обеспечения устойчивости приствольных выработок, следует учитывать и такие проектные факторы, как недостаточная изученность геологических условий на стадии разработки проекта и определения параметров крепи, не всегда оптимальное размещение приствольных выработок в тектонически напряженном и нарушенном массиве, а также строительно-эксплуатационные факторы, связанные с некачественным выполнением работ [14].

С учетом рассмотренных проблемных аспектов при строительстве ствола СКС-1 рудника «Скалистый» Заполярного филиала ПАО ГМК «Норильский никель» для рассечки приствольных выработок на больших глубинах реализована прогрессивная схема проходки сопряжений и камерных выработок околоствольного двора с применением передовой комбинированной крепи. Параллельно осуществляли мониторинг напряженно-деформированного состояния крепи и оценку устойчивости выработок натурными и расчетными методами. В настоящей публикации представлены некоторые результаты мониторинга для нижнего сопряжения ствола на глубине 2048,5 м, полученные с помощью замерной станции, которая является самым глубоким пунктом деформационного мониторинга конструкций подземных сооружений в Российской Федерации.

Методика мониторинга

В стволе СКС-1 рудника «Скалистый» на глубине более 1800 м в период проходки установлены пять замерных станций деформационного мониторинга, оснащенных датчиками линейных деформаций.

Замерная станция пятой группы размещена в нижнем сопряжении ствола на относительной отметке –2048,5 м в основной бетонной крепи камеры просора.

Комплектация замерной станции:

- три датчика линейных деформаций бетона ПЛДС-М-400 С;
- три датчика линейных деформаций бетона ПЛДС-М-400 Р;
- три датчика линейных деформаций бетона ТБ 200-ВНИИГ;
- один датчик усадочных линейных деформаций бетона ПЛДС-М-400 Р в конусе;
- один измерительный струнный преобразователь температуры ПТС-М-90-В1.

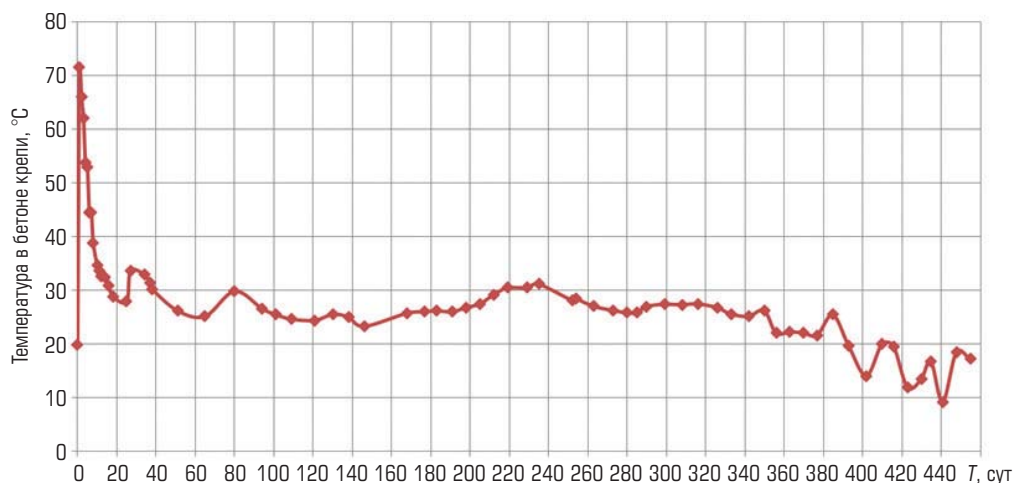


Рис. 2. График изменения температуры в основной крепи сопряжения

Перечисленные датчики являются измерительными устройствами закладного типа, имеющими герметичный корпус и анкерные устройства для замоноличивания в бетонные и железобетонные конструкции с целью последующего совместного деформирования под нагрузкой.

Схема расположения замерных групп в сечении сопряжения показана на **рис. 1, а**, расположение датчиков в замерной группе – на **рис. 1, б**, внешний вид замерной группы представлен на **рис. 1, в**.

Процесс строительства сопряжения и монтажа замерной станции был реализован в следующем порядке.

Рассечку сопряжения осуществляли по последовательной технологической схеме. Сначала в направлении от ствола заходками по 2–2,5 м вели проходку камеры с возведением передовой крепи из анкеров СЗА длиной 3,5 м, армокаркасов и торкрет-бетона толщиной 150 мм класса В30.

Затем в направлении от забоя сопряжения к стволу вводили основную железобетонную крепь толщиной 500 мм, класс бетона В30.

Датчики замерной станции устанавливали в проектное положение после сооружения деревянной опалубки и монтажа арматурного каркаса, но до заливки монолитного бетона основной крепи сопряжения. В дальнейшем они деформировались совместно с крепью по мере набора прочности и вступления ее в работу. Это позволило вести контроль деформаций крепи сопряжения с начального момента и наиболее точно оценить фактический запас ее несущей способности.

Результаты мониторинга

Данные с датчиков замерной станции крепи сопряжения обрабатывали и анализировали в режиме реального времени. Ниже приведены основные результаты наблюдений за период 1 года и 3 мес (по 31 декабря 2022 г. включительно).

На **рис. 2** представлен график изменения температуры в бетоне основной крепи.

В процессе твердения бетона происходит его резкий разогрев с последующей постепенной стабилизацией температуры и небольшими сезонными колебаниями.

На **рис. 3, а** представлены графики изменения относительных деформаций в крепи сопряжения на глубине 2048,5 м, полученные по показаниям датчиков ПЛДС-М-400 С, установленных в поперечном (тангенциальном) сечении камеры направлении; на **рис. 3, б** — графики изменения относительных деформаций в основной крепи сопряжения, полученные по данным датчиков ПЛДС-М-400 Р, установленных в продольном направлении; на **рис. 3, в** — графики изменения относительных деформаций в основной крепи сопряжения, полученные по данным радиально установленных датчиков ТБ 200-ВНИИГ.

Анализ представленных данных показывает, что после активной стадии деформирования, обусловленной вступлением крепи в работу и экзотермическими реакциями при твердении бетона, деформации стабилизировались, что свидетельствует об устойчивом состоянии приствольный камеры. Количественные значения деформаций показывают, что бетон крепи работает упруго (I стадия деформирования). Некоторая неравномерность деформаций обусловлена сложной пространственной геометрией контролируемого участка и влиянием близкорасположенного вертикального ствола.

Для определения фактического запаса несущей способности крепи выполнен пересчет на напряжения, по результатам которого установлено, что вследствие эффективного применения передовой крепи основная крепь находится в недогруженном состоянии. Величина коэффициента запаса несущей способности составляет

$$K = \frac{\gamma_{b1}\gamma_{b2}\gamma_{b3}R_b}{\sigma_{\max}} = \frac{11,7}{2,64} = 4,43,$$

где R_b – расчетная прочность бетона В30 с учетом понижающих коэффициентов согласно СП 63.13330.2018: $\gamma_{b1} = 0,9$ – коэффициент, учитывающий влияние длительности действия нагрузки; $\gamma_{b2} = 0,9$ – коэффициент, учитывающий характер разрушения бетонных конструкций; $\gamma_{b3} = 0,85$ – коэффициент, учитывающий бетонирование в вертикальном положении при высоте слоя бетонирования свыше 1,5 м; σ_{max} – максимальные измеренные напряжения в крепи.

Таким образом, по результатам анализа данных и проведенных расчетов установлено, что в крепи наблюдается стабилизация деформаций во всех точках мониторинга при относительно низком уровне ее загрузки. Приствольная камера ствола СКС-1 на глубине 2048,5 м находится в устойчивом состоянии.

Выводы и рекомендации

По результатам исследований можно отметить, что предложенная схема мониторинга напряженно-деформированного состояния приствольной выработки является простым и эффективным способом оценки ее устойчивости. Датчики струнного типа, заливаемые в бетон, имеют достаточную надежность, долговечность при относительно низкой стоимости и позволяют получать постоянную и объективную информацию о протекающих в крепи деформационных процессах.

Высокую эффективность показала и реализованная схема расчески сопряжения с последовательной и разнонаправленной схемой выполнения работ по проходке и возведению основной крепи. Комбинированная передовая крепь из анкеров, армокаркасов и торкрет-бетона в короткие сроки вступает в работу, имеет высокую несущую способность и в дальнейшем является частью постоянной крепи камеры. Это обеспечивает благоприятный режим работы основной крепи, что особенно важно относительно ее дальнейшей длительной эксплуатации на период не менее 50 лет.

В целом полученный опыт проходки и последующего мониторинга устойчивости приствольных выработок на больших глубинах может быть успешно применен на аналогичных объектах при строительстве и углубке глубоких стволов объектов горнорудной промышленности в различных регионах России.

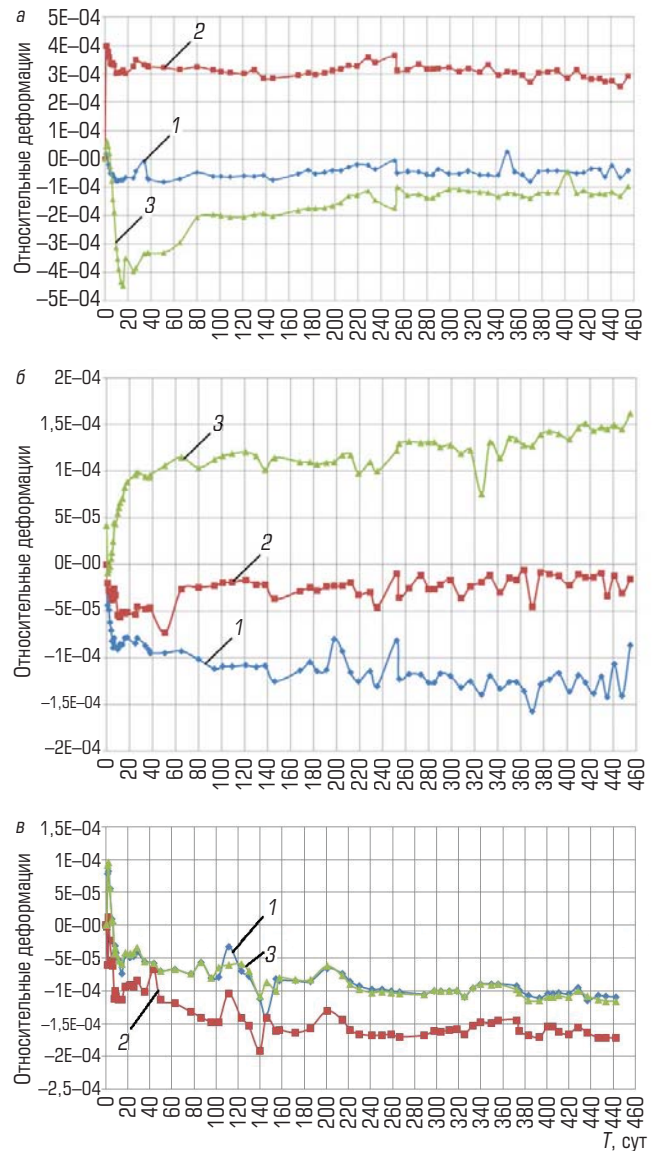



Рис. 3. Относительные тангенциальные (а), продольные (б) и радиальные (в) деформации в основной крепи сопряжения:

1, 2, 3 – номера замерных групп

Библиографический список

1. Глебо В. В., Борщевский С. В. К вопросу обоснования параметров крепи сопряжения вертикальных стволов // Проблемы горного давления. 2015. № 1(26). С. 58–68.
2. Pleshko M. S., Pankratenko A. N., Pleshko M. V., Nasonov A. A. Assessment of stress-strain behavior of shaft lining in bottomhole area during sinking by real-time monitoring and computer modeling data // Eurasian Mining. 2021. No. 1. P. 25–30.
3. Кириенко Ю. А. Обоснование конструкции крепи сопряжения шахтного ствола, пройденного в солях // ГИАБ. 2022. № 6. С. 20–34.
4. Алыменко Д. Н., Соловьев В. А., Антуков В. Н., Котляр Е. К. О видах крепи сопряжений шахтных стволов и приствольных выработок в соляных породах // ФТПРПИ. 2018. № 1. С. 46–54.
5. Казикаев Д. М., Сергеев С. В. Диагностика и мониторинг напряженного состояния крепи вертикальных стволов. – М.: Горная книга, 2011. – 244 с.

6. Марысюк В. П., Сабянин Г. В., Андреев А. А., Васильев Д. А. Оценка напряженного состояния рудного массива при ведении очистных работ на глубоких рудниках Талнаха // Горный журнал. 2020. № 6. С. 17–22.
7. Пleshko М. С., Курнаков В. А. Анализ нормативной базы и научных исследований в области крепления вертикальных стволов. Направления их дальнейшего развития // ГИАБ. 2011. № 4. С. 49–53.
8. Баклашов И. В., Картозия Б. А., Шашенко А. Н., Борисов В. Н. Геомеханика : учебник. – М. : МГГУ, 2004. Т. 2. Геомеханические процессы. – 249 с.
9. Xingdong Zhao, Lei Deng, Xin Zhou, Yifan Zhao, Zhenpeng Guo. A Primary Support Design for Deep Shaft Construction Based on the Mechanism of Advanced Sequential Geopressure Release // Processes. 2022. Vol. 10. No. 7. DOI: 10.3390/pr10071376
10. Xingdong Zhao, Yangyang Li. Estimation of support requirement for a deep shaft at the Xincheng Gold Mine, China // Bulletin of Engineering Geology and the Environment. 2021. Vol. 80. P. 6863–6876.
11. Yuezheng Zhang, Hongguang Ji, Hanhua Xu. Study on the Law of Rock Anelastic Recovery and the Characteristics of In Situ Stress Field of 2000 m Deep Stratum in Metal Mines of Coastal Area // Advances in Materials Science and Engineering. 2022. Vol. 2022. ID 2152814.
12. Chengwei Zhao, Xiaoming Sun, Yong Zhang, Shangkun Zhang, Jiaxuan Zhang. Optimization analysis of NPR cable support considering bearing structure in the NSF condition of deep shaft based on Daqiang coal mine // Arabian Journal of Geosciences. 2021. Vol. 14. 1942. DOI: 10.1007/s12517-021-08274-x
13. Shengrong Xie, Zaisheng Jiang, Dongdong Chen, En Wang. Study on Zonal Cooperative Control Technology of Surrounding Rock of Super Large Section Soft Rock Chamber Group Connected by Deep Vertical Shaft // Advances in Civil Engineering. 2022. ID 4220998.
14. Жуков А. А. Адаптация методов георадиолокации и ультразвуковой томографии для решения горно-геологических задач в условиях калийных месторождений (на примере Верхнекамского месторождения солей) : дис ... канд. техн. наук. – Екатеринбург, 2018. – 154 с. 

«GORNII ZHURNAL», 2023, № 12, pp. 36–40
DOI: 10.17580/gzh.2023.12.06

Deformation processes in roadway support systems at deep shaft in Skalisty Mine

Information about authors

T. P. Darbinyan¹, Director of Mining Production Department, Candidate of Engineering Sciences, DarbinyanTP@ornik.ru

A. V. Bylkov¹, First Deputy Director of Mineral Resources and Mineral Supplies

A. A. Tsymbalov¹, Deputy Director of Mining Production

M. S. Pleshko², Professor, Doctor of Engineering Sciences

¹NorNickel's Polar Division, Norilsk, Russia

²College of Mining, National University of Science and Technology "MISIS", Moscow, Russia

Abstract

In mines vertical shafts are constructed in integration with various roadways joined with the shafts. Multiple research of vertical shafts shows that junctions of the shafts and roadways feature up to 75 % of critical damage in the shaft structure, and their maintenance-free operations is no longer than 3–4 years sometimes. In this respect, in construction of SKS-1 shaft in Skalisty Mine, NorNickel's Polar Division, for joined roadways at great depths, an innovative heading scheme with the advanced mixed-type ground support and reinforcement system was employed. Concurrently, the stress–strain monitoring was performed in the mine support together with the stability estimation of roadways using the field inspection and calculation techniques. The deepest-set measurement station was placed in a shaft roadway at the depth of 2048.5 m. From the observation data collected for one year and a quarter, in the permanent support of the shaft-joined roadway, deformation is stabilized at all monitoring points and at a relatively low loading. Concrete of the lining works elastically (deformation stage I), and the roadway is steady-state.

The research findings allow concluding that the proposed scheme of the stress–strain monitoring in a roadway joined to a mine shaft is a simple and effective method of stability evaluation. The wire-type transducers placed in concrete are sufficiently reliable and durable, have a comparatively low cost and provide continuous and objective information on deformation processes in roadway support systems.

Keywords: shaft, juncture, stability, support system, rock mass, heading technology, monitoring, stresses, strains

References

1. Glebko V. V., Borshchevskiy S. V. To the question about parameters substantiation of linkings lining vertical mine shafts. *Problemy gornogo davleniya*. 2015. No. 1(26). pp. 58–68.

2. Pleshko M. S., Pankratenko A. N., Pleshko M. V., Nasonov A. A. Assessment of stress–strain behavior of shaft lining in bottomhole area during sinking by real-time monitoring and computer modeling data. *Eurasian Mining*. 2021. No. 1. pp. 25–30.
3. Kirienco Yu. A. Justification of support design for tunnel and shaft intersections in salt. *GIAБ*. 2022. No. 6. pp. 20–34.
4. Alymenko D. N., Solovov V. A., Aptukov V. N., Kotlyar E. K. Systems of support for junctions of mine shafts and roadways in salt rocks. *Journal of Mining Science*. 2018, Vol. 54, Iss. 1. pp. 40–47.
5. Kazikaev D. M., Sergeev S. V. Diagnostics and monitoring of stressed state of vertical shafts' timbering. Moscow : Gornaya kniga, 2011. 244 p.
6. Marysyuk V. P., Sabyanin G. V., Andreev A. A., Vasiliev D. A. Stress assessment in deep-level stoping in Talnakh mines. *Gornyi Zhurnal*. 2020. No. 6. pp. 17–22.
7. Pleshko M. S., Kurnakov V. A. Analysis of the normative base and scientific investigations in the field of shafts setting. the directions of their further development. *GIAБ*. 2011. No. 4. pp. 49–53.
8. Baklashov I. V., Kartoziya B. A., Shashenko A. N., Borisov V. N. Geomechanics : Textbook. Moscow : MGGU, 2004. Vol. 2. Geomechanical Processes. 249 p.
9. Xingdong Zhao, Lei Deng, Xin Zhou, Yifan Zhao, Zhenpeng Guo. A primary support design for deep shaft construction based on the mechanism of advanced sequential geopressure release. *Processes*. 2022. Vol. 10. No. 7. DOI: 10.3390/pr10071376
10. Xingdong Zhao, Yangyang Li. Estimation of support requirement for a deep shaft at the Xincheng Gold Mine, China. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*. 2021. Vol. 80. pp. 6863–6876.
11. Yuezheng Zhang, Hongguang Ji, Hanhua Xu. Study on the law of rock anelastic recovery and the characteristics of in situ stress field of 2000 m deep stratum in metal mines of coastal area. *Advances in Materials Science and Engineering*. 2022. Vol. 2022. ID 2152814.
12. Chengwei Zhao, Xiaoming Sun, Yong Zhang, Shangkun Zhang, Jiaxuan Zhang. Optimization analysis of NPR cable support considering bearing structure in the NSF condition of deep shaft based on Daqiang coal mine. *Arabian Journal of Geosciences*. 2021. Vol. 14. 1942. DOI: 10.1007/s12517-021-08274-x
13. Shengrong Xie, Zaisheng Jiang, Dongdong Chen, En Wang. Study on zonal cooperative control technology of surrounding rock of super large section soft rock chamber group connected by deep vertical shaft. *Advances in Civil Engineering*. 2022. Vol. 2022. ID 4220998.
14. Zhukov A. A. Adapting georadar survey and ultrasound computer tomography tools to geological problem solution in potash mines : Dissertation of Candidate of Engineering Sciences. Yekaterinburg, 2018. 154 p.

УДК 622.271:622.83

БАЗОВЫЕ ФАКТОРЫ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ УСТОЙЧИВОСТЬ СТАЦИОНАРНЫХ БОРТОВ УГОЛЬНЫХ РАЗРЕЗОВ

Д. П. ЗЕЛЕНИН¹, директор
К. С. ВОРОШИЛИН², ведущий специалист Проектно-экспертного центра, k.voroshilin@yandex.ru

¹АО «Черниговец», Кемерово, Россия
²НИТУ МИСИС, Москва, Россия

Введение

Крупные деформации бортов карьеров являются одними из наиболее тяжелых видов аварий при ведении открытых горных работ. Обрушения и оползневые процессы часто разрушают транспортные коммуникации и инженерные сооружения, что в целом ряде случаев делает проблематичной дальнейшую эксплуатацию месторождения или его участков (Коршуновский карьер, Волчанские разрезы, карьер Palaboga (ЮАР), разрез «Кардиа» (Греция), карьер «Бингхем-Каньон» (США), разрез «Челлолар» (Турция), карьер Xinjing Coal Industry (Китай) и др.).

Вероятность возникновения деформаций бортов карьеров пропорциональна высоте сформированных техногенных обнажений и времени их «стояния». При переходе некоторых критических значений высоты и периода «стояния» эта вероятность повышается настолько, что критерием, определяющим конечную глубину карьера, становится не граничный (предельный) коэффициент вскрыши, а безопасность ведения горных работ.

Обеспечение устойчивости бортов карьеров — одна из важнейших проблем, возникающих в процессе эксплуатации месторождений полезных ископаемых и распространяемых на длительный период после завершения горных работ.

Оценку условий и вероятности возникновения деформации бортов карьеров выполняют на базе инженерно-геологических изысканий и геомеханических расчетов.

В горной практике часто шутят, говоря, что «геология наука великая, но неточная». В полной мере это можно отнести и к горной геомеханике. В обоих случаях препятствием для получения надежных результатов являются исходные данные, используемые в расчетах.

Проблема точности геомеханических расчетов во многом определяется тем, что подобие прочностных свойств образцов горных пород и массива весьма не определено.

Обеспечить высокий уровень достоверности исходных данных для выполнения геомеханических расчетов в большинстве случаев сложнее и затратнее, чем осуществить детальную разведку месторождений полезных ископаемых. Последнее

Рассмотрены основные природные и техногенные факторы, влияющие на устойчивость и условия стабилизации бортов угольных разрезов. Отражены вопросы подготовки исходных данных для геомеханических расчетов и оценки рисков, возникающих при обосновании параметров бортов угольных разрезов. Рассмотрено влияние прочности и морфологии слабых межслоевых контактов на устойчивость бортов. Приведены комплексные технические решения и даны примеры их практической реализации для предотвращения деформаций бортов угольных разрезов.

Ключевые слова: угольный разрез, деформация бортов, оползень, угол откоса борта, трещиноватость, слоистость, горный массив, слабые контакты, контрфорс, геомеханическое обоснование, прочностные свойства, изменчивость, инженерные изыскания

DOI: 10.17580/gzh.2023.12.07

является причиной того, что результаты геомеханических расчетов, выполненных различными организациями, иногда отличаются на 50–120 %. В связи с этим геомеханические расчеты (прогнозы) целесообразно выполнять в многовариантном формате, а их результаты (для различных стадий проектирования карьера) оценивать в пределах некоторого вероятностного поля [1, 2].

Факторы, определяющие устойчивость бортов угольных разрезов

Из множества факторов, от которых зависит активность процессов гравитационного перемещения склоновых элементов бортов карьеров, первым и важнейшим является геологическая структура горных массивов.

Горные массивы месторождений полезных ископаемых осадочного типа, к которым относятся и угольные месторождения, характеризуются наличием разностных слоев различной мощности, а также системой разрывных нарушений, разделяющих данные слои на блоки и инженерно-геологические зоны различных размеров. Наиболее крупные структурные блоки с размерами по вертикали 150–2500 м формируются экзогенными (тектоническими) разрывными нарушениями, которые проявляются в виде разрывов и разломов со смещениями (сбросы, взбросы, сдвиги, надвиги) или без смещений (трещины).

Наряду с разрывными нарушениями тектонического происхождения для угольных месторождений характерны дизъюнктивные (разрывные) нарушения нетектонического генезиса, которые предопределяют блочность разностных слоев массива [3].

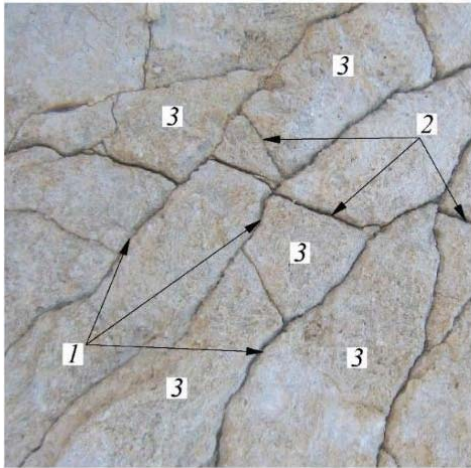


Рис. 1. Трещины, образующиеся при литификации осадочных пород:

1 – трещины основной системы; 2 – трещины вторичной системы; 3 – геологические отдельности

Нетектонические трещины возникают при литификации осадков. Они носят название эндогенных (первичных) трещин усыхания или трещин отдельности. Такие трещины располагаются перпендикулярно к слоистости и образуют несколько систем, предопределяющих в совокупности со слоистостью размеры геологических отдельностей (рис. 1). Эндогенные трещины в большинстве случаев не выходят за границы разностного слоя.

Основная часть (80–90 %) эндогенных трещин почти строго вертикальны (прямоугольные трещины).

Частота и выраженность эндогенных трещин закономерно связаны с мощностью разностных слоев [4]. В породах одного геологического возраста частота трещин резко увеличивается с уменьшением мощности слоя (рис. 2).

По данным Н. Я. Репина [4], среднее расстояние между секущими трещинами $l_{с.р}$ (см) в массивах угольных месторождений связано с мощностью разностных слоев M (см) следующей зависимостью: $l_{с.р} = 1,62M^{0,84}$.

Для малых интервалов мощности (0,05–0,1 м) частота эндогенных трещин составляет до 12 ед. на один метр протяженности разностного слоя. При увеличении мощности разностных слоев частота эндогенных трещин сокращается, что предопределяет увеличение их блочности. Как правило, мощные разностные слои имеют лучшие показатели морозостойкости [5].

В связи с вышеизложенным в процессе формирования склоновых поверхностей природного рельефа разностные слои большой мощности менее подвержены выветриванию. Именно поэтому природные склоновые поверхности горных массивов, сложенные мощными разностными слоями, обладают более крутыми (70–90°) углами наклона откосов (рис. 3).

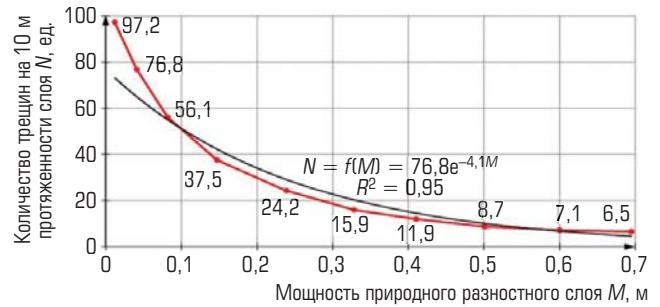


Рис. 2. Изменение количества эндогенных трещин на 1 м протяженности разностного слоя в зависимости от мощности последнего (известняки Подольского геологического горизонта) [5]:

1, 2 – фактическая и теоретическая кривые соответственно

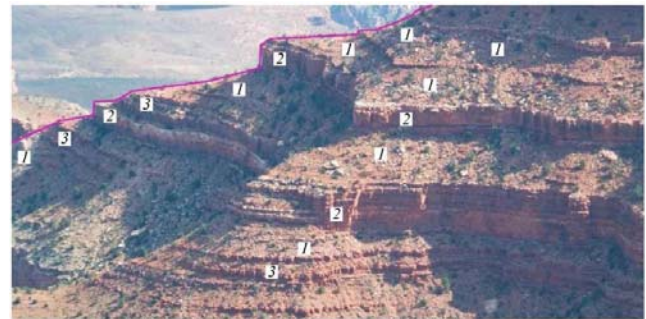


Рис. 3. Изменение углов наклона локальных элементов (экспозиций) склоновой поверхности природного рельефа в зависимости от мощности разностных слоев, слагающих горный массив (Grand Canyon, Аризона, США):

1 – зоны с минимальными углами наклона (10–15°), расположенные в пределах маломощных неморозостойких разностных слоев; 2 – то же, в пределах крупноблочных слоев, имеющих высокие показатели морозостойкости (70–90°); 3 – зоны, сложенные породами средней блочности, имеющими хорошую сопротивляемость процессам выветривания (55–70°)

Вышеотмеченный факт дифференциации углов наклона локальных высотных зон горных массивов осадочного типа, сложенных разностными слоями различной мощности и блочности, до сих пор слабо учитывают при проектировании склоновых поверхностей карьерных выработок.

Природный рельеф, подобный показанному на рис. 3, формируется в течение длительных (геологических) отрезков времени. В данном случае сама природа определяет, какими углами наклона должны обладать локальные зоны массива для создания стабильной (равновесной) поверхности. Склоновые поверхности природного рельефа, сложенные разностными слоями малой мощности, имеют минимальные углы наклона, что обусловлено интенсивным разрушением



Рис. 4. Геологическая структура горного массива Кедровско-Крохалевского угольного месторождения, характеризующая зоны расположения слабых контактов:
 1 – основные разностные слои массива; 2 – слабые контакты, которые могут быть представлены углистыми аргиллитами, углями, углистыми сланцами, глинистым алевролитом (мощность данных слоев обычно укладывается в интервал от 0,01 до 0,1 м)

слагающих их горных пород под действием процессов выветривания. Именно эти разностные слои, сложенные обычно неморозостойкими трещиноватыми и часто глинистыми породами, а также их пространственная ориентация являются в большинстве случаев первопричинами, определяющими устойчивость склоновых поверхностей природного и техногенного рельефа. Такие слои называют слабыми (или активными [6]) контактами (рис. 4).

В практике отработки горных массивов угольных и карбонатных месторождений нередки случаи, когда нижняя часть технологических уступов вместо разрушения смещается по плоскости таких контактов (рис. 5).

Для горных массивов угольных месторождений такие слои в полной мере можно назвать также слабыми межслоевыми контактами, так как «генетически» они приурочены к переходным процессам в осадконакоплении.

Кроме вышеописанных факторов, важное значение при прогнозировании деформационных процессов имеет расположение слабых контактов относительно разрабатываемой карьерной выработки.

Лучшие условия устойчивости обеспечиваются при падении контактов в массив, худшие – при падении контактов в карьерную выработку. Для угольных месторождений в качестве важного морфологического фактора необходимо учитывать наличие локальных синклиналий структур, падающих в выработку в пределах формируемого стационарного борта разреза. Данные структуры, часто входящие в контуры синклинориев, целесообразно выделять в отдельные инженерно-геологические зоны горного массива. При наличии таких структур форма



Рис. 5. Смещение нижней части технологического уступа (1) в пределах заряжаемой части скважины по кровле слабого межслоевого контакта и верхняя часть уступа (2) в пределах незаряжаемой части скважины, сохранившая свою структуру



Рис. 6. Бугристая поверхность межслоевого контакта с уровнем сцепления геологических отдельных с кровлей контакта $\sim 0,7$ кг/см²

и вероятные контуры зон смещения борта в значительной степени определяются морфологией слабых контактов, обрамляющих локальные синклиналий зоны. Вероятность смещения элементов техногенных откосов в зонах данных структур является наиболее высокой, так как крылья ослабляющей синклиналий складки непосредственно выходят на поверхность стационарного борта карьера. При этом необходимо принимать во внимание влияние складки как нарушения, обуславливающего дополнительную степень трещиноватости.

Прочность межслоевых контактов определяется их шероховатостью и характеристикой пород заполнителя (рис. 6). В работе К. В. Руппенея [7] приведены данные замеров шероховатости слабых контактов (рис. 7), визуальнo отражающих условия сопротивления сдвиговым нагрузкам.

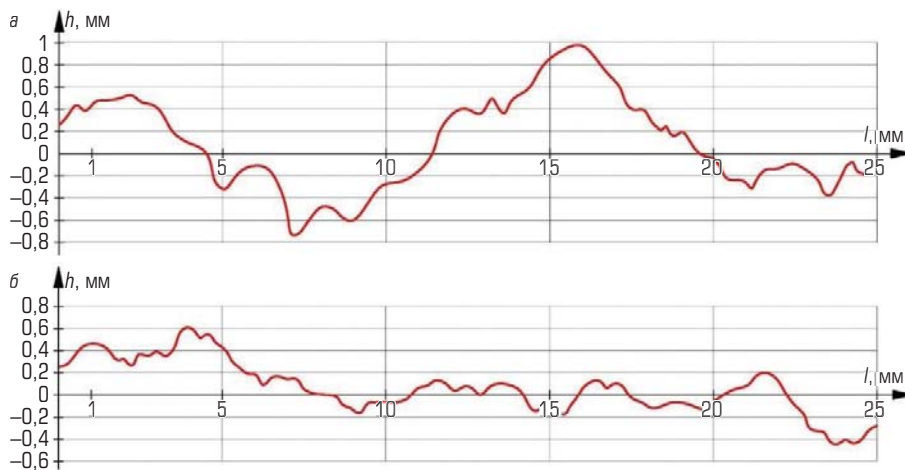


Рис. 7. Профили шероховатости слабых контактов (изломов) слоистых горных пород:
 а – сернистый ангидрит (Гаурдакское месторождение);
 б — лампрофировая порода из Ингичкинского рудника, по данным К. В. Руппенейта [7]

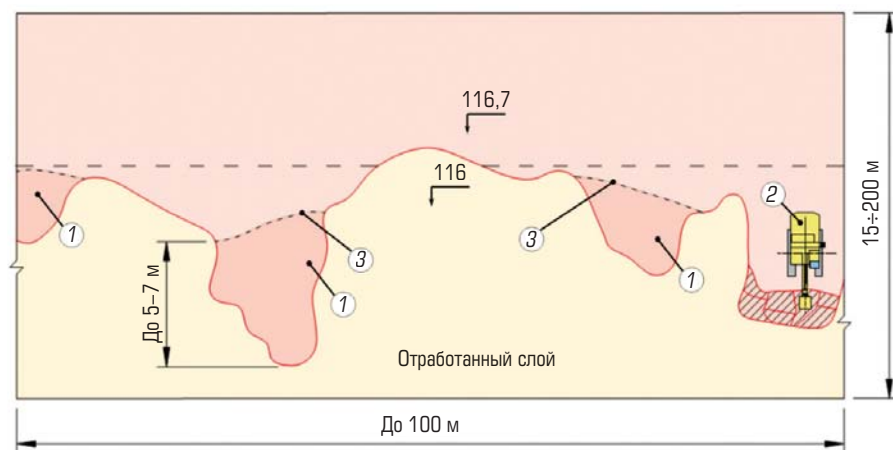


Рис. 8. Схема безвзрывной экскаваторной разработки разностного слоя известняка гидравлическим экскаватором:
 1 – участки недобора (временные целики), обусловленные повышенной прочностью межслоевых контактов;
 2 – гидравлический экскаватор типа «обратная лопата», обеспечивающий разборку карбонатного массива;
 3 – контур разностного слоя, планируемый к экскаваторной выемке

При выполнении геомеханических оценок сдвиговой прочности осадочного массива обычно считается, что прочность межслоевого контакта в пределах одного разностного слоя является величиной постоянной. Однако это не так. Практика безвзрывной экскаваторной разработки слоистых осадочных массивов свидетельствует, что прочность межслоевых контактов значительно изменяется в пределах локальных зон (рис. 8). Данное обстоятельство в ходе послойной экскаваторной разработки приводит к оставлению временных целиков [5].

Наибольшая плотность распространения слабых межслоевых контактов обычно приурочена к зонам максимальной угленасыщенности горного массива. При отработке угольных месторождений участки стационарных бортов отстраивают по почве нижнего промышленного пласта (или ложной почве данного пласта), при этом уголь обычно не взрывают с целью сохранения его качественных характеристик. При такой схеме формирования стационарный борт представляет собой плоскостное техногенное обнажение, имеющее низкие показатели сдвиговой прочности.

Приповерхностные разностные слои горных пород данного обнажения, попадая в условия иной природной среды (по сравнению с горным массивом), начинают интенсивно изменять свои прочностные и химико-минералогические характеристики. Важнейшим природным процессом, влияющим на интенсивность и глубину данных изменений, является физическое (температурное) выветривание, которое интенсивно протекает в климатических зонах, характеризующихся резкими контрастами температур, а также на крутых склонах рельефа теплых экспозиций.

Интенсивность температурного выветривания зависит от состава породы, ее строения (текстуры и структуры), а также от окраски и трещиноватости. Большое значение при температурном выветривании имеет амплитуда изменения температуры. Испытания физических свойств горных пород угольных месторождений на морозостойкость редко проводят в ходе инженерных изысканий. Вместе с тем данные таких испытаний, проведенных в лабораториях НИТУ «МИСиС» для Кедровско-Крохалевского и Колыванского угольных месторождений, позволяют сделать следующие выводы:

- снижение прочности на одноосное сжатие после трех-пяти циклов поперечного замораживания и оттаивания углистых аргиллитов, углистых алевролитов и слабых песчаников составляет от 48,3 до 77,7 % (при водонасыщении этот показатель снижается на 25–30 %);

- на большинстве испытуемых образцов после двух-трех циклов попеременного замораживания и оттаивания (по ГОСТ 30629–2011) появляются несколько (до 2–4) морозобойных трещин;

- после десяти-двенадцати циклов попеременного замораживания и оттаивания 70–80 % углистых аргиллитов и углистых алевролитов полностью разрушаются.

Большинство углей и вмещающих пород угольных месторождений имеют явно выраженную анизотропию прочностных свойств в направлениях, параллельных и перпендикулярных линиям слоистости (см. **таблицу**).

При подготовке исходных данных для выполнения геомеханических расчетов наиболее сложным является определение прочности слабых межслоевых контактов. Существует ряд обстоятельств, которые, как правило, не учитывают при проведении инженерных изысканий.

Наиболее важным здесь является то, что при бурении разведочных и инженерно-геологических скважин теряется от 10 до 15 % кернов, и это те керны, которые в основной своей массе приурочены к зонам слабых межслоевых контактов.

Повысить точность определения сдвиговой прочности слабых контактов можно, используя методы обратных расчетов (по произошедшим деформациям) или посредством отбора и испытания специальных образцов, включающих структурные неоднородности (контакты) [8–13]. Использование метода обратных расчетов для обоснования параметров стационарных бортов рудных карьеров со сложной морфологией залежей в широких масштабах обычно не рекомендуется [14]. Вместе с тем для угольных месторождений его использование возможно применительно к обширным инженерно-геологическим зонам горных массивов.

Для параметров обрушения, произошедшего на участке № 3 разреза «Черниговец» (**рис. 9**) метод обратных расчетов дает показатель сдвиговой прочности по слабым контактам почвенной (подпочвенной) зоны нижнего промышленного пласта («Подволковский II») на уровне 1,4–1,6 кгс/см². Именно этот показатель целесообразно закладывать в расчеты при определении устойчивости стационарного борта в пределах ближайших инженерно-геологических зон.

Всего в пределах горного массива, обрабатываемого разрезом «Черниговец», рекомендуется выделить 14 инженерно-геологических зон (доменов), отличающихся условиями обеспечения устойчивости бортов разреза [16]. Базовыми факторами, позволяющими выделить данные зоны, являются структурные особенности залегания вмещающих пород и угольных пластов, а также изменения условий устойчивости бортов, связанные с произошедшими деформациями.

Изменение прочностных свойств образцов углистых сланцев, аргиллитов и углей в направлениях, параллельных и перпендикулярных линиям слоистости

Образец	Предел прочности на растяжение, МПа		Предел прочности на сжатие, МПа	
	$\sigma_{p }$	$\sigma_{p\perp}$	$\sigma_{сж }$	$\sigma_{сж\perp}$
Глинистый сланец (аргиллит)	1,10±0,12	1,51±0,20	4,52±0,50	11,60±0,70
Глинистый сланец (серый аргиллит)	1,43±0,18	2,21±0,18	6,32±0,63	12,00±0,70
Глинистый сланец (серый аргиллит)	0,83±0,08	1,31±0,19	4,05±0,38	12,21±1,17
Углистый сланец	0,89±0,04	6,02±0,43	8,70±1,30	12,90±0,92
Углистый сланец	0,81±0,17	4,42±0,43	7,94±0,54	10,70±1,78
Уголь	0,78±0,04	2,81±0,53	3,12±0,92	19,50±4,38
Уголь	1,01±0,43	4,09±0,43	6,25±1,44	13,43±1,43
Уголь	1,45±0,20	2,54±0,17	3,72±1,07	19,10±1,76

Примечание. || – параллельно слоистости, ⊥ – перпендикулярно слоистости.



Рис. 9. Разностные слои песчаника углистых аргиллитов и слабых контактов, вынесенные в нижнюю зону обрушения горного массива на участке № 3 разреза «Черниговец» [15]

Косвенно о степени и границах нарушенности горного массива можно судить по выходу сортовых углей в пределах зон с различной степенью насыщенности тектоническими нарушениями (**рис. 10**). Для зон с высокой плотностью разрывных нарушений этот уровень составляет 2–5 %. Для ненарушенных зон он возрастает кратно и достигает уровня 10–12 %.

Условные обозначения

- 12÷13 Зоны с низкой степенью нарушенности (выход сортовых углей от 10÷13 %)
- 2÷5 Зоны с высокой степенью нарушенности (выход сортовых углей от 2÷5 %)

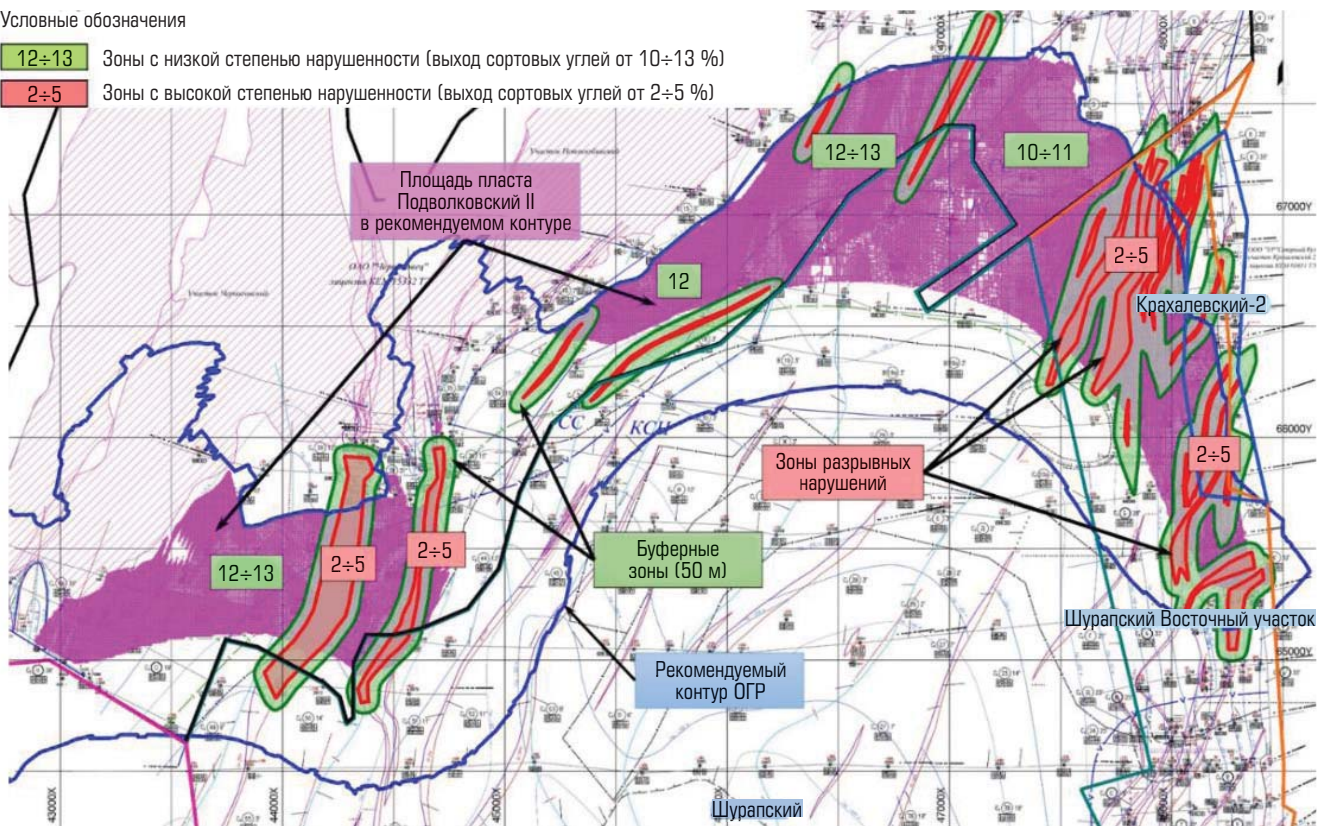


Рис. 10. Контур локализации тектонических нарушений в пределах нижнего промышленного пласта «Подволковский II» с указанием выхода сортовых углей

Одним из базовых решений, обеспечивающих повышение устойчивости стационарных бортов разрезов, является их формирование в более стабильных породах, залегающих ниже ложной почвы последнего промышленного пласта. Данные породы должны иметь значительную мощность и хорошие показатели устойчивости к процессам физического выветривания (см. рис. 2, 3). Применительно к горно-геологическим условиям инженерно-геологических зон № 8 и 9 северо-западной части массива Кедровско-Крахалевского месторождения такими породами являются массивные песчаники, расположенные на 9,5–12 м ниже почвы нижнего промышленного пласта «Подволковский II».

При отработке угольных месторождений высокий уровень стабилизации нарушенных и проблемных участков стационарного борта может быть обеспечен посредством использования распорных контрфорсов. Важным этапом отсыпки контрфорса является момент, когда его торцевая зона АВ касается участка стационарного борта, который необходимо стабилизировать (рис. 11). В данный период георадары фиксируют значительное снижение подвижек оползневого склона. Далее размеры контактной зоны между контрфорсом и оползневым склоном расширяют до момента, когда фиксируются «нулевые» (допустимые) подвижки (см. рис. 11). После стабилизации



Рис. 11. Отсыпка распорного контрфорса для стабилизации оползня в районе инженерно-геологической зоны № 13

оползневых процессов появляется техническая возможность отрабатывать запасы угля на участках, примыкающих к флангам распорного контрфорса.

На большинстве угольных разрезов России распорные контрфорсы совмещают в себе функции инженерных сооружений для стабилизации деформационных процессов и вскрывающих карьерных выработок. Их дополнительное использование

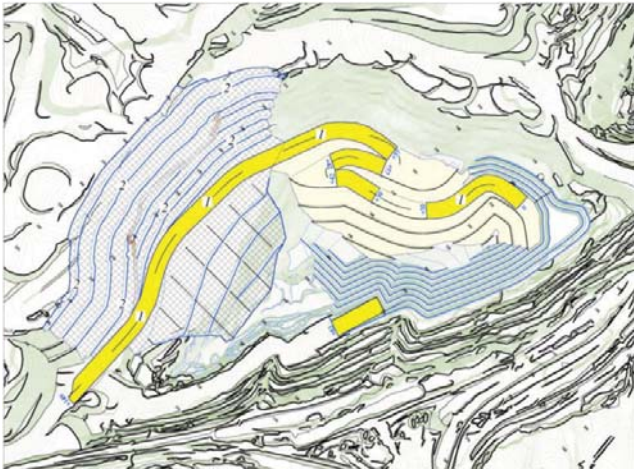


Рис. 12. Выполяживание стационарного борта разреза «Черниговец» посредством расположения на нем широкой транспортной бермы (1), оборудуемой под технологическую автодорогу, и оставления горизонтальных берм безопасности уменьшенной ширины (2)

в качестве объектов для прокладки вскрывающих трасс обеспечивает сокращение расстояний транспортирования вскрывших пород в отвалы, что полностью или частично оправдывает затраты на их отсыпку и последующее использование.

Важнейшей особенностью отработки крупных угольных месторождений является неопределенность в установлении конечных границ ведения горных работ, что связано с перманентным увеличением цен на уголь. Данная неопределенность предполагает периодический пересмотр контуров отработки карьерных полей. Число таких пересмотров может составлять от 2 до 5, а их цикличность укладывается в интервал от 5 до 10 лет.

В целом ряде случаев при изменении контуров разработки возникает необходимость реконструкции (выполяживания) стационарного борта для обеспечения его устойчивости. Такое выполяживание стандартно выполняют посредством разноса борта с оставлением берм безопасности. Однако наиболее эффективным является выполяживание борта путем оставления одной или двух широких наклонных берм, оборудуемых под технологические автодороги (рис. 12).

Повысить устойчивость стационарных бортов угольных разрезов возможно также посредством пригрузки склоновых поверхностей и зон деформации ярусами внутренних отвалов. Для разреза «Черниговец» такие пригрузки планируется выполнять на горных участках № 3 и 1 (рис. 13).

Заключение

1. При создании структурно-геологических моделей крупных угольных месторождений в пределах обрабатываемого

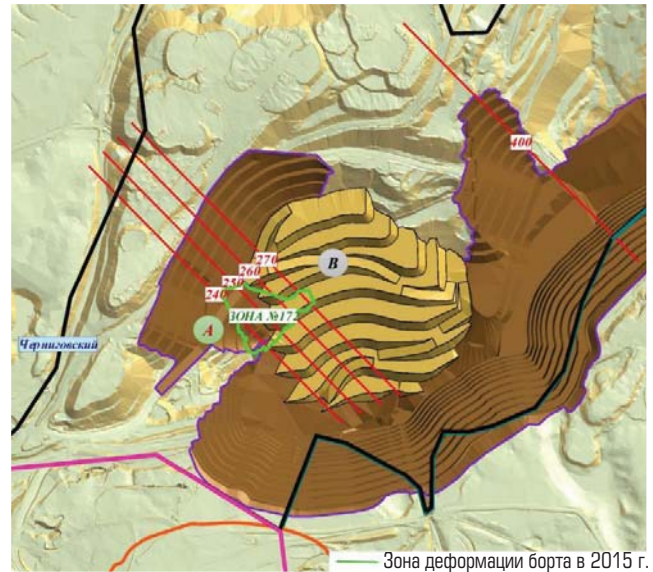


Рис. 13. Расположение опасной зоны № 172 (зона аварии в 2015 г.) в зоне пригрузки стационарного борта на участке № 3 внутренним отвалом

горного массива может быть выделено до 15–25 инженерно-геологических зон, обладающих различной степенью устойчивости склоновых техногенных поверхностей.

2. Первопричинами, определяющими устойчивость склоновых техногенных поверхностей горных массивов угольных месторождений, являются слабые межслоевые контакты, представленные маломощными слоями неморозостойких пород, кратно снижающих свои прочностные свойства при увлажнении и морозном выветривании.

3. Прочность слабых межслоевых контактов не является величиной стабильной. Она изменяется в диапазоне $\pm 30\%$ в пределах локальных зон протяженностью от 50 до 150 м.


4. Геомеханические расчеты, даже при высоком уровне достоверности исходных данных, целесообразно выполнять в многовариантном формате, а их результаты (для различных стадий проектирования разрезов) оценивать в пределах некоторого вероятностного поля.

5. Для горных массивов угольных месторождений с близкой геологической структурой при расчете устойчивости их склоновых поверхностей целесообразно использование показателей сдвиговой прочности, полученных методом обратных расчетов (по произошедшим деформациям).

6. Стабилизировать и управлять деформационными процессами, происходящими в пределах склоновых поверхностей (бортов) угольных разрезов, возможно посредством распорных контрфорсов и пригрузки потенциальных и реальных зон деформации ярусами внутренних отвалов.

Значительный опыт реализации данных технических решений накоплен на разрезе «Черниговец».

Библиографический список

1. Супрун В. И., Артемьев В. Б., Опанасенко П. И. и др. Порядок отработки карьерных полей. – М. : Горное дело, ООО «Киммерийский центр», 2015. – 320 с.
2. The astonishing Çöllolar Coalfield landslide in Turkey. URL: <https://blogs.agu.org/landslideblog/2011/03/09/the-astonishing-collolar-coalfield-landslide-in-turkey/> (дата обращения: 10.03.20).
3. Рац М. В., Чернышов С. Н. Трещиноватость и свойства трещиноватых пород. – М. : Недра, 1970. – 290 с.
4. Репин Н. Я., Репин Л. Н. Процессы открытых горных работ. – М. : Горная книга, 2015. – 518 с.
5. Стромогонов А. В. Обоснование безвзрывной технологии добычи блоков известняка на карбонатных месторождениях Русской платформы : дис. ... канд. техн. наук. – М., 2017. – 136 с.
6. Трубецкой К. Н., Потапов М. Г., Виницкий К. Е. и др. Справочник открытых горных работ. – М. : Горное бюро, 1994.
7. Руппенейт К. В. Деформируемость массивов трещиноватых горных пород. – М. : Недра, 1975. – 223 с.
8. Лушников В. Н., Селиванов Д. А., Бережной В. П. Надежность прогнозирования геотехнических рисков при ведении открытых горных работ // Горный журнал. 2023. № 1. С. 4–13.
9. Несмеянов Б. В., Несмеянова Ю. Б. Прочность пород по естественным поверхностям ослабления. – М. : Изд-во МИСиС, 2014.
10. Rylnikova M. V., Perepelitsyn A. I., Zoteev O. V., Nikiforova I. L. Features and Prospects of the Implementation of the Draft Federal Norms and Rules in the Field of Industrial Safety «Rules for Ensuring the Stability of Sides and Ledges of Quarries, Open Pits and Dumps» // Mining Industry Journal (Gornaya Promishlennost). 2020. No. 1. P. 132–139.
11. Rylnikova M. V., Zoteev O. V., Nikiforova I. L. Development of the Regulatory Framework to Provide the Stability of Pitwalls and Benches of Quarries, Opencast Mines and Spoil Dumps // Mining Industry Journal (Gornaya Promishlennost). 2018. Vol. 139. No. 3. P. 95–98.
12. Mukhametkaliev B. S., Kalyuzhny E. S., Syedina S. A., Abdibekov N. K. Geomechanical Assessment of Slope Stability in Deeper-level Open Pit Mining // Gornyi Zhurnal. 2018. No. 4. P. 27–32.
13. Mukhametkaliev B. S., Kalyuzhny E. S., Syedina S. A., Abdibekov N. K. Geomechanical Assessment of Slope Stability in Deeper-level Open Pit Mining // Gornyi Zhurnal. 2018. No. 4. P. 27–32.
14. Супрун В. И., Радченко С. А., Левченко Я. В., Ворошилин К. С., Дерябин Ю. С., Липатников С. Г., Каранов Д. Н., Матвеев А. В. Основные причины возникновения деформаций бортов угольных карьеров и способы их стабилизации // Рациональное освоение недр. 2020. № 3. С.
15. Иоффе А. М. Оценка состояния устойчивости аварийного участка нерабочего борта разреза АО «Черниговец» в пределах профильных линий 230–270 до и после обрушения для определения причин возникновения деформации. – М. : АО «ВНИПИПромтехнологии», 2015. – 77 с.
16. Супрун В. И., Ворошилин К. С., Радченко С. А. Геомеханические расчеты и технологические обоснования параметров стационарного борта для возобновления горных работ в районе опасной зоны № 1. – Кемерово, 2021. 

«GORNYI ZHURNAL», 2023, № 12, pp. 41–48
DOI: 10.17580/gzh.2023.12.07

Basic governing factors of slope stability in open pit coal mines

Information about authors

D. P. Zelenin¹, Director

K. S. Voroshilin², Leading Specialist of Design and Expertise Center, k.voroshilin@yandex.ru

¹Chernigovets JSC, Kemerovo, Russia

²National University of Science and Technology “MISIS”, Moscow, Russia

Abstract

Large pit wall deformations are the toughest accidents in open pit mining. In this respect, pit wall stability is the most critical task during actual mineral production and for a long period after open pit mine closure. The article describes the main natural and manmade factors which affect stability and ensure stabilization of pit wall in surface coal mines. The authors also address the issues of the source data preparation for geomechanical calculations and risk assessment for validation of pit wall designs in surface coal mines. The influence of strength and morphology of weak layer interfaces on pit wall stability is studied. The integrated engineering designs of pit wall are described, and the case-studies of their implementation to prevent pit wall deformation in surface coal mines are presented.

Keywords: surface coal mine, pit wall deformation, landslide, pit wall slope angle, jointing, schistosity, rock mass, weak interfaces, counterforce, geomechanical validation, strength properties, variability, engineering survey

References

1. Suprun V. I., Artemev V. B., Opanasenko P. I., Radchenko S. A., Levchenko Ya. B. Sequence of mining of open pit mine fields. Moscow : Gornoe delo, Kimmeriyskiy Tsentr, 2015. Vol. 4. Open pit mining. Book 4. 320 p.
2. Petley D. The astonishing Çöllolar Coalfield landslide in Turkey. 2011. Available at: <https://blogs.agu.org/landslideblog/2011/03/09/the-astonishing-collolar-coalfield-landslide-in-turkey/> (accessed: 10.03.2023).
3. Rats M. V., Chernyshev S. N. Jointing and properties of jointed rocks. Moscow : Nedra, 1970. 159 p.
4. Repin N. Ya., Repin L. N. Processes in open pit mining. Moscow : Gornaya kniga. 118 p.
5. Stromogonov A. V. Justification of blasting-free technology of limestone block cutting in carbonate deposits on the Russian Platform : Dissertation of Candidate of Engineering Sciences. Moscow, 2017. 136 p.
6. Trubetskoy K. N., Potapov M. G., Vinitskiy K. E., Melnikov N. N., Aleshin B. G. et al. Open-cast mining : Reference book. Moscow : Gornoe byuro, 1994. 590 p.
7. Ruppeneyt K. V. Deformability of jointed rock masses. Moscow : Nedra, 1975. 223 p.
8. Lushnikov V. N., Selivanov D. A., Berezhnoy V. P. Reliable prediction of geotechnical risks in open pit mining. *Gornyi Zhurnal*. 2023. No. 1. pp. 4–13.
9. Nesmeyanov B. V., Nesmeyanov Yu. B. Rock strength on natural weakening surfaces. Moscow : MISIS, 2014. 107 p.
10. Rylnikova M. V., Perepelitsyn A. I., Zoteev O. V., Nikiforova I. L. Features and prospects of the implementation of the draft Federal norms and rules in the field of industrial safety: Rules for ensuring the stability of sides and ledges of quarries, open pits and dumps. *Gornaya promyshlennost*. 2020. No. 1. pp. 132–139.
11. Rylnikova M. V., Zoteev O. V., Nikiforova I. L. Development of the regulatory framework to provide the stability of pitwalls and benches of quarries, opencast mines and spoil dumps. *Gornaya promyshlennost*. 2018. No. 3. C. 95–98.
12. Mukhametkaliev B. S., Kalyuzhny E. S., Syedina S. A., Abdibekov N. K. Geomechanical assessment of slope stability in deeper-level open pit mining. *Gornyi Zhurnal*. 2018. No. 4. pp. 27–32.
14. Deryabin Yu. S., Lipatnikov S. G., Karanov D. N., Matveev A. V., Suprun V. I. et al. Main causes of deformations of the sides of coal opencast and methods to stabilize them. *Ratsionalnoe osvoenie neдр*. 2020. No. 3. pp. 58–69.
15. Ioffe A. M. Stability assessment on accident site of spoil bank in Chernigovets open pit mine within the limits of profile lines 230–270 before and after failure to find the deformation causes. Moscow : VNIPIpromtehnologii, 2015. 77 p.
16. Suprun V. I., Voroshilin K. S., Radchenko S. A. Geomechanical calculation and engineering validation of pit wall design to resume mining operations in hazardous zone no. 1, stage 4 (4.1–4.4) SIGD. Kemerovo, 2021.

УДК 622.83

КОМПЛЕКСНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ОБРУШЕНИЯ ПОДРАБОТАННОЙ ТОЛЩИ ПОРОД ЖДАНОВСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ*

И. Э. СЕМЕНОВА, зав. отделом геомеханики, канд. техн. наук
И. Ю. РОЗАНОВ, научный сотрудник отдела геомеханики
М. С. КУЛЬКОВА, научный сотрудник отдела геомеханики,
 m.kulkova@ksc.ru

Горный институт КНЦ РАН, Апатиты, Россия

Введение

Исследование параметров обрушения покрывающих пород — одно из важных направлений геомеханического мониторинга. На Ждановском месторождении для отработки большей части подземных запасов медно-никелевых руд применяют систему подэтажного принудительного обрушения. В связи с этим оценка, прогноз и управление процессами частичного и полного обрушения покрывающих пород, безусловно, является актуальной задачей [1–5].

Для оценки углов сдвижения, трещин отрыва и шага обрушения подработанных пород необходимы регулярный сбор и анализ данных о геометрии выхода обрушения на земную поверхность, в том числе в карьерное пространство. Эта информация востребована при планировании горных работ, проведении геомеханического обоснования выемки запасов. Геодезическую съемку с формированием пространственной триангуляционной модели проводили методом наземного лазерного сканирования, который позволяет создать цифровую модель объекта исследования, представив его набором от сотен тысяч до нескольких миллионов точек, имеющих пространственные координаты. После съемки и обработки данных пространственная цифровая модель поверхности была интегрирована в численную конечно-элементную геомеханическую модель месторождения. Корректировка геометрии и характеристик численной модели позволила уточнить параметры обрушения консоли пород, зависших над отработанным пространством.

Съемка карьерного пространства в зоне влияния подземных горных работ. Выявление зон потери устойчивости

Лазерное сканирование — это метод, позволяющий создавать цифровые модели объекта исследования, сущность которого заключается в измерении с высокой скоростью расстояний от сканера до точек объекта и регистрации

Проведены комплексные исследования процессов обрушения подработанной толщи пород Ждановского месторождения, включающие натурные и численные методы. На основе данных лазерного сканирования и интерпретации результатов численного геомеханического моделирования определен вероятный угол формирования обрушения подработанной толщи пород для условий Ждановского месторождения медно-никелевых руд.

Ключевые слова: Ждановское месторождение, лазерное сканирование, напряженно-деформированное состояние, геомеханическая модель, численное моделирование, параметры обрушения, система разработки с подэтажным обрушением, безопасность горных работ

DOI: 10.17580/gzh.2023.12.08

соответствующих направлений (вертикальных и горизонтальных углов) [6–10]. Принцип тотальной съемки объекта, а не его отдельных точек, характеризует наземное лазерное сканирование (НЛС) как съемочную систему. Результатом ее работы является трехмерное изображение, которое можно преобразовать в пространственную цифровую модель.

Выемку запасов Центрального рудного тела (ЦРТ) осуществляют под карьером, работы в котором завершены. Здесь были выполнены две серии наблюдений: первая (исходная) серия была реализована 21 июня 2022 г., вторая — 18 октября 2022 г. Для съемки бровки обрушения карьер был отсканирован с семи точек стояния, причем ввиду достаточно сложной формы карьера пять точек были расположены на южном борту и две — на северном.

Перед проведением измерений на трех пунктах государственной геодезической сети, расположенных в районе карьера, в качестве базовых станций были установлены GPS-приемники. Время работы базовых станций составило около 48 ч. Съемку лазерным сканером выполняли с частотой 50 кГц и угловым разрешением 0,09°. После каждой съемки для определения координат точек стояния на сканер устанавливали GPS-приемник (рис. 1). На каждой точке приемник работал в режиме быстрой статики в течение 10–15 мин.

После выполнения полевых измерений следовал процесс обработки данных НЛС, вычисления координат точек стояния и пересчет их в систему координат рудника. Необработанные данные представляли собой «облако» точек, имеющих трехмерные координаты и дополнительные характеристики, такие как цвет и интенсивность отраженного сигнала. Обработку

*Работа выполнена при поддержке гранта Российского научного фонда № 22-17-00248, <http://rsf.ru/project/22-17-00248>.

Авторы выражают благодарность руководству и сотрудникам АО «Кольская ГМК» за содействие в проведении исследований.

© Семенова И. Э., Розанов И. Ю., Кулькова М. С., 2023

данных НЛС проводили в программном комплексе Riscan Pro. После загрузки информации в программный комплекс определяли качество полученных данных с удалением некачественных измерений, шумов и т. п. Затем данные со всех точек стояния сканера были объединены и сформирована точечная модель объекта, привязанная к рудничной системе координат (рис. 2).

После прореживания избыточных и ошибочных точек и была отстроена триангуляционная модель рельефа (рис. 3). После построения триангуляционных моделей по двум этапам замеров их сравнивали, и был рассчитан объем обрушения подработанной толщи пород.

При сравнении поверхностей зафиксированы сегменты обрушений. Осыпание горной массы произошло на участке площадью более 12 тыс. м², при этом высота участка борта составляла около 185 м, а ширина 60 м. Обрушение могло происходить как постепенно в течение 4 мес, так и одновременно после формирования трещины отрыва в консольном зависании над подземным очистным пространством. Зона обрушения показана на рис. 4, участки обрушения выделены красным цветом.

Корректировка конечно-элементной модели с учетом данных лазерного сканирования и прогноз параметров обрушения подработанной толщи пород

По результатам съемки кромки обрушения карьера «Центральный» в зоне подработки запасов ЦРТ была скорректирована и уточнена численная геомеханическая модель массива пород Ждановского месторождения [11, 12] в программном комплексе Sigma GT, учитывающая гравитационно-тектонический тип и параметры напряженно-деформированного состояния, физико-механические свойства основных породных разностей и геометрию очистных пространств.

На первом этапе в графической модели карьера «Центральный» был выделен контур (рис. 5, а, б), отражающий актуальное положение бровки обрушения южного борта в зоне подземной подработки запасов рудного тела. На рис. 5 бровка обрушения выделена красным цветом.

На следующем этапе линия бровки обрушения была перенесена в координаты модели и загружена в рабочую область программного обеспечения (ПО) Sigma GT для дальнейшей корректировки положения борта карьера. В модели также было актуализировано положение очистного пространства в соответствии с фактическим состоянием подземных горных работ.

Для верной интерпретации результатов моделирования необходимо определить критерии разрушения изучаемого массива горных пород, т. е. те граничные значения напряжений, при которых с высокой вероятностью произойдет потенциальное обрушение подработанной толщи на исследуемом участке месторождения. Величины действующих напряжений сравнивали со значениями основных физико-механических характеристик образцов главных литологических разностей, слагающих Ждановское месторождение (см. таблицу) [13–15].



Рис. 1. Лазерный сканер Riegl VZ 4000 с GPS-приемником PRinCE i80

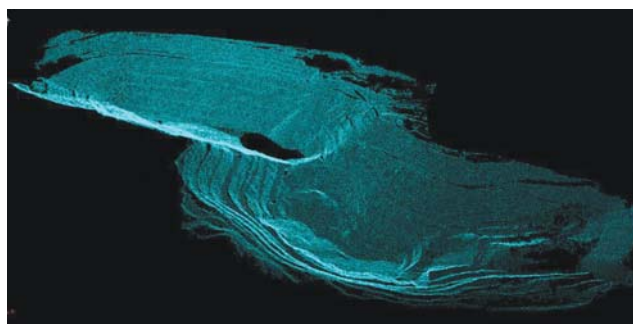


Рис. 2. Точечная модель карьера «Центральный»

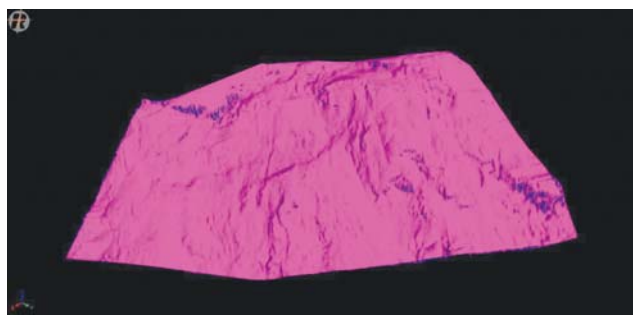


Рис. 3. Триангуляционная модель в зоне развития обрушения подработанной толщи пород

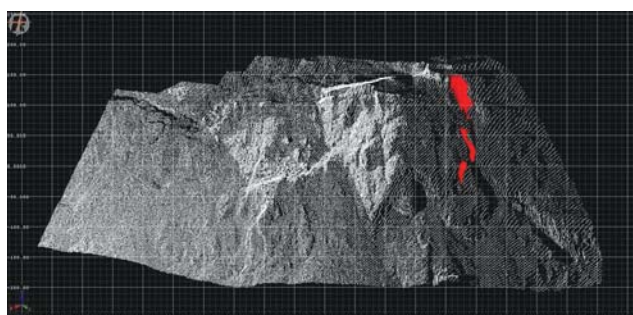


Рис. 4. Зона обрушения по результатам двухэтапного лазерного сканирования

Принимая во внимание сильную трещиноватость пород массива Ждановского месторождения, для учета нарушенности использовали методику определения ослабления прочности массива согласно СП 91.13330.2012. Значения коэффициента, учитывающего зависимость усредненной по периметру выработки нарушенности горного массива от среднего расстояния между поверхностями ослабления пород, приведены ниже.

Среднее расстояние между поверхностями	Значение коэффициента k_c ослабления пород, м
Свыше 1,5	0,9
От 1 до 1,5	0,8
От 0,5 до 1	0,6
От 0,1 до 0,5	0,4
Менее 0,1	0,2

Поскольку при картировании подземных горных выработок в предыдущих исследованиях определено, что в среднем расстояние между поверхностями ослабления составляет 0,1–0,5 м, на основании этих данных внесен поправочный коэффициент $k_c = 0,4$. В основном массив консоли обрушения в районе ЦРТ представлен чередованием габбро с прожилками туфогенно-осадочных пород. Соответственно, для данного случая критерием реализации разрушения при действии растягивающих напряжений является усредненное значение $\sigma_p \approx -5$ МПа.

Промоделированы два варианта конфигурации консоли налегающих пород в соответствии с возможными параметрами зависаний: в первом случае рассмотрено развитие обрушения с глубины 150 м от дна очистного пространства (рис. 6, а), во втором случае – 30 м соответственно (см. рис. 6, б).

В результате моделирования были получены и проанализированы значения компонент главных напряжений для каждого из двух случаев. Для рассматриваемых условий при зависании консоли пород в ходе ведения подземных очистных работ и потенциальном развитии в ней трещин отрыва с выходом их на поверхность наиболее приоритетным является анализ формирования растягивающих напряжений σ_{min} .

На горизонтальном сечении, соответствующем земной поверхности, в обоих случаях наблюдается практически идентичная картина распределения растягивающих напряжений, при этом их величины недостаточны для разрушения массива (рис. 7).

Оценивали также потенциальную возможность развития обрушения в консоли налегающих пород со стороны висячего бока в вертикальных сечениях. Для двух рассчитанных схем рассмотрены сечения в крест простирания рудных тел и проанализировано распределение минимальной компоненты главных напряжений. В качестве наиболее наглядных представлены сечения по разрезам 7, 20 и 34 ЦРТ.

Для варианта, учитывающего развитие обрушения с глубины 150 м от дна очистного пространства (рис. 8, а),

Средние значения физико-механических свойств образцов горных пород Ждановского месторождения

Проба	Порода	Прочность при сжатии, МПа	Прочность при растяжении, МПа
1	Диабаз	120	12
2	Габбро	100	13
3	Рудный перидотит	140	12
4	Туфогенно-осадочная порода	95	11

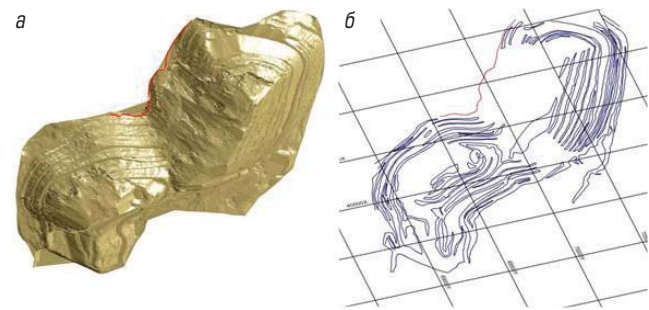


Рис. 5. Графическая модель карьера «Центральный», построенная по результатам съемки с использованием метода наземного лазерного сканирования:

а – объемный вид; б — проекция на плоскость

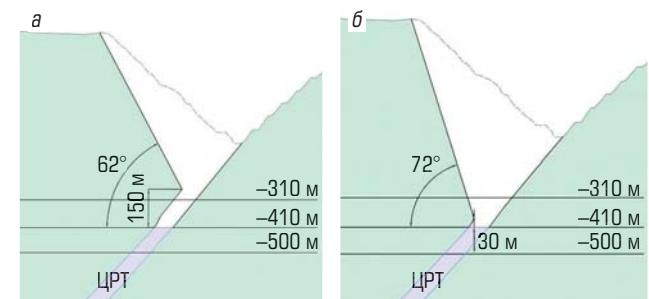


Рис. 6. Конфигурация консоли налегающих пород:

а, б — при развитии обрушения с глубины 150 и 30 м от дна очистного пространства соответственно

определено, что области со значениями растягивающих напряжений, при которых возможно разрушение массива (выделены красным), сконцентрированы в зависшей части консоли и не выходят на земную поверхность.

При рассмотрении варианта, учитывающего развитие обрушения с глубины 30 м от дна очистного пространства (см. рис. 8, б), видно, что зоны предельных значений растягивающих напряжений практически не выделяются.

С учетом того, что для варианта, рассматривающего отсутствие зависания пород над выработанным пространством, не наблюдается областей потенциального разрушения массива,

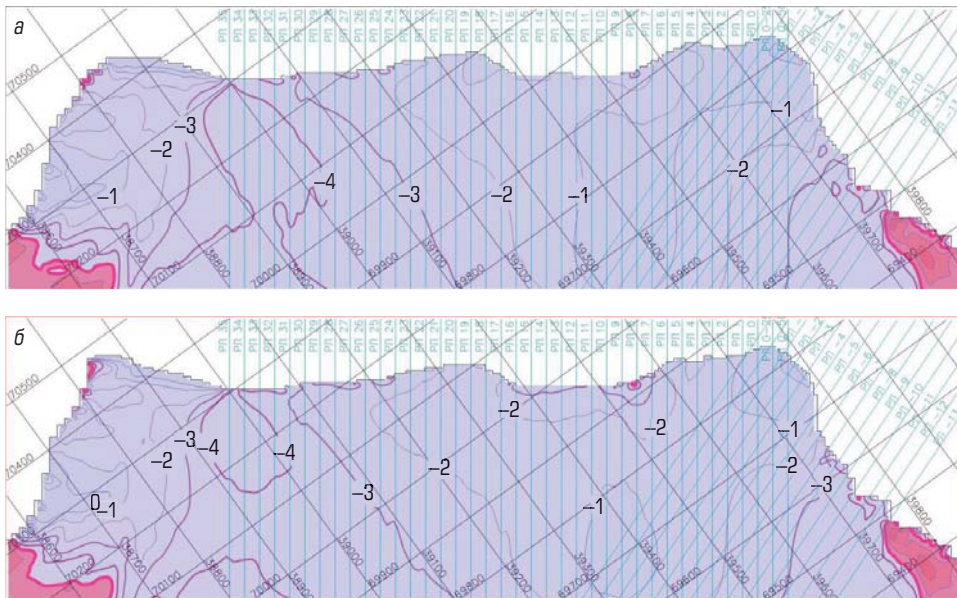


Рис. 7. Распределение σ_{\min} в горизонтальном сечении вблизи земной поверхности:
 а, б — при развитии обрушения с глубины 150 и 30 м от дна очистного пространства соответственно

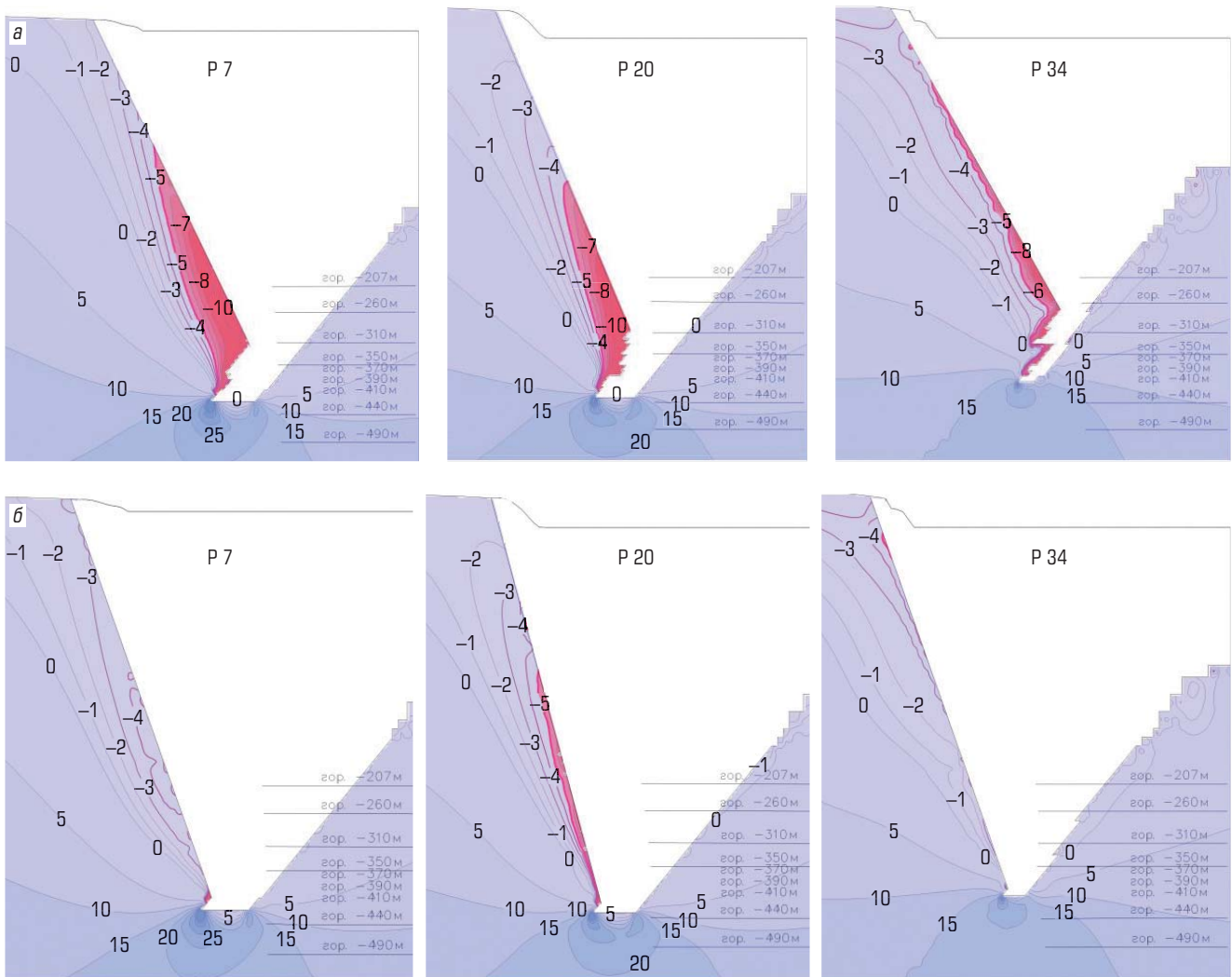


Рис. 8. Распределение σ_{\min} для варианта с развитием обрушения с глубины 150 м (а) и с глубины 30 м (б) от дна очистного пространства

можно предположить, что данный вариант является наиболее приближенным к фактической конфигурации обрушения южного борта карьера «Центральный», и угол, образованный от границы 30 м выше дна очистного пространства до бровки обрушения на земной поверхности, является углом обрушения и составляет $\sim 72^\circ$.

Необходимо отметить, что для более точной и комплексной оценки с учетом закономерностей разрушения массива по площадкам отрыва, необходима информация об ориентации основных систем трещин, характеристиках и свойствах естественных нарушений подработанного массива.

Заключение

По полученным данным двух серий геодезических наблюдений методом наземного лазерного сканирования в карьере «Центральный» Ждановского месторождения построены триангуляционные модели фактического техногенного рельефа. Выявлен участок обрушения южного борта карьера. Общий

объем разрушения массива горных пород за 4 мес составил 12181 м³.

По результатам корректировки численной геомеханической модели с учетом данных, полученных при лазерном сканировании, определено, что вероятность прорастания трещин отрыва и постепенного разрушения консоли зависших пород наиболее высока в зонах растягивающих напряжений с абсолютными величинами более -5 МПа. При этом промоделированные вариации угла формирования обрушения дают основание полагать, что угол устойчивого консольного зависания составляет 72° .

Необходимо отметить, что для определения параметров развития процесса обрушения (шага, угла) подрабатываемого южного участка борта карьера, а также предельных параметров деформирования массива требуется выполнение регулярных натурных измерений, а также дальнейшее изучение характеристик и ориентации естественных нарушений в массиве пород Ждановского месторождения.

Библиографический список

1. Волченко Г. Н., Серяков В. М., Фрянов В. Н. Геомеханическое обоснование ресурсосберегающих вариантов разработки рудных месторождений системной этажной принудительного обрушения // ФТПРПИ. 2012. № 4. С. 144–154.
2. Герман В. И. Прогноз обрушений на рудниках по данным сейсмического мониторинга // ФТПРПИ. 2014. № 2. С. 99–109.
3. Савич И. Н., Волков В. Н., Атанов В. В., Удалов А. Е., Павлов А. А. Оптимизация конструктивных и технологических решений при подземной разработке медно-никелевых руд Ждановского месторождения // Горный журнал. 2011. № 11. С. 33–35.
4. Токарев О. В., Кузнецов М. В., Удалов А. Е. Технологии подземной выемки запасов медно-никелевых руд Ждановского месторождения в период перехода с открытого способа разработки на подземный // Горный журнал. 2015. № 6. С. 60–63.
5. Semenova I. E., Avetisyan I. M., Zhuravleva O. G., Belogorodtsev O. V. Undermined rock failure in apatite mines in Khibiny: topical problems // Journal of Mining Science. 2022. Vol. 58. No. 6. P. 1010–1015. DOI: 10.15372/FTPRP120220614
6. Гусев В. Н., Науменко А. И., Волохов Е. М., Голованов В. А. Основы наземной лазерно-сканирующей съемки : учеб. пособие. – 2-е изд., испр. – СПб. : СПГУ, 2011. – 80 с.
7. Середович В. А., Комиссаров А. В., Комиссаров Д. В., Широкова Т. А. Наземное лазерное сканирование : монография. – Новосибирск : СГТА, 2009. – 261 с.
8. Kuczyńska G., Stawska M. Modern applications of terrestrial laser scanning // GIAB. 2021. No. 1. P. 160–169.
9. Kremena S., Shaytura S. V. Using the terrestrial laser scanning technology for detection of cracks in rock massifs // Slavic Forum. 2021. No. 1(31). P. 241–247.
10. Szarkowski D., Moska M. Assessment of deformations in mining areas using the riegI VZ-400 terrestrial laser scanner // E3S Web of Conferences. 2018. Vol. 36. No. 02009. DOI: 10.1051/e3sconf/20183602009
11. Semenova I. E., Kulkova M. S. The creation of a numerical geomechanical model for the Zhdanovskoe ore deposit // Eurock 2020 : Proceedings of the ISRM International Symposium. Trondheim, 2020.
12. Semenova I. E., Kulkova M. S. The stress distribution around the mining excavations under different tectonic loads // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2021. Vol. 838. DOI: 10.1088/1755-1315/833/1/012127
13. Земцовский А. В., Кузнецов Н. Н., Пак А. К. Исследование физических свойств и характера разрушения горных пород Ждановского месторождения (АО «Кольская ГМК») в условиях одноосного и трехосного сжатия // Фундаментальные и прикладные вопросы горных наук. 2019. Т. 6. № 1. С. 117–122.
14. Козырев А. А., Кузнецов Н. Н., Шоков А. Н. Оценка удароопасности скальных горных пород Ждановского месторождения (Кольский полуостров) // Горная промышленность. 2022. № 6. С. 75–82.
15. Zemtsovsky A. V., Kuznetsov N. N., Pak A. K. Physical properties and fracture behavior of rocks in uniaxial and triaxial compression: A case-study of Zhdanovskoe deposit, Kola Mining and Metallurgical Company // IOP Conference Series: Earth and Environmental Sciences. 2021. Vol. 773. DOI: 10.1088/1755-1315/773/1/012058

«GORNYI ZHURNAL», 2023, № 12, pp. 49–54
DOI: 10.17580/gzh.2023.12.08

Integrated research of undermined rock mass failure parameters in Zhdanovskoe ore field

Information about authors

I. E. Semenova¹, Head of Geomechanics Department, Candidate of Engineering Sciences

I. Yu. Rozanov¹, Researcher at Geomechanics Department

M. S. Kulkova¹, Researcher at Geomechanics Department, m.kulkova@ksc.ru

¹ Mining Institute, Kola Science Center, Russian Academy of Sciences, Apatity, Russia

Abstract

The key points in underground mining with caving of ore and enclosing rock mass are the assessment, prediction and control of deformation processes in overlying strata. One of

the ore deposits, which is developed using the mentioned mining system, is Zhdanovskoe copper–nickel ore field. The ore field occurs in the Murmansk Region and is a part of mineral resources and mineral supplies of Norilsk Nickel.

The integrated research of undermined rock mass failure in Zhdanovskoe ore field, including full-scale study and numerical methods, began in 2022. The full-scale technique was the ground-based laser scanning method. It enables creation of a numerical model of a research subject by representing it as a set of hundreds of thousands to a few millions of points with spatial coordinates. This model is a basis for determining caving steps, angles of displacement, potential planes of fracture and volumes of undermined rock mass failure. The resultant model of manmade terrain was introduced into a software program to amend the numerical geomechanical model of the test ore field. This study Sigma GT software package which enables the 3D FEM-based stress–strain analysis of rock mass. Using the data of ground-based laser scanning and the numerical geomechanical modeling

interpretations, the probable angle of failure of undermined rock strata was determined for the conditions of Zhdanovskoe copper–nickel ore field.

The study has been supported by the Russian Science Foundation (Grant No. 22-17-00248), <http://rsf.ru/project/22-17-00248>.

The authors express a sincere gratitude to the governing body and employees of JSC Kola MMC for the assistance in conducting research.

Keywords: Zhdanovskoe ore field, laser scanning, stress–strain behavior, geomechanical model, numerical modeling, failure parameters, sublevel caving system, mining safety

References

1. Volchenko G. N., Seryakov V. M., Fryanov V. N. Geomechanical Substantiation of the Resource-Saving Alternatives of the Induced Block Caving Method. *Journal of Mining Science*. 2012. Vol. 48, Iss. 4. pp. 709–716.
2. German V. I. Rock Failure Prediction in Mines by Seismic Monitoring Data. *Journal of Mining Science*. 2014. Vol. 50, Iss. 2. pp. 288–297.
3. Savich I. N., Volkov V. N., Atanov V. V., Udalov A. E., Pavlov A. A. Optimization of design and technological solutions for underground mining of copper-nickel ore deposits Zhdanovsky. *Gornyi Zhurnal*. 2011. No. 11. pp. 33–35.
4. Tokarev O. V., Kuzenkov M. V., Udalov A. E. Underground mining technology for the transition from open-pit to underground operation at the Zhdanov copper–nickel ore deposit. *Gornyi Zhurnal*. 2015. No. 6. pp. 60–63.
5. Semenova I. E., Avetisyan I. M., Zhuravleva O. G., Belogorodtsev O. V. Undermined Rock Failure in Apatite Mines in Khibiny: Topical Problems. *Journal of Mining Science*. 2022. Vol. 58, Iss. 6. pp. 1010–1015.
6. Gusev V. N., Naumenko A. I., Volokhov E. M., Golovanov V. A. Elementaries of ground laser scanning : Tutorial. 2nd revised edition. Saint-Petersburg : SPbGGU, 2011. 80 p.
7. Seredovich V. A., Komissarov A. V., Komissarov D. V., Shirokova T. A. Ground laser scanning. Novosibirsk : SGGA, 2009. 261 p.
8. Kuczyńska G., Stawska M. Modern applications of terrestrial laser scanning. *GIAB*. 2021. No. 1. pp. 160–169.
9. Kremena S., Shaytura S. V. Using the terrestrial laser scanning technology for detection of cracks in rock massifs. *Slavic Forum : Materials of the 5th International Scientific and Practical Conference*. Burgas, 2021.
10. Szwardowski D., Moska M. Assessment of deformations in mining areas using the riegler VZ-400 terrestrial laser scanner. *Proceedings of the 4th Nationwide Scientific Conference on Engineering-Infrastructure-Mining*. 2018. E3S Web of Conferences. 2018. Vol. 36, No. 02009. DOI: 10.1051/e3sconf/20183602009
11. Semenova I. E., Kulkova M. S. Creation of a numerical geomechanical model for the zhdanovskoe ore deposit. *Eurock 2020 : Proceedings of the ISRM International Symposium*. Trondheim, 2020.
12. Semenova I. E., Kulkova M. S. The stress distribution around the mining excavations under different tectonic loads. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2021. Vol. 838. DOI: 10.1088/1755-1315/833/1/012127
13. Zemtsovsky A. V., Kuznetsov N. N., Pak A. K. Study of physical properties and rock failure character of Zhdanovsky deposit (JSC Kola MMC) in conditions of uniaxial and triaxial compression. *Fundamentalny i prikladnyye voprosy gornykh nauk*. 2019. Vol. 6, No. 1. pp. 117–122.
14. Kozyrev A. A., Kuznetsov N. N., Shokov A. N. Rockburst hazard assessment of hard rocks in the Zhdanovskoe deposit (Kola Peninsula). *Gornaya promyshlennost*. 2022. No. 6. pp. 75–82.
15. Zemtsovsky A. V., Kuznetsov N. N., Pak A. K. Physical properties and fracture behavior of rocks in uniaxial and triaxial compression: A case-study of Zhdanovskoe deposit, Kola Mining and Metallurgical Company. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2021. Vol. 773. DOI: 10.1088/1755-1315/773/1/012058

БУТКЕВИЧУ ГЕОРГИЮ РОМАНОВИЧУ – 90 ЛЕТ



Исполнилось 90 лет Георгию Романовичу Буткевичу — известному специалисту в области нерудных строительных материалов, почетному члену Академии горных наук, почетному строителю России, действительному члену Российского научно-технического общества строителей, кандидату технических наук.

Продолжив семейную традицию, поступил в Московский горный институт. После его окончания в 1957 г. Георгий Романович работал на карьерах мастером, сменным инженером, начальником участка. В 1960 г. перешел на работу в институт ВНИПИСтромсырье, где прошел путь от младшего научного сотрудника до заведующего отделом. В 1965 г. Г. Р. Буткевич защитил кандидатскую диссертацию. Результаты исследований нашли воплощение в горных технологиях с применением конвейерного транспорта и отдельных видов горного оборудования при разработке месторождений твердых полезных ископаемых.

При непосредственном участии и под руководством Г. Р. Буткевича выполнены исследования, способствующие повышению эффективности разработки месторождений нерудных полезных ископаемых. Г. Р. Буткевич — автор более 270 научных трудов, 20 изобретений и патентов.

Георгий Романович активно участвует в инженерно-общественной деятельности. В 2004 г. он выступил одним из инициаторов создания Ассоциации производителей и потребителей природных строительных материалов «Недра» и, являясь членом правления ассоциации, возглавил работу по направлению «Наука». В течение многих лет Г. Р. Буткевич являлся руководителем секции нерудных строительных материалов Российского научно-технического общества строителей. Участвовал в организации 14 всесоюзных совещаний, а также большого числа международных конференций, семинаров, конкурсов, круглых столов, проводимых секцией. По его инициативе в 2004 г. была создана некоммерческая ассоциация «Недра», работавшая в тесном контакте с РНТО строителей. С 1964 г. Георгий Романович Буткевич тесно сотрудничает с «Горным журналом», являясь автором статей и рецензентом. За этот период им опубликовано в журнале 35 статей. Ну, а нерудные материалы были и остаются в центре его внимания и в настоящее время.

От всей души поздравляем Георгия Романовича с юбилеем и желаем ему доброго здоровья, счастья и благополучия.

Редакционная коллегия и редакция «Горного журнала»

УДК 338.24:622.33

СИСТЕМА МЕР ГОСУДАРСТВЕННОГО УПРАВЛЕНИЯ УГОЛЬНОЙ ОТРАСЛЮ С УЧЕТОМ САНКЦИОННЫХ ОГРАНИЧЕНИЙ И ДЕКАРБОНИЗАЦИИ

Ю. А. ПЛАКИТКИН, руководитель Центра анализа и инноваций в энергетике, проф., д-р экон. наук

Л. С. ПЛАКИТКИНА, руководитель Центра исследования угольной промышленности мира и России, канд. техн. наук, luplak@rambler.ru

К. И. ДЬЯЧЕНКО, старший научный сотрудник Центра исследования угольной промышленности мира и России, канд. техн. наук

Институт энергетических исследований РАН, Москва, Россия

Введение

Результаты анализа санкционного давления и эмбарго на экспортные поставки угля указывают на весьма сильное их дестабилизирующее воздействие на угольную отрасль в перспективном периоде [1].

Проведенные авторами финансово-экономические расчеты показали, что в угольной отрасли имеется так называемая подушка безопасности, но она не так уж велика. Тем не менее она может обеспечить сравнительно устойчивую работу отрасли на период до 2025–2026 гг. За пределами этого периода могут возникать серьезные проблемы деградации отрасли из-за санкционных ограничений и декарбонизации мировой экономики.

В связи с этим уже в настоящее время для снижения отрицательного влияния нарастающего санкционного давления и эмбарго на поставки угля необходимо последовательно и планомерно реализовывать меры эффективного воздействия на угольную отрасль в сфере фискального, финансового, экономического, организационного, социального и других направлений государственной политики по обеспечению стабильной работы предприятий отрасли, сохранению спроса на внутреннем рынке и предотвращению снижения экспортного потенциала. Кроме того, дополнительно следует учитывать специфику сложившейся неординарной ситуации, требующей перехода российской экономики на модель опережающего ее развития. Последнее означает, что в экономике ускоренными темпами должны формироваться новые высокоэффективные сектора общественного производства, нацеленные не столько на импортозамещение, сколько на импортоопережение ранее непроектируемой в России продукции [2].

Между тем проведенные авторами расчеты показали, что существуют фундаментальные причины возможного системного падения объемов добычи российского угля даже в период до

Обоснована необходимость разработки системы мер государственной поддержки угольной отрасли с учетом санкционных ограничений и декарбонизации. Для реализации поставленной цели систематизированы и проанализированы как тактические, так и стратегические меры государственной поддержки угольной отрасли. Среди тактических мер предложены: поиск новых и расширение действующих рынков сбыта угля; снятие административных барьеров; обеспечение инвестиций в угольную отрасль; поиск альтернативных поставщиков оборудования и запчастей; обеспечение налоговой поддержки; расширение транспортных возможностей доставки угля; расширение возможностей угольного экспорта. Стратегические меры позволяют угольным компаниям осуществлять плановую диверсификацию производства в направлении реализации модели опережающего развития.

Ключевые слова: санкции, эмбарго, угольная отрасль, санкционные ограничения, меры поддержки, декарбонизация, тактические и стратегические меры

DOI: 10.17580/gzh.2023.12.09

2030 г. В этот период возможное сокращение объемов добычи угля может осуществляться темпами до 4 % в год. За пределами этого периода темпы снижения могут быть более значительными. Данные особенности диктуют необходимость все в большей мере вхождения угольного бизнеса в сектора экономики неугольной компетенции, в которых может быть использован как имеющийся производственно-технический потенциал отрасли, так и высвобождающийся персонал ее предприятий.

Разработанные программные документы по управлению и поддержке угольной отрасли, такие как Энергетическая стратегия Российской Федерации на период до 2035 г. [3] и «Программа развития угольной промышленности России на период до 2035 года» [4] частично утратили свою актуальность в связи с отказом от российского угля европейских и некоторых других стран.

Кроме этого, угольная отрасль должна целенаправленно осуществлять планомерную диверсификацию в направлении формирования секторов экономики, осуществляющих переход к модели ее опережающего развития, или в направлении развития производства и предоставления услуг, поддерживающих эти сектора. Такое движение отрасли в сторону диверсификации производства может осуществляться методами стратегического управления, апробированными в 1990-х годах при реализации государственной программы реструктуризации угольной промышленности.

Учитывая приведенные выше факторы, а также высокую социальную значимость угольной отрасли, предлагаемая авторами система мер государственной поддержки угольной отрасли должна включать в себя:

- тактические антикризисные меры, обеспечивающие устойчивость работы угледобывающих предприятий в краткосрочном и среднесрочном периодах;
- стратегические меры по социально-экономической реструктуризации угольной промышленности, позволяющие осуществлять планомерный переход отрасли в сектора экономики опережающего развития.

Методы исследования

Разработка системы мер поддержки угольной отрасли осуществлена с использованием методов системного анализа, с учетом особенностей развития угольной отрасли в перспективном периоде [1]. Выполнен анализ механизмов стратегического планирования работы отраслей экономики, в том числе индикативного планирования и т. д. [5–8]. Целенаправленную масштабную диверсификацию отрасли предлагается осуществлять методами целевого индикативного планирования с возможным использованием так называемой системы возвратных планов крупных системообразующих угольных компаний. Проанализированы основные мероприятия поддержки угольной отрасли в разработанных ранее государственных программных документах, таких как «Энергетическая стратегия Российской Федерации на период до 2035 г.» и «Программа развития угольной промышленности России на период до 2035 г.» [3, 4]. Разработанная система мер включает в себя комплекс тактических и стратегических мер, систематизированных по основным направлениям государственной поддержки.

В качестве источников информации о работе угольной отрасли использованы отчетные данные угольных компаний по добыче угля, ценовым и финансово-экономическим показателям, пресс-релизы угольных компаний, а также отечественные и зарубежные литературные и интернет-источники [9–11].

Результаты исследования

Предлагаемые в настоящем исследовании антикризисные меры государственной поддержки российской угольной промышленности включают в себя как тактические меры господдержки, так и стратегические.

Набор представленных мер, предназначенных к реализации, определяется последовательностью выполнения плана тактических действий, учитывающих конкретные ситуационные особенности кризисного и посткризисного периодов.

Система тактических мер государственной поддержки угольной отрасли

Тактические меры государственной поддержки угольной отрасли систематизированы по нижеприведенным семи направлениям.

Поиск новых и расширение действующих рынков сбыта угля. В угольной промышленности России существует возможность для наращивания объемов добычи угля. Наряду с продолжением развития традиционных центров угледобычи (Печорский, Кузнецкий, Канско-Ачинский, Горловский и Минусинский угольные бассейны) в настоящее время ведется активное освоение новых месторождений в Восточной Сибири и на Дальнем Востоке. Среди них – Улуг-Хемский угольный бассейн в Республике Тыва, Эльгинское угольное месторождение в Южно-Якутском угольном бассейне в Республике Саха (Якутия), Фандюшкинское поле Амаамского месторождения Беринговского угольного бассейна в Чукотском автономном округе, а также Сырадасайское угольное месторождение Таймырского Долгано-Ненецкого муниципального района Красноярского края в Арктической зоне Российской Федерации и др. [12].

Основной задачей по поддержке российской угольной отрасли и развитию действующих и новых месторождений является поддержание долгосрочного спроса на уголь. В связи с вводом эмбарго на импорт российского угля в страны ЕС и Великобританию, куда поставляли около 50 млн т угля в год, российские производители угля частично нашли им замену. В настоящее время эти поставки угля в основном были перенаправлены на Восток, в большей степени в Китай и Индию, хотя и со значительными ценовыми скидками. Поставки угля в КНР и Индию только в июле 2022 г. по отношению к июню 2021 г. выросли на 42 и 60 % соответственно. По итогам 2022 г. Россия увеличила поставки угля в Китай на 11,2 % (до 59,5 млн т), а в Индию – почти в 2,5 раза (до 16,7 млн т) [13].

Спрос на коксующийся уголь в Индии достаточно высокий и продолжает расти [10]. В планах руководства страны до 2030 г. нарастить производство стали до 300 млн т в год. Такие объемы требуют увеличения поставок импортного концентрата угля и диверсификации поставщиков угля для сокращения зависимости от Австралии.

Существует потенциал роста экспорта энергетических углей в страны Азиатско-Тихоокеанского региона (АТР). Так, глобальная установленная мощность строящихся угольных станций в мире по состоянию на июль 2022 г., согласно Global Energy Monitor, составила 178 гигаватт (ГВт), из них свыше 80 % приходилось на страны АТР, в том числе, ГВт: Китай (93,8), Индию (31,3), Вьетнам (7,4), Бангладеш (6,7), Пакистан (2,6) и Филиппины (1,4) [13].

Кроме того, для российского угля нашлись новые покупатели в Турции и странах Африки. Так, трест «Арктикуголь» уже договорился о поставках арктического угля в Турцию, при этом в целом импорт угля из России в Турцию только в мае 2022 г. вырос по сравнению с аналогичным периодом 2021 г. на 11 % (до 1,03 млн т), а в июне – на 5 % (до 1,73 млн т).

Мировой рынок угля столкнулся с резкой переориентацией экспортных поставок, что, в свою очередь, привело к росту транспортных затрат и вызвало соответствующее повышение цен на уголь, которые стали достигать 400 долл. США и более.

Ключевым источником замещения импорта российского угля в Европе и странах АТР являются поставки из Индонезии – крупнейшего в мире экспортера энергетического угля. На долю этой страны в 2021 г. пришлось 41 % глобального экспорта угля против 18 % у России [10].

Так, Япония только в период с марта по июнь 2022 г. увеличила импорт угля из Индонезии на 20 % (на 1,2 млн т), Южная Корея – на 34 % (на 2 млн т). При этом как Япония, так и Южная Корея решили отказаться от поставок российского угля. Их доля в российском экспорте бурого и энергетического угля, по данным Федеральной таможенной службы (ФТС) Российской Федерации, в 2021 г. составила 19 %, или 36,3 млн т из 191,4 млн т экспортных поставок. При этом доля Евросоюза и Великобритании составляла 26 %, т. е. 47,2 млн т из 191,4 млн т.

К числу альтернативных углексортнеров относятся также ЮАР и США, которые входят в шестерку крупнейших поставщиков энергетического угля. При этом Тайвань только в период с марта по июнь 2022 г. увеличил импорт угля из ЮАР в 3 раза, или на 492 тыс. т. В свою очередь, Южная Корея нарастила импорт энергетического угля из США в 1,8 раза, или на 1,5 млн т.

Переориентация европейских стран на поставки угля из Индонезии, ЮАР и США, помимо роста цен на уголь, привела к тому, что развивающимся странам, таким как Пакистан, Бангладеш, Индия и другим государствам Юго-Восточной Азии, стало сложнее находить необходимые объемы по доступным ценам.

Россия же предоставила очень хорошую скидку на поставки своего угля – до 50 %. Однако, учитывая рост цен на уголь на мировом энергетическом рынке, цены на российский уголь все же в первом полугодии 2022 г. достигли 200 долл. США, что выше уровня 2021 г. (150 долл. США за 1 т). Поэтому в 2022 г. это принесло дополнительную прибыль отечественным углепроизводителям. Умеренная цена на уголь – это важный фактор экспорта российского угля.

Еще одно неоспоримое преимущество поставляемого российского угля – это его высокое качество: низкая зольность и высокая калорийность. Например, в угле из Восточной Азии может быть много породы, а Польша, которая раньше других в Европе отказалась от российского угля, столкнулась с тем, что импортный уголь (да и польский тоже) очень часто засорен разными частями технологического оборудования (болты и другие детали технологических конструкций), что стало приводить к частым остановкам угольных электростанций. В зимний период такие остановки обуславливают серьезные риски возникновения аварийных ситуаций в электро- и теплоснабжении потребителей.

Ввиду своевременной переориентации направления экспорта, высокому качеству угля и предоставляемым дисконтам на поставки угля российский экспорт этого вида топлива в 2022 г. сократился всего на 7,6 %, но за счет роста

внутреннего потребления угля его добыча выросла на 0,3 % к показателю предыдущего года.

Чтобы в дальнейшем стимулировать и улучшить экономические взаимоотношения РФ со странами АТР, а также повысить меры организационно-экономического воздействия, со стороны органов государственного управления представляется целесообразным обратиться к ФТС с законодательной инициативой о неприменении действующей системы штрафов в случае неумышленного характера ошибок, допущенных в ходе декларирования товаров, при условии отсутствия или наличия незначительного ущерба, принесенного государству.

Для развития внутреннего рынка угля следует рассмотреть возможность принятия мер стимулирования угольной генерации в негазифицированных регионах РФ, развитию которой будет способствовать избыток угля в стране и вовлечение в региональные топливно-энергетические балансы местных ресурсов угля, учитывая, что отраслевыми проблемами и факторами риска в угольной отрасли, согласно Энергетической стратегии Российской Федерации на период до 2035 г., является снижение внутреннего спроса.

Снятие административных барьеров. В целях стимулирования развития угольной отрасли Правительство РФ приняло Постановление № 353 от 12 марта 2022 г. «Об особенностях разрешительной деятельности в Российской Федерации в 2022 году». В рамках этого постановления было решено продлить на 12 мес. действие срочных лицензий и иных разрешений, сроки действия которых истекли или истекали в период с 14 марта по 31 декабря 2022 г. В перечень таких лицензий и иных разрешений включены, в частности, разрешения на выброс загрязняющих веществ в атмосферный воздух, а также лимиты на выбросы загрязняющих веществ. Разрешения на сброс загрязняющих веществ в окружающую среду, лимиты на сбросы загрязняющих веществ, полученные юридическими лицами и индивидуальными предпринимателями, осуществляющими хозяйственную и (или) иную деятельность на объектах, оказывающих негативное воздействие на окружающую среду и относящихся в соответствии с ФЗ от 10.01.2002 г. № 7-ФЗ «Об охране окружающей среды», к объектам I категории. Договоры водопользования и решения о предоставлении водных объектов в пользование. Действие таких разрешений должно носить исключительный характер и действовать только в период опасности неуправляемого свертывания производства угля в регионах.

Дополнительно к этому предусмотрено освобождение от уплаты госпошлины за выдачу и продление лицензий, внесение изменений в реестр лицензий по заявлениям, поданным с 14 марта по 31 декабря 2022 г., по видам лицензируемой деятельности, указанным в ч. 1 ст. 12 Федерального закона от 4 мая 2011 г. № 99-ФЗ «О лицензировании отдельных видов деятельности».

Кроме того, принято Постановление Правительства России от 02.04.2022 № 574 «Об утверждении Правил

предоставления субсидий из Федерального бюджета кредитным организациям на возмещение недополученных ими доходов по кредитам, выданным системообразующим организациям топливно-энергетического комплекса и организациям, входящим в группу лиц системообразующей организации топливно-энергетического комплекса» (мера направлена на запуск механизмов адресных мер поддержки системообразующих организаций, оказавшихся в сложной экономической ситуации).

В настоящее время действуют избыточные требования по регулированию обращения со вскрышными горными породами, образующимися при добыче общераспространенных видов полезных ископаемых (в частности, угля). Несмотря на то, что вскрыша (природный грунт) не представляет опасности для экосистемы, являясь ее частью и обладая потенциально ценными потребительскими свойствами, законодательство об отходах распространяет на нее режим, установленный для отходов производства и потребления. Это приводит к использованию нормативов образования отходов и лимитов на их размещение: объекты (места) размещения вскрыши определяются как объекты размещения отходов. За складирование или внутрикарьерное использование данных природных грунтов с недропользователей взимают плату за негативное воздействие на окружающую среду.

В качестве решения целесообразно принятие проекта ФЗ № 664487-7 «О внесении изменений в Закон Российской Федерации «О недрах» и отдельные законодательные акты Российской Федерации в целях стимулирования использования отходов недропользования», принятого Государственной Думой в первом чтении еще 28 мая 2019 г. и направленного на исключение отнесения вскрышной породы к отходам.

Обеспечение инвестиций в угольную отрасль. Повышение спроса на российский уголь со стороны стран АТР позволит угольному бизнесу наращивать инвестиции в развитие предприятий. Для стимулирования инвестиционных вложений, в том числе и в угольную отрасль, Постановлением Правительства РФ от 6 марта 2022 г. № 296 возобновлено действие адресных мер поддержки для системообразующих организаций, действовавших в 2020 г. в комплексе принятых антикризисных мероприятий [14].

В перечень мер господдержки, доступных для системообразующих компаний, прошедших отбор на право ее получения, включены государственные гарантии, необходимые для реструктуризации кредитов или получения новых, а также субсидии для возмещения затрат на производство и реализацию товаров, выполнение работ и оказание услуг, предусмотренных в рамках реализации госпрограммы «Развитие промышленности и повышение ее конкурентоспособности». Правительство РФ дополнительно приняло программу льготного кредитования предприятий с целью обеспечения бесперебойной работы отраслей ТЭК в сложившейся экономической ситуации, в рамках которой предприятиям могут быть предоставлены займы

по льготной ставке не более 11 % годовых на срок до 12 мес. При этом конкретное предприятие сможет получить лишь до 10 млрд руб., а группа компаний – до 30 млрд руб.

После апреля 2022 г. поддержка одобрена для более чем 119 системообразующих предприятий ТЭК. В общей сумме это более 7 млрд руб., выделяемых для компенсации льготных ставок по кредитам. После июля 2022 г. дополнительно на эти цели было направлено еще более 127,5 млн руб. Следует отметить, что список предприятий не является закрытым. Он имеет механизм дополнения, обусловленный текущей ситуацией, и изменяется под воздействием возникающих проблем.

В марте 2023 г. угольные компании были освобождены от единовременного взноса в бюджет, что также станет дополнительным стимулом для наращивания инвестиций, которые по итогам 2022 г. достигли 235 млрд руб.

Поиск альтернативных поставщиков оборудования и запчастей. Несмотря на рост в последние годы объемов добычи угля и наличие большого числа отечественных компаний (заводов) по выпуску широкой номенклатуры машиностроительной продукции, угольная промышленность России довольно сильно зависит от поставок импортного горношахтного и горнотранспортного оборудования. Для того, чтобы изменить негативную ситуацию, Правительство РФ утвердило в 2014 г. (Постановление от 30 сентября 2014 г. № 1936-р) план содействия импортозамещению в промышленности (п. 4). В 2015 г. план мероприятий по импортозамещению в отрасли тяжелого машиностроения был утвержден Приказом Минпромторга России от 31.03.2015 г. № 654. В дополнение к этому в 2017 г. Минпромторг России разработал проект «Стратегия развития тяжелого машиностроения на период до 2020 г. и на перспективу до 2030 г.». Однако, несмотря на объявленный курс по импортозамещению и разработанные Правительством РФ меры, в угольной промышленности России сдвиги в этом направлении имеют малосущественный характер. Более того, закупки импортного оборудования для предприятий отрасли из года в год продолжали расти.

Проведенный анализ динамики структуры и объемов ввода российскими угольными компаниями импортного оборудования показывает, что развитие импортозамещения в отрасли в настоящее время испытывает серьезное торможение. Импортозамещение в России может перейти к активной фазе в случае, если отечественное горношахтное оборудование по совокупности характеристик будет превосходить применяемые импортируемые образцы, а также будет соответствовать современным требованиям в части автоматизации и цифровизации производства.

Несмотря на имеющиеся трудности, промышленный и научный потенциал России все же позволяет при надлежащем финансировании и внимании заместить довольно существенный объем импортного оборудования, используемого в угольной отрасли. Более того, в отдельных случаях Россия имеет разработки, значительно опережающие мировые аналоги,

например в области микросейсмики и геофизики, карьерного оборудования и т. д. Очевидно, что это потребует значительных финансовых ресурсов и времени на проведение НИОКР, создание испытательных стендов, опытных образцов и переход к промышленному производству. При этом российский бизнес часто еще не готов к рискам, связанным с НИОКР, а западные инвесторы просто не заинтересованы в финансировании российских конкурентов. Вероятнее всего наиболее реальным источником поддержания научных разработок являются субсидии, государственные инвестиции и налоговые преференции для российского отраслевого бизнеса.

У российского рынка горного машиностроения имеется ряд преимуществ: высокий внутренний спрос на оборудование при достаточно небольших расстояниях его доставки потребителю; низкая стоимость сырья; накопленный ресурс научных и конструкторских школ; возможность конверсии технологий ВПК и применения наработок высокотехнологичных направлений (космические, военные, нанотехнологии и др.) [15].

Среди достаточно значимых механизмов поддержки и развития горного машиностроения наиболее действенными являются:

- прямое финансирование НИР, НИОКР, строительства и развития промышленных производств через госкорпорации (Росатом, Роснано, Ростехнологии и др.);
- субсидирование научных разработок;
- льготное кредитование исследований и опытных производств, НИР и НИОКР;
- льготное налогообложение на выпуск оборудования, признанного приоритетным для импортозамещения;
- временное льготное налогообложение для предприятий, осуществляющих испытания и ввод в эксплуатацию нового оборудования;
- введение ускоренной амортизации на отечественное оборудование.

Реализация такой глобальной трансформации горного машиностроения невозможна без государственной поддержки и принятия соответствующего комплекса мер, позволяющих ускорить реальный процесс импортозамещения в угольной отрасли.

Следует отметить, что за последние годы нормативно-правовая база в сфере импортозамещения отраслей ТЭК была основательно модернизирована.

Так, Постановлением Правительства РФ от 17.07.2015 № 719 «О подтверждении производства промышленной продукции» были установлены критерии определения «российская продукция», а также регламентирована процедура получения заключения Минпромторга России о подтверждении производства промышленной продукции на территории России.

Кроме Постановления № 719, были приняты некоторые другие Постановления Правительства РФ:

- от 30.04.2020 № 616 «Об установлении запрета на допуск промышленных товаров, происходящих из иностранных

государств, для целей осуществления закупок для государственных и муниципальных нужд, а также промышленных товаров, происходящих из иностранных государств, работ (услуг), выполняемых (оказываемых) иностранными лицами, для целей осуществления закупок для нужд обороны страны и безопасности государства»;

- от 30.04.2020 № 617 «Об ограничениях допуска отдельных видов промышленных товаров, происходящих из иностранных государств, для целей осуществления закупок для обеспечения государственных и муниципальных нужд».

Данные документы призваны стимулировать использование российского оборудования посредством введения запретов и ограничений на допуск товаров из других стран, а также к закупкам для государственных и муниципальных нужд.

В целях увеличения доли закупок оборудования российского происхождения компаниям с государственным участием, осуществляющим закупки в рамках ФЗ от 18.07.2011 № 223-ФЗ «О закупках товаров, работ, услуг отдельными видами юридических лиц», утверждено Постановление Правительства РФ от 03.12.2020 № 2013 «О минимальной доле закупок товаров российского происхождения». Квотирование направлено на стимулирование заказчиков закладывать стоимость отечественной продукции в проектно-сметную документацию, а также выстраивать закупочную политику, ориентируясь на имеющиеся компетенции российской промышленности. При этом предполагается, что в части нефтегазового машиностроения квоты в 2021–2023 гг. в среднем составят от 50 до 85 % (с 2014 г. предприятия нефтегазового машиностроения, по информации Минпромторга России, уже освоили более 130 номенклатурных позиций). Аналогичные меры необходимо принять и для предприятий угольной отрасли. При отсутствии каких-либо аналогов импортного оборудования необходимо разрешить его ввоз в страну без уплаты таможенной пошлины. При этом перечень инвестиционных проектов, для которых необходимы иностранное технологическое оборудование, сырье и материалы, должна формировать специальная комиссия. Реестр товаров для беспошлинного ввоза также должен утверждаться Правительством РФ. Эти товары могут использоваться исключительно на территории России и только для реализации конкретного инвестиционного проекта.

Обеспечение налоговой поддержки. В качестве обеспечения налоговой поддержки Минэнерго России в сентябре 2022 г. предложило пересмотреть формулу расчета налога на добычу полезных ископаемых (НДПИ) для угольных компаний. В частности, необходимо отказаться от применения австралийского индекса SGX TSI FOB Australian Premium Coking Coal OTC при подсчете величины этого налога для угля и вернуться к практике, действовавшей до 2022 г., – расчету с применением фиксированной ставки.

Проблемы у российских угольных компаний возникли после введения ограничений странами ЕС на импорт сырья, а также из-за изменения с 2022 г. формулы расчета НДПИ.

Показательно, что ставка НДС на коксующиеся угли в IV квартале 2021 г. составляла 102 руб/т, а в марте 2022 г. – 927 руб/т. Это почти 9-кратное повышение, приводящее к росту затрат на добычу угля.

Дополнительной мерой может стать внесение изменений в Налоговый кодекс Российской Федерации в части возмещения предприятиям НДС за 2022 и 2023 гг. в заявительном (ускоренном) порядке в случае, если они не находятся в процессе реорганизации, ликвидации или в отношении них не возбуждено дело о банкротстве.

Расширение транспортных возможностей доставки угля. За прошедший 2022 г. российским углезэкспортерам еще не удалось полностью перенаправить европейские потоки на другие рынки, в том числе вследствие внутренних инфраструктурных ограничений. Так, из-за отказа европейских стран закупать российский уголь порты Северо-Западного полигона, ориентированные на этот рынок, остались без загрузки. Для увеличения грузопотоков в портах Северо-Западного полигона необходимо вернуть скидку на железнодорожные перевозки угля в эти порты. Такая мера призвана на фоне эмбарго, объявленного странами ЕС, увеличить экспорт угля в Азию и одновременно перенаправить поток грузов с Западного полигона на Восточный.

Понижающие коэффициенты на перевозку угля, а именно: 0,4 за дальность и 0,895 для перевозок энергетического угля на экспорт, которые с учетом расстояния до портов прежде всего актуальны для грузоотправителей Кузбасса, были отменены с 1 июня по 31 августа 2022 г. В конце августа 2022 г. Правительство РФ продлило этот срок до конца текущего года.

Порты юга России также имеют низкую загрузку и обладают потенциалом ее увеличения при принятии понижающих коэффициентов на перевозку угля. Стоимость доставки угля из Кузбасса в Новороссийск, по состоянию на сентябрь 2022 г., составляла около 45 долл. США/т, перевалки – около 10 долл. США/т, морского транспортирования и страховки до портов Китая – 20 долл. США/т. При стоимости угля у производителя в 40 долл. США/т конечная цена составляет 115 долл. США/т, что делает поставки угля через южные порты низкорентабельными.

В декабре 2023 г. планируется запустить угольный терминал «Лавна» в Мурманской области, который станет одним из главных транспортных узлов на маршруте Северного морского пути (СМП). Проект комплекса перегрузки угля «Лавна» является составной частью проекта «Комплексное развитие Мурманского транспортного узла», который реализуется в соответствии с государственной программой «Развитие транспортной системы». Основной целью плана развития Мурманского транспортного узла является создание круглогодично действующего глубоководного морского хаба – центра по переработке нефтеналивных грузов, перевалке угля и минеральных удобрений, интегрированного в международный транспортный коридор «Север–Юг».

Запуск рабочего движения в направлении угольного терминала запланирован на конец 2023 г., ввод объекта в эксплуатацию – в конце 2024 г. На реализацию проекта по угольному терминалу предусмотрены внебюджетные средства, направленные в рамках концессионного соглашения, заключенного между Росморречфлотом и ООО «Морской торговый порт «Лавна». Проектная мощность угольного перегрузочного комплекса составляет 18 млн т в год. Для конкурентоспособного транспортирования угля через терминал представляется целесообразным принятие понижающих коэффициентов на перевозку топлива.

Дополнительными мерами по увеличению объемов транспортирования железнодорожным транспортом может стать применение контейнерных перевозок угля и полувагонов, которые позволяют в полтора-два раза сократить время доставки и упростить процесс разгрузки вагонов, что будет способствовать экономии текущих затрат.

Расширение возможностей угольного экспорта. Для решения проблемы снижения экспорта угольным компаниям придется искать новые направления, других партнеров, применять новую логистику, а также сменить страховые компании, которые отказываются страховать суда с российским углем. Проблема заключается в том, что на рынке страхования и перестрахования подобных грузов традиционно преобладают компании из стран ЕС, Великобритании и Швейцарии. Недостатком же действующих на рынке китайских страховых компаний является то, что они очень неохотно выплачивают возмещения по свершившимся страховым случаям. В связи с этим существует определенная настороженность по отношению к китайским страховым и перестраховочным компаниям.

В то же время нельзя недооценивать и возрастающее давление западных стран на иностранные компании, продолжающие сотрудничество с Россией. В связи с этим российским угольным компаниям предстоит найти таких контрагентов, которые не побоятся попасть под санкции ЕС и США, а также потерять клиентов из числа стран «коллективного Запада» и перейти на расчеты с российскими банками в удобной для обеих сторон валюте.

Перечисленные выше факторы будут оказывать существенное влияние на стоимость страховки. Выходом из сложившейся ситуации, по аналогии с нефтяными танкерами, может стать переход на страхование отечественными страховыми компаниями, например Российской национальной перестраховочной компанией. Также возможно развитие собственного флота или привлечение судов дружественных стран.

Дополнительно предлагается смягчить ограничения и специальные условия привлечения и выдачи разрешений на морские суда. В частности, ввиду возникших сложностей в морских перевозках грузов по причине международных санкций и ограничений остро возникла необходимость в привлечении дополнительного флота, в том числе судов, зарегистрированных в реестрах других государств, для их использования в каботаже на территории Российской Федерации, без

ограничений и специальных условий их привлечения и выдачи разрешений.

Проведенный анализ основных направлений тактических мер господдержки угольной отрасли совместно со стратегическими мерами, которые будут рассмотрены ниже, позволит систематизировать меры господдержки, реализация которых потенциально дает возможность не только смягчить отрицательное воздействие на угольную отрасль санкционного давления, но и обеспечить ее устойчивое функционирование в перспективном периоде.

Система стратегических мер государственной поддержки угольной отрасли

Обобщенную систему тактических мер государственной поддержки угольной промышленности следует дополнить мерами стратегического характера, позволяющими предприятиям отрасли осуществлять плановую диверсификацию производства в направлении формирования секторов экономики, обеспечивающих (либо поддерживающих) реализацию модели опережающего ее развития. Учитывая необходимость обеспечения согласованных действий угольного бизнеса и государства, такую целенаправленную масштабную диверсификацию отрасли целесообразно осуществлять методами целевого индикативного планирования с возможным использованием так называемой системы возвратных планов крупных системообразующих угольных компаний.

Кроме того, в настоящее время возрастает востребованность в разработке и реализации в угольной промышленности государственной программы реструктуризации отрасли, обеспечивающей на основе использования совместных ресурсов угольного бизнеса и государства проведение целевой диверсификации предприятий угольной промышленности с максимально положительным социально-экономическим эффектом.

С учетом специфики действующего в угольной отрасли промышленно-технологического аппарата и существующего профессионального менталитета персонала основные работы по реструктуризации угольной промышленности целесообразно сосредоточить на реализации крупных мобилизационных проектов, имеющих стратегическое значение для государства. Среди таких проектов в первую очередь следует рассматривать ряд инфраструктурных проектов как федерального, так и регионального уровня.

Российская экономика обладает успешным опытом проведения работ по реструктуризации угольной промышленности, проведенной в середине 1990 – начале 2000-х годов. Его использование в актуализированном виде представляется возможным для решения проблем современного периода.

В условиях нарастания санкционного давления на отрасль, действующего эмбарго на поставку угля, сокращающего его экспорт, а также необходимости реализации модели опережающего развития российской экономики целесообразно использование следующих стратегических мер государственной поддержки угольной промышленности.

1. Федеральным органам государственной исполнительной власти в лице Минэнерго России совместно с угольными компаниями и органами государственной исполнительной власти угледобывающих регионов России на базе Федеральных законов «О государственном регулировании в области добычи и использования угля, об особенностях социальной защиты работников организаций угольной промышленности» (от 20.06.1996 № 81-ФЗ) и «О государственном прогнозировании и программах социально-экономического развития Российской Федерации» (от 20.07.1995 № 115-ФЗ) подготовить государственную Программу реструктуризации угольной промышленности на 2023–2030 гг. (далее – Программа) с целью ее социально-экономической адаптации к условиям нарастающего санкционного давления, эмбарго на экспортные поставки угля, а также ускоренной декарбонизации мировой экономики.

2. В рамках этой Программы подготовить нормативные и законодательные акты, направленные на организационное, финансово-экономическое, техническое и инфраструктурное обеспечение ее реализации, включая:

- подготовку долгосрочной Стратегии развития угольной промышленности на период до 2050 г., предусматривающей разработку «стресс-сценария» возможного снижения объемов потребления угля на внутреннем и внешнем рынке, вызванного усилением санкционного давления, действием эмбарго на экспортные поставки угля, а также ускоренной декарбонизацией мировой экономики;

- оценку в рамках «стресс-сценария» прогнозной динамики среднеотраслевых показателей эффективности угольной промышленности с целью классификации предприятий отрасли на три группы:

- *первая группа* – предприятия, способные достичь показателей эффективности, превышающих среднеотраслевые (эта группа предприятий сможет выдержать предстоящую конкуренцию на сужающемся внешнем рынке, она составит основу развития угольной отрасли на глубокую перспективу);

- *вторая группа* – предприятия, для которых достижение среднеотраслевых показателей потенциально возможно, но только при условии модернизации производства (эти предприятия – кандидаты на планомерное снижение объемов производства);

- *третья группа* – предприятия, для которых уже на начальном этапе прогнозного периода должно быть предусмотрено проведение ликвидационных процедур;

- подготовку для предприятий второй и третьей групп в рамках Федерального закона «О государственно-частном партнерстве, муниципально-частном партнерстве в Российской Федерации и внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» (от 13.07.2015 № 224-ФЗ) специальных договоров между угольными компаниями, Правительством РФ (возможно, в лице Минэнерго России) и администрациями соответствующих угольных регионов, включающих:

- разработку долгосрочного плана реструктуризации угольной отрасли, состоящего из региональных планов и предусматривающих использование мобилизационных механизмов экономики, в том числе индикативного планирования, включающего систему возвратных планов компаний;

- меры по государственному содействию (включая нормативное, законодательное, инвестиционное и инфраструктурное) в организации новых рабочих мест (примерно 8 тыс. ед. в год) во вне сферы отраслевой компетенции;

- формирование банка крупных системообразующих, в том числе инфраструктурных инвестиционных проектов, реализация которых с использованием потенциала угольной отрасли обеспечивает переход российской экономики на модель опережающего развития;

- применение механизмов государственного эмиссионного финансирования инвестиционных проектов, реализуемых предприятиями угольной отрасли по созданию производственных объектов, выпускающих продукцию с высокой добавленной стоимостью;

- расширение практики использования контрактов со встречными инвестиционными обязательствами: «офсетными» контрактами, в которых государство гарантирует инвестору закупку выпускаемых товаров;

- применение необходимых ликвидационных процедур, с обязательным включением в них мероприятий по социальной защите высвобождаемых работников и экологической реабилитации территорий (возможно создание ликвидационных фондов предприятий, позволяющих со временем накапливать средства для последующего целевого их использования).

3. Для организации и контроля за ходом выполнения мероприятий по реализации Программы создать Наблюдательный совет из представителей органов федеральной и региональной государственной власти, бизнеса и общественности,

предоставив ему право исполнительной и законодательной инициативы.

Разработанный и систематизированный комплекс тактических и стратегических мер поддержки угольной отрасли позволяет не только смягчить отрицательное воздействие на отрасль нарастающего санкционного давления и объявленного эмбарго на экспортные поставки российского угля, но и обеспечить ее устойчивое функционирование в кризисном и посткризисном периодах.

Заключение

Проведенные ранее финансово-экономические расчеты [1] показали, что в угольной отрасли имеется так называемая подушка безопасности, которая может обеспечить сравнительно устойчивую работу отрасли на период до 2025–2026 гг., за пределами которого могут возникнуть серьезные проблемы деградации отрасли.

Предлагаемая авторами система мер государственной поддержки угольной отрасли позволяет не только смягчить отрицательное воздействие на отрасль нарастающего санкционного давления и объявленного эмбарго на экспортные поставки российского угля, но и обеспечить ее устойчивое функционирование в кризисном и посткризисном периодах за пределами вышеуказанного срока.


Представленные мероприятия могут быть использованы при разработке либо корректировке государственных программ управления отраслью.

Несмотря на использование разработанной системы мер господдержки, угольная отрасль должна целенаправленно проводить планомерную диверсификацию в направлении формирования секторов экономики, осуществляющих переход к модели ее опережающего развития, или в направлении развития производства и предоставления услуг, поддерживающих эти сектора.

Библиографический список

1. Плакиткина Л. С., Плакиткин Ю. А., Дьяченко К. И. Особенности развития угольной отрасли в условиях санкционных ограничений и низкоуглеродного развития // Горный журнал. 2023. № 8. С. 89–95.
2. Абдикеев Н. М. Импортзамещение в высокотехнологичных отраслях промышленности в условиях внешних санкций // Управленческие науки. 2022. Т. 12. № 3. С. 53–69.
3. Энергетическая стратегия Российской Федерации на период до 2035 года : утв. Распоряжением Правительства РФ от 09.06.2020 № 1523-р. URL: <https://docs.cntd.ru/document/565068231> (дата обращения: 15.06.2023).
4. Программа развития угольной промышленности России на период до 2035 г. : утв. Распоряжением Правительства РФ от 13.06.2020 № 1582-р (с изм. на 13.10.2022). URL: <https://docs.cntd.ru/document/565123539> (дата обращения: 15.06.2023).
5. Перспективы развития угольной промышленности в России / Центр социально-экономических исследований, 2020. – 184 с.
6. Ембулаев В. Н., Тонких А. И. Формализация задачи управления в угольной промышленности на уровне региона // Фундаментальные исследования. 2017. № 10-2. С. 339–343.
7. Воскобойник М. П. Государственное регулирование развития угольной промышленности с использованием имитационной финансово-экономической модели. – 2-е изд. – М. : Редакция журнала «Уголь», Росинформуголь, 2018. – 229 с.
8. Белякова Г. Я., Фаскевич Н. В., Дулесов А. Н. Управление развитием угольной промышленности на региональном рынке // Проблемы социально-экономического развития Сибири. 2018. № 4(34). С. 17–21.
9. Петренко И. Е. Итоги работы угольной промышленности России за январь–декабрь 2022 года // Уголь. 2023. № 3. С. 21–33.
10. BP Energy Outlook. 2022 edition / BP, 2022. – 57 p.
11. Промышленное производство в России. 2021 : статистический сб. – М. : Росстат, 2021. – 305 с.
12. Плакиткина Л. С., Плакиткин Ю. А., Дьяченко К. И. Развитие добычи угля в Арктической зоне Российской Федерации: состояние и потенциал развития // Уголь. 2022. № 7. С. 71–77.
13. Global Coal Mine Tracker / Global Energy Monitor, 2023. URL: <https://globalenergymonitor.org/projects/global-coal-mine-tracker/> (дата обращения: 17.03.2023).
14. О внесении изменений в Правила отбора организаций, включенных в отраслевые перечни системообразующих организаций российской эко-

номики, претендующих на предоставление в 2020 году мер государственной поддержки : Постановление Правительства Российской Федерации от 06.03.2022 № 296. URL: <https://docs.cntd.ru/document/728367754> (дата обращения: 15.06.2023).

15. *Тополева Т. Н.* Локализация производства: международный опыт и императивы России в условиях санкционного режима // *Управленческие науки*. 2022. Т. 12. № 2. С. 6–20. 

«GORNYI ZHURNAL», 2023, № 12, pp. 55–63

DOI: 10.17580/gzh.2023.12.09

Governmental management of coal industry with regard to sanctions and decarbonization

Information about authors

Yu. A. Plakitkin¹, Head of the Center for Analysis and Innovation in Energy, Professor, Doctor of Economic Sciences, Academician of the Russian Academy of Natural Sciences, Academician of the Academy of Mining Sciences

L. S. Plakitkina¹, Head of the Research Center for Coal Industry in Russia and in the World, Candidate of Engineering Sciences, Corresponding Member of the Russian Academy of Natural Sciences, luplak@rambler.ru

K. I. Dyachko¹, Senior Researcher at the Research Center for Coal Industry in Russia and in the World, Candidate of Engineering Sciences

¹Institute for Energy Research, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

Abstract

The results of the analysis of sanctions pressure and the embargo on coal exports indicate a very strong destabilizing effect on the functioning of the industry in both short and long term. To reduce this impact, it is necessary to implement measures to effectively influence the coal industry in the field of fiscal, financial, economic, organizational, social and other areas of state policy to ensure the stable operation of industry enterprises, maintain demand in the domestic market and prevent a decrease in export potential.

Taking into account the high social significance of the coal industry, as well as the “extraordinary” nature of the current situation in the global economy, the developed system of state support measures for the coal industry includes:

— a set of tactical anti-crisis measures that ensure sustainable operation coal mining enterprises in the short and medium term;

— a set of strategic measures for the socio-economic restructuring of the coal industry, allowing for a systematic transition of the industry into sectors of the economy of “advanced” development.

Keywords: sanctions, embargo, coal industry, restrictions, supportive measures, decarbonization, tactics, strategy

References

- Plakitkina L. S., Plakitkin Yu. A., Dyachenko K. I. Specifics of coal industry advancement under sanction limitation and low-carbon development. *Gornyi Zhurnal*. 2023. No. 8. pp. 89–95.
- Abdikeev N. M. Import Substitution in High-Tech Industries Under External Sanctions. *Management Sciences*. 2022. Vol. 12(3). pp. 53–69.
- Energy Strategy of Russia up to 2035. Approved by the Government of the Russian Federation, Order No. 1523-r as of June 9, 2020. Available at: <https://docs.cntd.ru/document/565068231> (accessed: 15.06.2023).
- Available at: <https://docs.cntd.ru/document/565123539> (accessed: 15.06.2023).
- Development prospects for coal industry in Russia. Center for Social and Economic Research, 2020. 184 c.
- Embulaev V. N., Tonkikh A. I. Formalization of management tasks in coal industry in the region. *Fundamentalnye issledovaniya*. 2017. No. 10-2. pp. 339–343.
- Voskoboynik M. P. Governmental regulation of development in coal industry using finance and economy simulation model. 2nd ed. Moscow : Redaktsiya zhurnala “Ugol”, Rosinformugo, 2018. 229 p.
- Belyakova G. Ya., Faskovich N. V., Dulesov A. N. Coal industry development management in the regional market. *Problemy sotsialno-ekonomicheskogo razvitiya Sibiri*. 2018. No. 4(34). pp. 17–21.
- Petrenko I. E. Russia’s coal industry performance for January–December, 2022. *Ugol*. 2023. No. 3. pp. 21–33.
- BP Energy Outlook: 2022 edition. BP, 2022. 57 p.
- Industrial production in Russia 2021 : Statistical digest. Moscow : Rosstat, 2021. 305 p.
- Plakitkina L. S., Plakitkin Yu. A., Dyachenko K. I. Progress in coal mining in the arctic zone of the Russian Federation: Current state and potential for development. *Ugol*. 2022. No. 7. pp. 71–77.
- Global Coal Mine Tracker. Global Energy Monitor, 2023. Available at: <https://globalenergymonitor.org/projects/global-coal-mine-tracker/> (accessed: 17.03.2023).
- Introduction of changes in the Rules for Industrial Draft of Backbone Organizations of the Russian Economy to be Noinated for the Governmental Support in 2020. Approved by the Government of the Russian Federation, Decree No. 296 dated 6 March 2022. Available at: <https://docs.cntd.ru/document/728367754> (accessed: 15.06.2023).
- Topoleva T. N. Localization of Production: International Experience and Imperatives of Russia in the Conditions of Sanctions Regime. *Management Sciences*. 2022. Vol. 12, No. 2. pp. 6–20.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II» выражает искреннюю благодарность редакции «Горного журнала» и Издательскому дому «Руда и Металлы» за издание тематического номера журнала, посвященного празднованию 250-летия первого высшего технического учебного заведения России.

Ваш журнал всегда был и остается авторитетным источником актуальной научной информации для обучающихся, преподавателей и специалистов горных компаний. Мы ценим ваш вклад в сохранение и продвижение знаний в горной отрасли.

Этот выпуск стал ярким и значимым событием в жизни университета, а также важным информационным поводом для широкой общественности. Мы гордимся нашим партнерством и уверены в развитии – плодотворного сотрудничества.

С уважением,

Проректор по образовательной деятельности

Д. Г. Петраков



УДК 332.1:622.276

ФАКТОРНЫЙ АНАЛИЗ НЕФТЕГАЗОВЫХ ПРОЕКТОВ В АРКТИЧЕСКИХ РЕГИОНАХ С УЧЕТОМ РИСКА

И. М. ПОТРАВНЫЙ¹, проф., д-р экон. наук
А. Л. НОВОСЕЛОВ², проф. д-р экон. наук
И. Ю. НОВОСЕЛОВА³, проф., д-р экон. наук
А. А. ПЕЛЬМЕНЕВА², доцент, канд. экон. наук,
anastasia_plmn@mail.ru

¹Российский экономический университет им. Г. В. Плеханова,
Москва, Россия

²Российский государственный университет нефти и газа (НИУ)
им. И. М. Губкина, Москва, Россия

³Финансовый университет при Правительстве Российской
Федерации, Москва, Россия

Введение

Проекты по добыче полезных ископаемых, а также их первичной переработке активно реализуются в Арктическом регионе России [1]. К числу таких проектов относятся освоение Южно-Тамбейского газоконденсатного месторождения (Ямал-СПГ), нефтегазоконденсатного месторождения Гыданского полуострова (Арктик СПГ-2), нефтяных месторождений западного побережья Обской губы («Новый порт – Ворота Арктики»), Пайяхской группы нефтяных месторождений на Таймыре, Таймырского угольного бассейна и др. Успех реализации этих проектов обусловлен не только достижением экономически эффективных показателей, но и сроками их реализации. Изменение показателей эффективности проекта и отклонение от запланированных сроков его реализации зависят от системы факторов риска, которые необходимо анализировать и учитывать при обосновании управленческих решений [2]. Для этих целей авторами предлагается факторный анализ нефтегазовых проектов в арктических регионах по множеству оценочных критериев.

Методы и материалы исследования

Для анализа влияния различных факторов на показатели эффективности реализации проекта необходимо провести сравнение плановых значений показателей, которые оказывают непосредственное влияние на эффективность реализации проекта (капитальные и текущие затраты, объем добычи, цены, сроки освоения участка месторождения) с их прогнозными значениями. При этом важно исследовать эффективность реализации проекта с помощью интегрального критерия, позволяющего учитывать как экономическую эффективность проекта, так и сроки его реализации, для чего в нефтегазовой отрасли целесообразно использовать интегральные показатели [3]. В случае, если стратегическая цель реализации проекта имеет более высокий уровень (загрузка Северного

Рассмотрены результаты факторного анализа эффективности проектов добычи углеводородного сырья на арктическом шельфе с учетом развития Северного морского пути. Для оценки эффективности таких проектов предложен интегральный показатель, объединяющий критерий экономической эффективности (рентабельность инвестиций) и критерий выполнения проекта в заданные сроки. Предложено анализировать изменение интегрального показателя эффективности проекта под влиянием пяти факторов риска: политического, социального, экономического, геологического и эколого-климатического. Для оценки воздействия негативных факторов предложена модификация риск-функции, позволяющая оценивать прогноз изменения интегрального показателя эффективности проекта по добыче полезных ископаемых.

Ключевые слова: нефтегазовые арктические проекты, факторный анализ, экономическая эффективность, сроки реализации, интегральный показатель

DOI: 10.17580/gzh.2023.12.10

морского пути), наряду с экономической эффективностью проекта добычи углеводородного сырья следует учитывать сроки освоения месторождения, что влияет на возможности развития всей инфраструктуры региона.

Перспективный в теоретико-практическом отношении подход содержится в методике оценки эффективности использования средств Федерального бюджета [4]. По данной методике интегральную оценку эффективности определяют как сумму качественных и количественных критериев с учетом заданных весовых коэффициентов:

$$Э_{\text{инт}} = \alpha_1 Ч_1 + \alpha_2 Ч_2, \quad (1)$$

где $Ч_1$, $Ч_2$ – средняя оценка эффективности на основе качественных и количественных критериев соответственно, α_1 , α_2 – весовые коэффициенты ($\alpha_1 = 0,2$ и $\alpha_2 = 0,8$).

Особенностью оценки эффективности реализации проектов развития добычи углеводородных ресурсов является их реализация в заданные сроки с целью загрузки Северного морского пути. Существуют новые технологические подходы, которые позволяют сократить сроки освоения месторождений. Например, Газпромнефть-Заполярье сократило в два раза сроки запуска промышленной эксплуатации Ен-Яхинского и Песцового месторождений в Ямало-Ненецком АО за счет использования мобильных установок обустройства месторождений [5]. Вместе с тем существует очень много факторов риска – внутренних и внешних, негативно влияющих на экономическую и экологическую эффективность проекта по добыче углеводородов, а также сроки его реализации.

В научной литературе выделяют различные укрупненные факторы риска [6]. Для отражения специфики таких проектов предлагается рассматривать систему из пяти факторов

риска, к которым относятся следующие: политический, социальный, экономический, геологический и климатический [7]. Среди других составляющих при оценке эффективности реализации проекта следует учитывать также срок его реализации. В критерий оценки эффективности целесообразно включить отношение планового срока реализации проекта $T^п$ к фактическому $T^ф$:

$$E_2 = T^п/T^ф. \quad (2)$$

Данный показатель является относительным: чем он больше единицы, тем меньше фактический срок реализации проекта по сравнению с плановым. В статье [8] проведено исследование влияния различных факторов на эффективность нефтегазового проекта, в качестве основного показателя экономической эффективности рассматривается чистая дисконтированная стоимость. Развивая подход к оценке эффективности в соответствии с формулой (1), необходимо обеспечить сопоставимость обоих составляемых интегральной оценки эффективности. Второй важнейшей составляющей комплексной оценки проекта должен быть индекс рентабельности инвестиций, в который входит чистый дисконтированный доход:

$$E_1 = 1 + \frac{\sum_{t=1}^T [(C_t - S_t) \times Q_t - Z_t] (1+r)^{1-t}}{\sum_{t=1}^T Z_t (1+r)^{1-t}}, \quad (3)$$

где C_t – цена реализации нефти (природного газа); S_t – себестоимость нефти (природного газа); Q_t – годовой объем добычи нефти (природного газа); Z_t – затраты на обустройство месторождения (участка месторождения) нефти (природного газа); r – ставка дисконтирования.

Интегральную эффективность проекта с учетом экономических и производственных параметров, а также сроков его реализации можно определить по формуле

$$E = \alpha_1 E_1 + \alpha_2 E_2, \quad (4)$$

где α_1 и α_2 – весовые коэффициенты ($\alpha_1 + \alpha_2 = 1$).

Данный показатель позволяет оценить влияние внешних и внутренних факторов на сроки реализации проекта и его экономическую эффективность.

При проведении факторного анализа следует основываться на сопоставлении двух значений показателей. При этом часто используют сравнение фактических значений прошлого и позапрошлого периодов (лет); плановых и отчетных данных за анализируемый год и т. д. При обосновании эффективности проекта освоения месторождения основываются на оценочных данных, которые отражаются в его технико-экономическом обосновании. Однако в процессе реализации проекта внешние и внутренние негативные факторы приводят к изменению оценочных данных, на которых были основаны расчеты экономической эффективности. Факторный анализ позволяет выявить влияние негативных факторов на эффективность такого проекта, для этого следует воспользоваться

Таблица 1. Условные обозначения и единицы измерения показателей влияния факторов риска на параметры проекта

Факторы риска ($i = 1, 2, \dots, n$)	Параметры проекта								
	Увеличение срока реализации проекта T , лет			Изменение денежного притока CIF, %			Изменение денежного оттока COF, %		
	min	erw	max	min	erw	max	min	erw	max
Фактор 1	β_1^{\min}	β_1^{exp}	β_1^{\max}	γ_1^{\min}	γ_1^{exp}	γ_1^{\max}	η_1^{\min}	η_1^{exp}	η_1^{\max}
Фактор 2	β_2^{\min}	β_2^{exp}	β_2^{\max}	γ_2^{\min}	γ_2^{exp}	γ_2^{\max}	η_2^{\min}	η_2^{exp}	η_2^{\max}
...

сравнением оценочных данных с их прогнозируемыми значениями, полученными на основе учета внешних и внутренних факторов [9].

Каждый из перечисленных факторов риска влияет на изменение денежных потоков и сроки выполнения проекта, причем влияние может быть оценено с помощью экспертных оценок. В результате будут получены минимальная (min), ожидаемая (erw) и максимальная (max) оценки изменения рассматриваемых показателей под воздействием каждого из учитываемых факторов риска. Изменение экономических и производственных факторов рекомендуется определять в процентах отклонения от значений, указанных в технико-экономическом обосновании. Срок реализации проекта (обустройства месторождения) задается экспертами в годах (**табл. 1**).

Исследование факторов влияния на чистый дисконтированный доход нефтегазовых компаний проводят различными способами, включая применение функционально-стоимостного анализа нефтегазовых проектов [10]. Анализ эффективности реализации проекта с учетом факторов риска требует проведения факторного анализа [11, 12]. В общем виде формулу для оценки эффективности (4) можно представить как функцию параметров, перечисленных в табл. 1, т. е. $E(\text{CIF}, \text{COF}, T)$. Порядок подстановки определен следующий: анализ влияния на денежный приток e_1 ; анализ влияния на денежный отток e_2 ; анализ влияния на срок реализации проекта e_3 .

Общая схема проведения факторного анализа следующая.

Шаг 1. Задание номера фактора риска $i = 1$.

Шаг 2. Определение изменения эффективности проекта под воздействием влияния на денежный приток e_1 фактора i :

$$\Delta E_{i,e_1}^{\mu} = E(\text{CIF}, \text{COF}, T) - E(\text{CIF} \times (1 + 0,1\gamma_i^{\mu}), \text{COF}, T), \mu = (\text{min}, \text{erw}, \text{max}). \quad (5)$$

Шаг 3. Оценка изменения эффективности проекта под воздействием влияния на денежный отток e_2 фактора i :

$$\Delta E_{i,e_2}^{\mu} = E(\text{CIF} \times (1 + 0,1\gamma_i^{\mu}), \text{COF} \times (1 + 0,1\eta_i^{\mu}), \text{COF} \times (1 + 0,1\eta_i^{\mu}), T), \mu = (\text{min}, \text{erw}, \text{max}). \quad (6)$$

Шаг 4. Определение изменения эффективности проекта под воздействием влияния на срок реализации проекта e_3 фактора i :

$$\Delta E_{i, \beta}^{\mu} = E(CIF \times (1 + 0,1\gamma_i^{\mu}), COF \times (1 + 0,1\eta_i^{\mu}), T) - E(CIF \times (1 + 0,1\gamma_i^{\mu}) + \Delta CIF_T, COF \times (1 + 0,1\eta_i^{\mu}) + \Delta COF_T, T + \beta_i^{\mu}), \mu = (\min, av, \max), \quad (7)$$

где ΔCIF_T (ΔCOF_T) – изменение денежного притока (оттока) при увеличении периода реализации проекта.

Шаг 5. Проверка: все ли факторы рассмотрены ($i = n$)? Если да, то завершение расчетов; в противном случае $i = i + 1$, переход к шагу 2.

Методом цепных подстановок определяют изменение интегральной эффективности проекта для значений $\mu = (\min, av, \max)$ и с учетом факторов риска. Полученные для анализа результаты можно представить в виде лепестковых диаграмм, которые позволяют сопоставлять изменение интегральной эффективности проекта по каждому из его параметров в привязке к факторам риска.

На основе полученных оценок следует провести агрегирование и определить влияние каждого фактора риска на изменение эффективности проекта в целом ΔE_i^{μ} , $\mu = (\min, erw, \max)$, $i = 1, 2, \dots, n$. На такой диаграмме будут представлены кривые, соответствующие минимальному, среднему и максимальному изменениям оценки интегральной эффективности проекта. Для построения риск-функции предлагается воспользоваться следующим алгоритмом.

Шаг 1. Задание номера фактора риска $i = 1$.

Шаг 2. Определение шага расчета значений риск-функции $\beta = (\Delta E_i^{\max} - \Delta E_i^{\min}) / (N - 1)$, где N – число интервалов для расчета значений риск-функции.

Шаг 3. Расчет промежуточных значений α_k и ρ_k для значений $k = \Delta E_i^{\min}, \Delta E_i^{\min} + \beta, \Delta E_i^{\min} + 2\beta, \dots, \Delta E_i^{\max}$.

$$\alpha_g = \begin{cases} (k - \Delta E_i^{\min})(\Delta E_i^{erw} - \Delta E_i^{\max})^{-1}, & k = \Delta E_i^{\min}, \Delta E_i^{\min} + \beta, \dots, \Delta E_i^{erw} \\ (\Delta E_i^{\max} - k)(\Delta E_i^{\max} - \Delta E_i^{erw})^{-1}, & k = \Delta E_i^{erw}, \Delta E_i^{erw} + \beta, \dots, \Delta E_i^{\max} \end{cases} \quad (8)$$

$$\rho_k = (k - \Delta E_i^{\min})(\Delta E_i^{\max} - \Delta E_i^{\min})^{-1}, \quad k = \Delta E_i^{\min}, \Delta E_i^{\min} + \beta, \dots, \Delta E_i^{\max}$$

Шаг 4. Расчет значений риск-функции оценки изменения интегральной эффективности проекта G_k :

$$G_k = \begin{cases} \rho [1 + (1 - \alpha) \ln(1 - \alpha) \alpha^{-1}] & k = \Delta E_i^{\min}, \Delta E_i^{\min} + \beta, \dots, \Delta E_i^{erw} \\ (1 - \rho) [1 + (1 - \alpha) \ln(1 - \alpha) \alpha^{-1}] & k = \Delta E_i^{erw}, \Delta E_i^{erw} + \beta, \dots, \Delta E_i^{\max} \end{cases} \quad (9)$$

На основе полученных результатов расчета значений риск-функции можно построить график зависимости изменения интегральной эффективности проекта k (по оси абсцисс) от уверенности негативного влияния фактора G_k (в интервале от 0 до 1).

Шаг 5. Определение влияния фактора i на изменение интегральной эффективности проекта оценки риска k^* (для каждого фактора эта величина индивидуальна). Расчет изменения интегральной эффективности проекта для заданной величины риск-функции проводят из ближайших найденных в процессе расчетов на шаге четырех значений: $k^a \geq k^* \geq k^b = k^a +$

Таблица 2. Изменение параметров интегральной эффективности проекта

Факторы риска	Параметр 1 – денежный приток, CIF, %			Параметр 2 – денежный отток, COF, %			Параметр 3 – увеличение срока реализации проекта, лет		
	min	erw	max	min	erw	max	min	erw	max
Политический	-10	-7	-5	5	30	32	1	2	3
Социальный	0	0	0	4	14	16	0	1	2
Экономический	-15	-10	-2	6	16	17	1	1	2
Геологический	-1	-5	-4	20	22	24	2	2	3
Климатический	-7	-7	-5	11	12	14	1	1	2

β и соответствующих им значений G_{k^a} и G_{k^b} по формуле

$$G_{k^*} = G_{k^a} + (k^a - k^*)(G_{k^b} - G_{k^a}) / \beta. \quad (10)$$

Шаг 6. Проверка: все ли факторы рассмотрены ($i = n$)? Если да, то завершение расчетов; в противном случае $i = i + 1$, переход к шагу 2.

Результаты исследования

На основе анализа проекта освоения участка нефтяного месторождения в Таймырском районе Красноярского края дана оценка факторов риска путем выделения пяти факторов: политического, социального, экономического, геологического и климатического. Эти факторы риска влияют на параметры интегральной оценки проекта: параметр 1 (денежный приток), параметр 2 (денежный отток), параметр 3 (увеличение срока реализации проекта). Экспертные оценки изменения параметров, входящих в расчет интегральной оценки эффективности проекта, приведены в **табл. 2**. Информационной базой для экспертных оценок по определению рисков являлись материалы собственных исследований авторов, других групп экспертов, а также социологические опросы населения [13].

На основе анализа факторного изменения интегральной эффективности проекта в разрезе трех выделенных параметров можно построить лепестковые диаграммы (**рис. 1**).

При реализации уникальных проектов освоения шельфа следует особо учитывать экологический фактор, который является ограничением инвестиционной привлекательности. Заметное ухудшение эффективности проекта отмечено в результате влияния на параметр 3 (период реализации проекта). При этом наибольшее негативное влияние оказывают факторы политического и геологического рисков. Политический риск в настоящее время обусловлен санкционными запретами на реализацию получения оборудования и технологий зарубежных компаний. Для преодоления последствий таких санкций необходима разработка отечественных

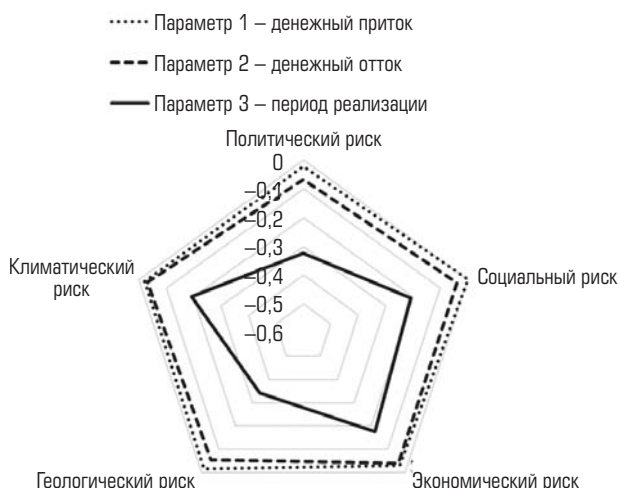


Рис. 1. Результаты анализа среднего (egw) влияния факторов риска на параметры интегральной оценки эффективности

технологий и собственное производство горного оборудования. Возможно также приобретение необходимого оборудования в рамках параллельного импорта, что сокращает сроки обустройства месторождений, но приводит к существенному повышению капитальных затрат. Для минимизации геологического риска зачастую рекомендуется проведение в нескольких скважинах AVO-анализа (*Amplitude Variation with Offset*) и вертикального сейсмического профилирования (VSP); все больше внимания уделяется построению цифрового двойника эксплуатационного объекта; проведению имитационного статистического моделирования геологических параметров и определению на этой основе вероятностных объемов запасов нефти в соответствии с системой SPE PRMS.

Полученные результаты показывают, что наиболее сильное негативное воздействие на интегральную оценку эффективности проекта освоения участка нефтяного месторождения оказывают фактор 1 (политический риск) и фактор 4 (геологический риск), поскольку эти факторы могут уменьшить эффективность проекта примерно на 55 %.

Аналогичные графики можно построить для минимальной (min) и максимальной (max) оценок влияния факторов риска на параметры интегральной оценки эффективности проекта (рис. 2).

Остальные факторы (факторы 2, 3 и 5) оказывают несколько меньшее воздействие на эффективность проекта: эти факторы могут уменьшить эффективность проекта примерно на 45 % от разности между максимальной и минимальной ее оценками.

Для снижения негативного воздействия факторов риска на основе приведенных оценок предлагается применение инструментов экологического страхования, создание компенсационных фондов, подписание соглашений заинтересованных

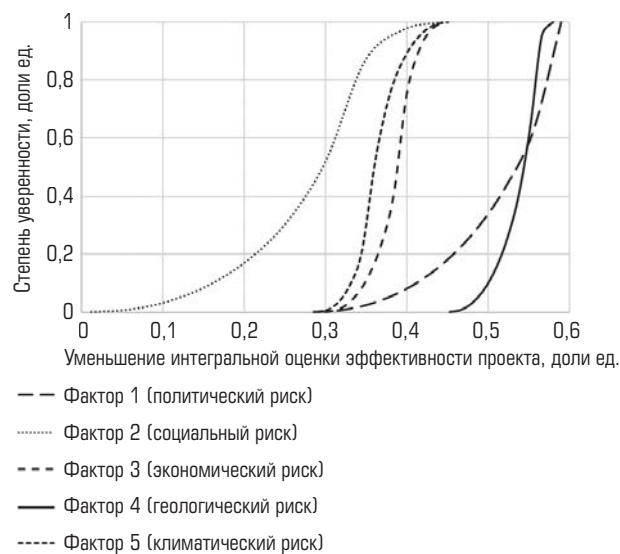


Рис. 2. Графики риск-функций изменения интегральной оценки эффективности проекта для каждого из факторов

сторон (добывающей компании, органов власти и местного населения) о социально-экономическом развитии территории в зоне реализации нефтегазовых проектов. В частности, для снижения негативного воздействия фактора 2 (социальный риск) добывающая компания должна учитывать интересы местного населения путем реализации соответствующих компенсационных проектов [14].

Заключение

Использование предлагаемого механизма факторного анализа эффективности проектов добычи минерального сырья, включая добычу нефти и природного газа на шельфе и развития инфраструктуры, позволяет отслеживать изменение экономической эффективности и отклонение от запланированных сроков реализации, осуществлять целенаправленный процесс управления, чтобы проект оставался экономически выгодным и экологически безопасным. Такой подход позволяет синхронизировать реализацию проектов добычи углеводородного сырья на шельфовых месторождениях и связанных с ним инфраструктурных проектов в арктических регионах.

Для управления выявленными рисками (экономическим, социальным, геологическим, политическим, климатическим) с учетом их влияния на параметры интегральной оценки эффективности нефтегазовых проектов предлагают использование инструментов экологического страхования, создание компенсационного фонда [15], переговорной площадки для согласования условий заинтересованных сторон, подписание соглашений о социально-экономическом развитии территории с учетом интересов местного населения, реализацию климатических компенсационных проектов, разработку и осуществление мероприятий по охране окружающей среды, ресурсосбережению и др.

Библиографический список

1. Цветков В. А., Дудин М. Н., Юрьева А. А. Стратегическое развитие арктического региона в условиях больших вызовов и угроз // Экономика региона. 2020. Т. 16. № 3. С. 680–695.
2. Пискун Е. И., Хохлов В. В. Экономическое развитие регионов Российской Федерации. Факторно-кластерный анализ // Экономика региона. 2019. Т. 15. № 2. С. 363–376.
3. Новоселова И. Ю., Петров И. В., Новоселов А. Л. Арктический уголь: методические вопросы комплексной оценки рисков // Уголь. 2020. № 8. С. 88–91.
4. Об утверждении формы тест-паспорта объекта капитального строительства и Методики оценки эффективности использования средств Федерального бюджета, направляемых на капитальные вложения : Приказ Минэкономразвития России от 27.03.2019 № 167 (с изм. на 24.06.2022). URL: <https://docs.cntd.ru/document/554150658> (дата обращения: 20.01.2023).
5. Carayannis E. G., Ilinova A., Cherepovitsyn A. The Future of Energy and the Case of the Arctic Offshore: The Role of Strategic Management // Journal of Marine Science and Engineering. 2021. Vol. 9. Iss. 2. P. 1–20.
6. Abbaspour M., Toutounchian S., Dana T., Abedi Z., Toutounchian S. Environmental Parametric Cost Model in Oil and Gas EPC Contracts // Sustainability. 2018. Vol. 10. Iss. 1. DOI: 10.3390/su10010195
7. Трубицина О. П., Башкин В. Н. Геоэкологический риск на фоне геополитических вызовов нефтегазовой отрасли в Арктике // Проблемы анализа риска. 2019. Т. 16. № 4. С. 12–23.
8. Meibodi A. E., Taklif A., Arbab H., Monji H. B. Investigating the Effects of Contractual Factors and Arrangements on the Optimum Level of Production in Oil and Gas Projects: Evidence from the South Pars Phases 17 & 18 // Iranian Economic Review. 2020. Vol. 24. Iss. 1. P. 181–223.
9. Burkett V. Global climate change implications for coastal and offshore oil and gas development // Energy Policy. 2011. Vol. 39. Iss. 12. P. 7719–7725.
10. Ansari E., Kaufmann R. K. The effect of oil and gas price and price volatility on rig activity in tight formations and OPEC strategy // Nature Energy. 2019. Vol. 4. No. 4. P. 321–328.
11. Новоселова И. Ю., Новоселов А. Л. Механизм факторного анализа стоимости нефтяных месторождений // Экономика. Налоги. Право. 2020. Т. 13. № 4. С. 79–89.
12. Jun Wang, Dan Ding, Ou Liu, Ming Li. A synthetic method for knowledge management performance evaluation based on triangular fuzzy number and group support systems // Applied Soft Computing. 2016. Vol. 39. P. 11–20.
13. Потравная Е. В. Взаимодействие бизнеса и коренных народов Севера: чего ждет население после аварии в Норильске? // ЭКО. 2021. № 7. С. 19–39.
14. Novoselov A. L., Potravny I. M., Novoselova I. Yu., Chavez Ferreyra K. Ye. Formulación económica de proyectos de desarrollo ecológico sostenible, basados en la repatriación de capitales e intereses nacionales // Espacios. 2018. Vol. 39. No. 34. P. 20.
15. Novoselov A., Potravny I., Novoselova I., Gassiy V. Compensation fund as a tool for sustainable development of the Arctic indigenous communities // Polar Science. 2021. Vol. 28. DOI: 10.1016/j.polar.2020.100609

«GORNYI ZHURNAL», 2023, № 12, pp. 64–68
DOI: 10.17580/gzh.2023.12.10

Factor analysis of oil and gas projects in the Arctic areas with regard to risk

Information about authors

I. M. Potravny¹, Professor, Doctor of Economic Sciences

A. L. Novoselov², Professor, Doctor of Economic Sciences

I. Yu. Novoselova³, Professor, Doctor of Economic Sciences

A. A. Pelmeneva², Associate Professor, Candidate of Economic Sciences, anastasia_plmn@mail.ru

¹Plekhanov Russian University of Economic, Moscow, Russia

²Gubkin Russian State University of Oil and Gas, Moscow, Russia

³Financial University under the Government of the Russian Federation, Moscow, Russia

Abstract

The article considers the issues of factor analysis of the effectiveness of hydrocarbon production projects on the Arctic shelf, taking into account the development of the Northern Sea Route. In order to assess the effectiveness of such projects, an integral indicator that combines the criterion of economic efficiency (return on investment) and the criterion of project performance within a given time frame is proposed. It is proposed to analyze the change in the integral indicator of project efficiency under the influence of five risk factors: political, social, economic, geological, environmental and climatic. The use of the proposed factor analysis allows tracing changes in economic efficiency and deviations from the scheduled implementation timeframe, and enables goal-oriented control of a project to be eco-friendly and economically beneficial.

Keywords: oil and gas Arctic projects, factor analysis, economic efficiency, implementation timeframe, integral indicator

References

1. Tsvetkov V. A., Dudin M. N., Yuryeva A. A. Strategic development of the Arctic Region in the context of great challenges and threats. *Ekonomika regiona*. 2020. Vol. 16, No. 3. pp. 680–695.
2. Piskun E. I., Khokhlov V. V. Economic development of the Russian Federation's regions : Factor-cluster analysis. *Ekonomika regiona*. 2019. Vol. 15, No. 2. pp. 363–376.

3. Novoselova I. Yu., Petrov I. V., Novoselov A. L. Arctic coal : Methodological issues of an integrated risk assessment. *Ugol*. 2020. No. 8. pp. 88–91.
4. Available at: <https://docs.cntd.ru/document/554150658> (accessed: 20.01.2023).
5. Carayannis E. G., Ilinova A., Cherepovitsyn A. The Future of energy and the case of the arctic offshore : Tthe role of strategic management. *Journal of Marine Science and Engineering*. 2021. Vol. 9, Iss. 2. 134. DOI: 10.3390/jmse9020134
6. Abbaspour M., Toutounchian S., Dana T., Abedi Z., Toutounchian S. Environmental parametric cost model in oil and gas EPC contracts. *Sustainability*. 2018. Vol. 10, Iss. 1. DOI: 10.3390/su10010195
7. Trubitsina O. P., Bashkin V. N. Geoenvironmental risks on the background geopolitical challenges for the oil and gas industry in the Arctic. *Problemy analiza riska*. 2019. Vol. 16, No. 4. pp. 12–23.
8. Meibodi A. E., Taklif A., Arbab H., Monji H. B. Investigating the Effects of contractual factors and arrangements on the optimum level of production in oil and gas projects: Evidence from the South Pars Phases 17 & 18. *Iranian Economic Review*. 2020. Vol. 24, Iss. 1. pp. 181–223.
9. Burkett V. Global climate change implications for coastal and offshore oil and gas development. *Energy Policy*. 2011. Vol. 39, Iss. 12. pp. 7719–7725.
10. Ansari E., Kaufmann R. K. The effect of oil and gas price and price volatility on rig activity in tight formations and OPEC strategy. *Nature Energy*. 2019. Vol. 4, No. 4. pp. 321–328.
11. Novoselova I. Yu., Novoselov A. L. Mechanism for factor analysis of oil fields cost. *Ekonomika. Nalogi. Pravo*. 2020. Vol. 13, No. 4. pp. 79–89.
12. Jun Wang, Dan Ding, Ou Liu, Ming Li. A synthetic method for knowledge management performance evaluation based on triangular fuzzy number and group support systems. *Applied Soft Computing*. 2016. Vol. 39. pp. 11–20.
13. Potravnaya E.V. Interaction between Business and Indigenous Peoples of the North: What does the population expect after the Norilsk accident? *ECO*. 2021. No. 7. pp. 19–39.
14. Novoselov A. L., Potravny I. M., Novoselova I. Yu., Chavez Ferreyra K. Ye. Formulación económica de proyectos de desarrollo ecológico sostenible, basados en la repatriación de capitales e intereses nacionales. *Espacios*. 2018. Vol. 39, No. 34. 20.
15. Novoselov A., Potravny I., Novoselova I., Gassiy V. Compensation fund as a tool for sustainable development of the Arctic indigenous communities. *Polar Science*. 2021. Vol. 28. 100609. DOI: 10.1016/j.polar.2020.100609

УДК 622.235

ПРИМЕНЕНИЕ СКВАЖИННЫХ ЗАРЯДОВ С КУМУЛЯТИВНЫМ ЭФФЕКТОМ НА КАРЬЕРЕ «ЁШЛИК-1» РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН

Ф. Я. УМАРОВ¹, директор филиала, проф., д-р техн. наук
Г. С. НУТФУЛЛОВ¹, начальник учебно-методического отдела, доцент, д-р техн. наук
И. Б. КАТАНОВ², проф., д-р техн. наук, noa-0025@yandex.ru
Ш. Б. КОБИЛОВ¹, ассистент

¹Алмалыкский филиал НИТУ МИСИС, Алмалык, Республика Узбекистан

²Кузбасский государственный технический университет им. Т. Ф. Горбачева, Кемерово, Россия

Введение

Одной из приоритетных отраслей народного хозяйства в Республике Узбекистан является горнорудная промышленность и, в частности, добыча руд цветных металлов. Рудные месторождения Республики Узбекистан в геологическом отношении весьма разнообразны и в основном имеют сложное строение.

В геологическом строении месторождений принимают участие осадочные, изверженные (магматические) и метаморфические горные породы. Месторождение Сары-Чеку представлено вулканогенными образованиями нижнего девона, которые подразделяются на три горизонта (снизу вверх): андезитовые порфириды, кварцевые порфиры и андезитодацитовые порфиры с коэффициентом крепости по шкале проф. М. М. Протодяконова до 14–15.

Горные породы осадочного происхождения представлены песчаниками и серыми серпентинизированными известняками; изверженные – кварцевыми порфирами, гранодиорит-порфирами, сиенит-диоритами; метаморфические – в основном вторичными кварцитами. Руды на месторождении прожилково-вкрапленные и приурочены к экзоконтактной зоне штоков гранодиорит-порфиров, прорывающей породы сиенитовой группы.

Структурно горные породы и руда имеют интенсивную сеть трещин, разбивающих массив на мелкие и крупные блоки. Плотность сульфидных руд составляет от 2,6 до 2,8 т/м³, а вскрышных пород – от 2,4 до 2,6 т/м³. В гидрогеологическом отношении месторождение можно считать обводненным, так как ниже отметки +700 м породы на карьере обводнены полностью, выше – частично, в основном за счет атмосферных осадков и фильтрации этих вод по трещинам. В целом обводненность пород карьера составляет 65–68 %.

Характеристика объекта исследований

Горнотехнические условия разработки месторождения карьером «Ёшлик-1» характеризуются следующими

Приведены сведения о горнотехнических условиях разработки рудного месторождения, на основании которых обоснована необходимость интенсификации процесса подготовки горной массы к выемке за счет повышения качества проработки подошвы уступа и его верхней площадки. Установлено, что сплошная конструкция скважинного заряда, используемая на карьере, предполагает завышенную величину забойки, что приводит к недостаточному качественному дроблению породы со стороны верхней площадки уступа и перебуру, уменьшение величины которого позволило бы снизить затраты на бурение. На основании положительного опыта применения шпуровых зарядов с кумулятивным эффектом предложена конструкция скважинного заряда с кумулятивными вставками из металлических и полиэтиленовых конусов, параметры которых обеспечивают повышение качества дробления горной массы. Приведены результаты верификации расчетных параметров скважинных зарядов в промышленных условиях, которые показывают возможность достижения поставленной цели с одновременным снижением затрат на буровзрывные работы.

Ключевые слова: горный массив, уступ, скважина, кумулятивный заряд, перебур, качество, эффективность, взрывчатое вещество, забойка

DOI: 10.17580/gzh.2023.12.11

показателями. Вскрышные работы ведут уступами высотой 15 м с углами откосов 70–80°, с подготовкой горной массы к выемке буровзрывным способом, который является наиболее важным звеном в общем технологическом комплексе процессов горного производства. От качества рыхления пород зависит эффективность последующего процесса добычи твердых полезных ископаемых. Основные параметры скважинных зарядов определяют расчетом на базе обоснованно принятых диаметра скважин и проектного удельного расхода взрывчатого вещества, соответствующих свойствам пород и горнотехническим условиям разработки. В качестве основного способа рыхления пород приняты вертикальные скважинные заряды. При расчете длины скважины предусматривают ее перебур ниже уровня подошвы уступа.

Известно, что перебур скважины необходим для повышения эффективности разрушения породы в подошве уступа на уровне линии сопротивления по подошве (ЛСП) с последующим сохранением высотной отметки нижней площадки уступа на заданном уровне. В среднем глубина перебура составляет около 30 % от общей длины заряда, или 12 диаметров скважины (d_c) [1]. На практике глубину перебура скважин можно увеличивать по сравнению с расчетной величиной в том случае, когда развал взорванной породы разрабатывают экскаватором относительно небольшой мощности. Поскольку предельная величина ЛСП зависит от глубины перебура (для слабых пород рекомендуется глубину перебура принимать равной

10 диаметрам заряда, а для трудновзрываемых пород – до 15 диаметров заряда [2, 3]), то ее следует определять по формуле [2]

$$W = 2l_{\text{пер}}/q_p, \quad (1)$$

где W – линия сопротивления по подошве, м; $l_{\text{пер}}$ – глубина перебура, м; q_p – расчетный расход ВВ, кг/м³.

Для вскрышных пород угольных и рудных месторождений длина перебура скважин может быть рассчитана в зависимости от диаметра скважины по долоту и крепости пород по шкале проф. М. М. Протодьяконова [4]:

$$l_{\text{пер}} = (0,6f + 3)d_d, \quad (2)$$

где f – коэффициент крепости пород по шкале проф. М. М. Протодьяконова, ед.; d_d – диаметр скважины по долоту, м.

На карьере «Ёшлик-1» в соответствии с типовым проектом буровзрывных работ (БВР) применяют следующие параметры скважинных зарядов:

Высота уступа, м	15
Глубина скважин, м	18
Глубина перебура, м	3
Диаметр скважин, м	0,25
Сетка взрывных скважин, м	8×8
Масса скважинного заряда, кг	720
Удельный расход ВВ, кг/м ³	0,71
Длина заряда в скважине, м	9
Длина забойки, м	9

Из этих данных следует, что глубина перебура составляет 33,3 % от длины скважинного заряда, или 12 диаметров скважины. Это соответствует рекомендуемым значениям [1]. В то же время длина забойки значительно превышает величину в 25–30 диаметров скважины, рекомендуемую [2, 3] для получения минимального развала породы после взрыва.

Эффективное развитие горнорудных отраслей невозможно без постоянного обновления и совершенствования производства на основе внедрения достижений научно-технического прогресса. Анализ методов и средств совершенствования взрывных технологий показал, что основное направление неразрывно связано с использованием современных положений теории физики разрушения, способствующих интенсификации детонационных процессов, происходящих при взрыве скважинных зарядов [5–11].

Методика исследований

Основываясь на анализе способов управления взрывным разрушением массива горных пород скважинными зарядами [12–15] и опыте применения зарядов, обеспечивающих повышение коэффициента использования шпура при помощи конусообразных вставок [16], предложено техническое решение по использованию кумулятивного эффекта в скважинном заряде [17], которое позволит повысить эффективность проработки

подошвы и уменьшить зону нерегулируемого дробления со стороны верхней площадки уступа.

Для определения параметров конструкции конусообразной вставки использованы уравнения механики сплошных сред и положения гидродинамической теории кумуляции заряда, которые позволили установить зависимость изменения угла схлопывания кумулятивной облицовки от высоты и радиуса конуса, начальной скорости и скорости самой кумулятивной струи, толщины облицовки и времени схлопывания [18, 19]:

$$\alpha = \arctg \left[\frac{r_c}{h_k} + \frac{V_H}{V_{KC} \cdot h_k} (V_H t + h_{об} - r_c) \right], \quad (3)$$

где r_c – радиус действия скважинного заряда, мм; h_k – высота кумулятивной облицовки (конуса), мм; V_H – начальная скорость кумулятивной струи, км/с; V_{KC} – скорость кумулятивной струи, км/с; t – время схлопывания, мс; $h_{об}$ – толщины облицовки, мм.

Радиус действия скважинного заряда определяется как

$$r_c = 2 \sqrt{\frac{m_{ВВ}}{l_{\text{пр}} \rho_c}}, \quad (4)$$

где $m_{ВВ}$ – масса ВВ в скважинном заряде с кумулятивным эффектом, кг; $l_{\text{пр}}$ – глубина разрушения породы кумулятивной струей, м; ρ_c – плотность струи, кг/м³.

Скорость кумулятивной струи можно определить по выражению

$$V_{KC} = \frac{U}{\text{ctg} \left(\frac{\alpha}{2} \right)}, \quad (5)$$

где U – скорость метания или обжатия материала кумулятивной струи, км/с.

Высоту кумулятивной облицовки определяют по формуле

$$h_k = \frac{d_k}{2 \text{tg} \left(\frac{\alpha}{2} \right)}, \quad (6)$$

где d_k – диаметр конуса, мм; α – угол между стенками облицовки, градус.

Время схлопывания кумулятивной струи равно

$$t = h_k / D, \quad (7)$$

где D – скорость детонации заряда ВВ, м/с.

При использовании конусообразных облицовок оптимальное фокусное расстояние F кумулятивной струи от заряда до преграды составляет $(2 \div 3)d_k$, а глубина разрушения породы кумулятивной струей $(6 \div 8)d_k$.

Результаты исследований

Таким образом, расчеты по приведенной выше методике показывают, что при диаметре скважины 0,25 м диаметр кумулятивной облицовки должен составлять 0,220–0,235 м; угол между образующими стенок облицовки 50–70°; расчетная

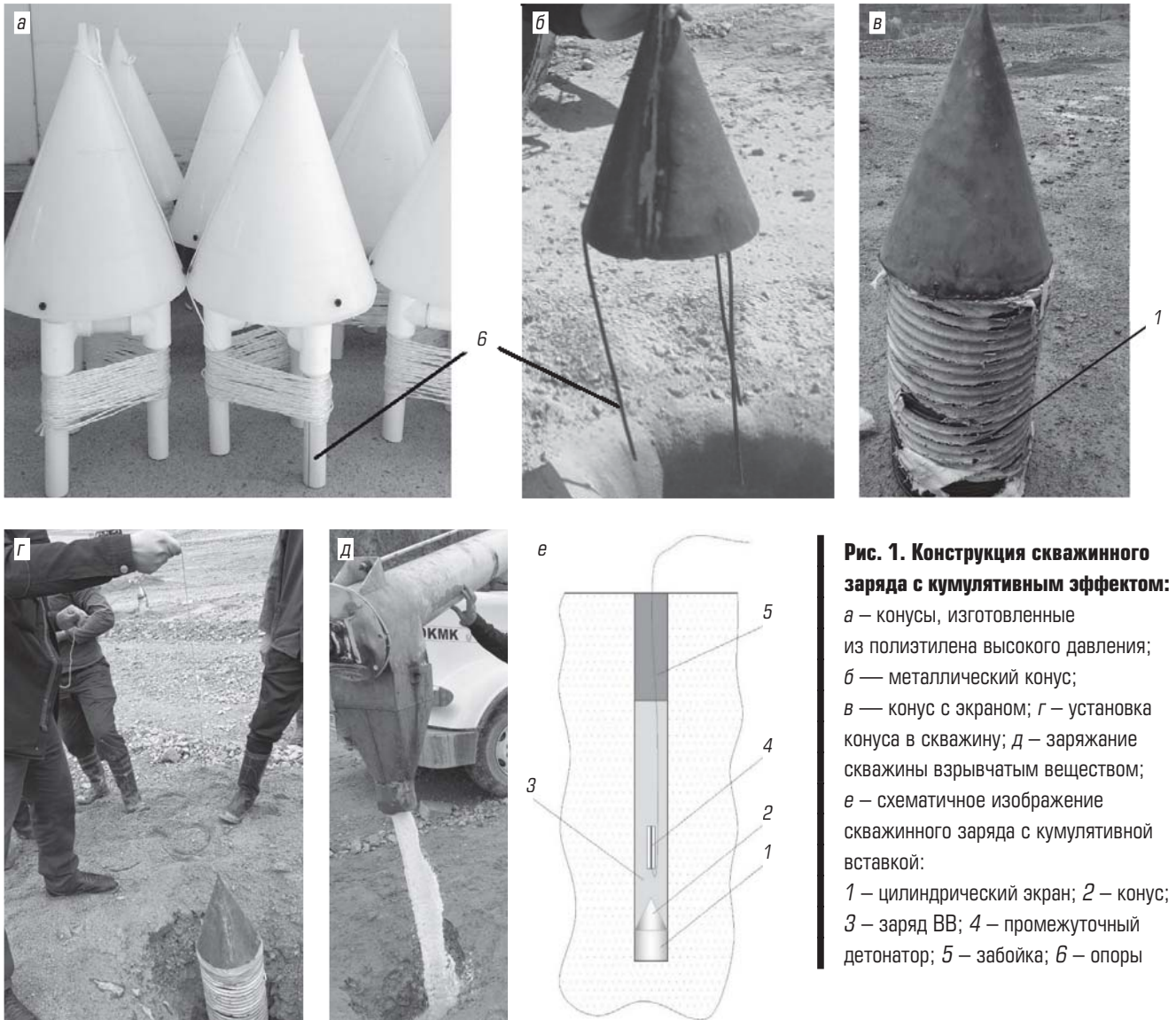


Рис. 1. Конструкция скважинного заряда с кумулятивным эффектом:

а — конусы, изготовленные из полиэтилена высокого давления; *б* — металлический конус; *в* — конус с экраном; *г* — установка конуса в скважину; *д* — зарядание скважины взрывчатым веществом; *е* — схематичное изображение скважинного заряда с кумулятивной вставкой:
 1 — цилиндрический экран; 2 — конус; 3 — заряд ВВ; 4 — промежуточный детонатор; 5 — забойка; 6 — опоры

высота кумулятивной облицовки 0,210–0,280 м; фокусное расстояние 0,430–0,645 м; глубина разрушения породы кумулятивной струей 1,3–1,7 м.

Промышленные испытания технологии зарядания взрывных скважин кумулятивными зарядами проводили на карьере «Ёшлик-1» АО «Алмалыкский горно-металлургический комбинат». По результатам экспериментальных взрывов проведена верификация расчетных параметров конструкции скважинного заряда с кумулятивным эффектом, обеспечивающим интенсификацию процесса дробления горных пород и сокращение объемов бурения.

Используя аналитические зависимости и результаты многочисленных экспериментальных данных, рекомендована конструкция скважинного заряда с кумулятивной выемкой, создаваемой инертной облицовкой, устанавливаемой в пределах фокусного расстояния от торца скважины (рис. 1). Перед

опусканием в скважину на опоры 6, прикрепленные к конусам и обеспечивающие фокусное расстояние, устанавливали цилиндрические экраны 1, предотвращающие попадание ВВ 3 внутрь кумулятивных воронок 2.

Для проведения испытаний был выделен участок породного массива с коэффициентом крепости по шкале проф. М. М. Протодеяконова $f = 10 \div 14$. На горизонте 710–695 м подготовлен экспериментальный взрывной блок № 10. Бурение скважин диаметром 250 мм осуществляли буровым станком СБШ-250МН. Расстояние между скважинами в ряду составляло 8 м, между рядами скважин 8 м. В качестве ВВ для зарядания скважин использовали ВВ «Эмульгит» марки ЭМ-30 (см. рис. 1, д). Поверхностную взрывную сеть монтировали с помощью неэлектрической системы инициирования «Искра-П» с замедлениями в магистральном ряду 167 мс и в поперечных рядах 109 мс.

Гранулометрический состав взорванных горных пород на карьере «Ёшлик-1» при сравнимых конструкциях скважинных зарядов

Линейный размер фракций, мм	Содержание фракций, %, в зависимости от конструкции заряда		
	Базовая	С металлическим конусом	С полиэтиленовым конусом
0–300	21,1	41,1	36,1
301–400	11,1	31,2	31,2
401–500	10,3	17	17
501–600	11,9	7,2	7,2
601–700	11,4	1,9	3,9
701–800	6,2	0,9	1,1
801–900	7,1	0,5	1,5
901–1000	10,7	–	1,2
1000 и более	10,2	–	0,8

Опытные взрывы № 1 7.04.2023 г. и № 2 12.05.2023 г.

Часть блока для осуществления взрыва № 1 состояла из 33 скважин, а часть блока для взрыва № 2 – из 27 скважин глубиной 16,5 м с уменьшением перебура на 1,5 м по сравнению с базовым вариантом (перебур 3 м), где глубина скважин составляла 18 м (см. таблицу). Масса заряда для каждой скважины 640 кг с удельным расходом ВВ 0,70 кг/м³ (в базовом варианте 720 кг и 0,71 кг/м³ соответственно).

При формировании конструкции скважинного заряда ВВ с кумулятивным эффектом были применены металлические конусы (см. рис. 1, б, в), изготовленные из стали толщиной 2 мм. Диаметр основания каждого конуса был на 15 мм меньше диаметра скважины. Конструкция заряда была принята сплошной с обратным инициированием (см. рис. 1, е).

В процессе заряжания скважины в ней размещали конус (см. рис. 1, г), затем заливали ВВ (см. рис. 1, д) с одновременной установкой промежуточного детонатора. Иницирование скважинного заряда осуществляли от промежуточного детонатора из ВВ марки «Алманит» диаметром 90 мм и массой 2 кг с подсоединенным к нему замедлителем «Искра-С(500)» (рис. 2).

При проведении опытного взрыва № 1 7.04.2023 г. была взорвана горная масса в объеме 34848 м³, а № 2 12.05.2023 г. 25920 м³ соответственно.

Опытный взрыв № 3 23.06.2023 г.

Третья часть блока горной массы объемом 31680 м³ была обурена 30 скважинами глубиной 16,5 м с уменьшением перебура на 1,5 м по сравнению с базовым вариантом, где глубина скважины составляла 18 м (см. таблицу).

Для создания конструкции скважинного заряда ВВ с кумулятивным эффектом были применены конусы (см. рис. 1, а), изготовленные из полиэтилена высокого давления со стенкой

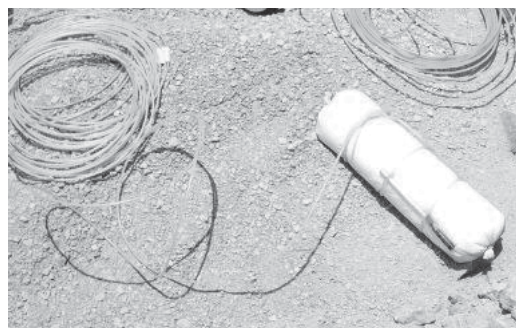


Рис. 2. Промежуточный детонатор

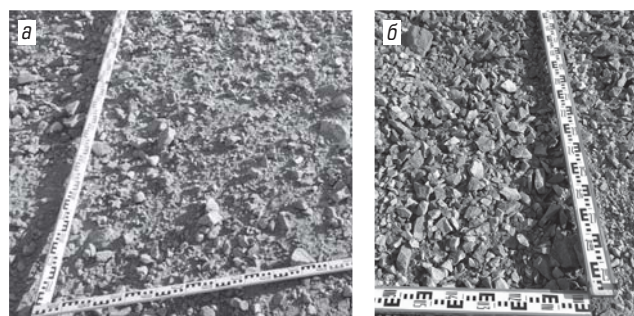


Рис. 3. Фрагменты поверхности развала после взрывания скважинных зарядов с кумулятивным эффектом, обеспеченным стальным конусом (а) и при базовом варианте (б)

толщиной 2 мм. Диаметр каждого конуса был равен 235 мм, что на 15 мм меньше диаметра скважины.

В качестве основных факторов, определяющих эффективность предлагаемого способа взрывания по отношению к базовому варианту, были приняты гранулометрический состав взорванной горной массы и качество проработки подошвы уступа.

Гранулометрический состав взорванной горной массы, определенный по данным маркшейдерских съемок, показал, что применение конструкции скважинного заряда ВВ с кумулятивным эффектом позволило достичь снижения размеров кусков взорванной горной массы в среднем на 3–5 % (рис. 3).

Несмотря на уменьшение перебура скважины на 1,5 м обеспечена качественная проработка подошвы уступа без образования порогов.


Заключение

При сравнении экономических показателей базового и нового вариантов технологии взрывного разрушения вскрышных пород учитывали дополнительные затраты, обусловленные изготовлением конусных вставок из металла и полиэтилена высокого давления, а также снижение затрат при уменьшении величины скважинного заряда на 80 кг и бурении укороченных на 1,5 м скважин. Экономические показатели, определяющие

элементы затрат на буровой инструмент, электроэнергию, зарплату, амортизацию и другие расходные материалы, получены из Кальмакырского рудоуправления. В результате стоимость

скважинного заряда снижена на 2468 руб., что позволило только за период применения предлагаемой технологии получить экономический эффект в сумме 222 тыс. руб.

Библиографический список

1. Эткин М. Б., Азаркович А. Е. Взрывные работы в энергетическом и промышленном строительстве : научно-практическое руководство. – М. : Изд-во МГГУ, 2004. – 317 с.
2. Белин В. А., Кутузов Б. Н., Ганопольский М. И. и др. Технология и безопасность взрывных работ. – М. : Горное дело, ООО «Киммерийский центр», 2016. – 424 с.
3. Репин Н. Я., Артемьев В. Б., Репин Л. Я. и др. Технологические процессы при открытой добыче угля. – М. : Горное дело, ООО «Киммерийский центр», 2015. – 560 с.
4. Катанов И. Б., Сысоев А. А. Буровзрывные работы на карьерах. – Кемерово : Кузбассвузиздат, 2019. – 203 с.
5. Мосинец В. Н. Дробящее и сейсмическое действие взрыва в горных породах. – М. : Недра, 1976. – 271 с.
6. Мосинец В. Н., Абрамов А. В. Разрушение трещиноватых и нарушенных горных пород. – М. : Недра, 1982. – 248 с.
7. Кутузов Б. Н. Методы ведения взрывных работ. Ч. 1. Разрушение горных пород взрывом : учебник для вузов. – М. : Горная книга, 2007. С. 436–437.
8. Dam T. T., Bui X.-N., Nguyen T. T., To D. T. Study on the Reasonable Parameters of the Concentric Hemisphere-Style Shaped Charge for Destroying Rock // Proceedings of the International Conference on Innovations for Sustainable and Responsible Mining. Series: Lecture Notes in Civil Engineering. Vol. 109. Cham : Springer International Publishing. 2020. Vol. 1. P. 45–68.
9. Shamganova L. S., Syedina S. A., Berdinova N. O. Geomechanical substantiation of the northeastern pit wall stability in Kurzhunkul mine // Eurasian Mining. 2021. No. 1. P. 30–33.
10. Tyupin V. N. Geomechanical behavior of jointed rock mass in the large-scale blast impact zone // Eurasian Mining. 2020. No. 2. P. 11–14.
11. Kalmykov V. N., Strukov K. I., Kulsaitov R. V., Esina E. N. Geomechanical features of underground mining at Kochkar deposit // Eurasian Mining. 2017. No. 2. P. 12–15.
12. Умаров Ф. Я., Нутфуллоев Г. С., Катанов И. Б., Кобилев Ш. Б. Анализ способов управления взрывным разрушением массива горных пород скважинными зарядами // Горный вестник Узбекистана. 2023. № 3(94). С. 19–22.
13. Бибик И. П., Рахманов Р. А., Ивановский Д. С. Повышение эффективности взрывного рыхления разнопрочных массивов при разработке Джерой-Сардаринского месторождения фосфоритов // Горный журнал. Цветные металлы. Специальный выпуск. 2008. № 8. С. 49–51.
14. Норов Ю. Д. и др. Способ дробления массива разнопрочных горных пород щелевыми зарядами взрывчатых веществ с использованием кумулятивного эффекта // Горный вестник Узбекистана. 2013. № 3. С. 25–29.
15. Пеев А. М., Воробьев А. В. Влияние расположения инициаторов в скважине на проработку подошвы уступа и дробление горного массива // Социально-экономические и экологические проблемы горной промышленности, строительства и энергетики : сб. науч. тр. 9-й Междунар. конф. по проблемам горной промышленности, строительства и энергетики. Т. 1 / под общ. ред. А. Б. Копылова, И. А. Басалай. – Минск : БНТУ, 2013. С. 112–115.
16. Умаров Ф. Я., Нутфуллоев Г. С., Назаров З. С., Шарипов Л. О. Повышение эффективности проходки подземных горных выработок с использованием шпуровых зарядов с кумулятивным эффектом // Горный вестник Узбекистана. 2019. № 1. С. 82–85.
17. Норов Ю. Д. и др. Конструкция скважинного заряда взрывчатых веществ с кумулятивным эффектом // Известия вузов. Горный журнал. 2017. № 7. С. 70–77.
18. Лаврентьев М. А. Кумулятивный заряд и принцип его работы // Успехи математических наук. 1987. Т. 12. Вып. 4. С. 12–16.
19. Бунин Ж. В., Норов Ю. Д., Нутфуллоев Г. С., Заиров Ш. Ш. Определение глубины разрушения крепкого пропластка в массиве разнопрочных горных пород зарядом взрывчатых веществ с кумулятивным эффектом // Взрывное дело. 2015. № 113/70. С. 133–141. 

«GORNYI ZHURNAL», 2023, № 12, pp. 69–74
DOI: 10.17580/gzh.2023.12.11

The use of shaped charges at Eshlik-I open pit mine in the Republic of Uzbekistan

Information about authors

F. Ya. Umarov¹, Director of Division, Professor, Doctor of Engineering Sciences

G. S. Nutfulloev¹, Head of Training and Guidance Department, Associate Professor, Doctor of Engineering Science

I. B. Katanov², Professor, Doctor of Engineering Sciences, noa-0025@yandex.ru

Sh. B. Kobilov¹, Assistant

¹NUST MISIS' Division in Almalyk, Almalyk, Republic of Uzbekistan

²Gorbachev Kuzbass State Technical University, Kemerovo, Russia

Abstract

Ore deposits in the Republic of Uzbekistan feature an extremely various geology and mostly a complex structure. The Sary-Cheku deposit which is developed by Eshlik-I open pit mine is composed mostly of volcanic formations, which dictates mining with drilling and blasting. The authors provide a substantiation for the drilling-and-blasting intensification by the improvement of quality of blasting at the bench bottom and top. Based on the positive experience of the use of shaped charges, a new design of a shaped charge is proposed, with metallic and polyethylene conical liners which ensure the improved quality of rock fragmentation by blasting. The verification results of the design parameters of the shaped charges on an industrial scale demonstrate possibility to reduce the cost of drilling and blasting.

Keywords: rock mass, bench, borehole, shaped charge, overdrill, quality, efficiency, explosive, stemming

References

1. Etkin M. V., Azarkovich A. E. Blasting in power generation and industrial construction : Tutorial. Moscow : Izdatelstvo MGGU, 2004. 317 p.
2. Belin V. A., Kutuzov B. N., Ganopolskiy M. I., Overchenko M. N. Blasting technology and safety. Series: Mining Engineer's library. Moscow : Gornoe delo LLC Kimmeriyskiy tsentr, 2016. Vol. 10. Blasting. Book 2. 423 p.
3. Repin N. Ya., Artemev V. B., Repin L. N., Orpanasenko P. I. Process flows in open pit coal mining. Series: Mining Engineer's Library. Moscow : Gornoe delo, Kimmeriyskiy Tsentr, 2015. Vol. 4. Open pit mining. Book 6. 560 p.
4. Katanov I. B., Sysoev A. A. Drilling and blasting in open pit mines : Tutorial. Kemerovo : KuzGTU, 2019. 200 p.
5. Mosinets V. N. Crushing and seismic action of blast in rocks. Moscow : Nedra, 1976. 271 p.
6. Mosinets V. N., Abramov A. V. Destruction of fissured and disturbed rocks. Moscow : Nedra, 1982. 248 p.
7. Kutuzov B. N. Methods of blasting operations : Textbook. 3rd ed. Moscow : Gornaya Kniga, 2018. Vol. 1. Blast destruction of rocks. 476 p.
8. Dam T. T., Bui X.-N., Nguyen T. T., To D. T. Study on the reasonable parameters of the concentric hemisphere-style shaped charge for destroying rock. Proceedings of the International Conference on Innovations for Sustainable and Responsible Mining. Series: Lecture Notes in Civil Engineering. Vol. 109. Cham : Springer International Publishing, 2020. Vol. 1. pp. 45–68.

9. Shamganova L. S., Syedina S. A., Berdinova N. O. Geomechanical substantiation of the northeastern pit wall stability in Kurzunkul mine. *Eurasian Mining*. 2021. No. 1. pp. 30–33.
10. Tyupin V. N. Geomechanical behavior of jointed rock mass in the large-scale blast impact zone. *Eurasian Mining*. 2020. No. 2. pp. 11–14.
11. Kalmykov V. N., Strukov K. I., Kulsaitov R. V., Esina E. N. Geomechanical features of underground mining at Kochkar deposit. *Eurasian Mining*. 2017. No. 2. pp. 12–15.
12. Umarov F. Ya., Nutfulloev G. S., Katanov I. B., Kobilov Sh. B. Methods to control rock fracturing by blasting. *Gornyi vestnik Uzbekistana*. 2023. No. 3(94). pp. 19–21.
13. Bibik I. P., Rakhmanov R. A., Ivanovskiy D. S. Improvement of blasting-induced loosening in different-strength rock mass of Dzheroi–Sardar phosphorites. *Tsvetnye Metally*. 2008. No. 8. pp. 49–51.
14. Norov Yu. D., Zairov Sh. Sh., Nutfullayev G. S., Abdullaev Zh. Ya., Saidakhmedov Zh. A. Method of rock fragmentation by blasting of shaped charges. *Gornyi vestnik Uzbekistana*. 2013. No. 3. pp. 25–29.
15. Peev A. M., Vorobev A. V. Influence of arrangement of primers in borehole on bench bottom softening and crushing efficiency. *Ecological, Social and Economic Problems in Mining Construction and Power Engineering : Proceedings of the 9th International Conference*. Minsk : BNTU, 2013. Vol. 1. pp. 112–115.
16. Nutfullayev G. S., Umarov F. Ya., Nazarov Z. S., Sharipov L. O. Improvement of heading efficiency with blasting of shaped charges in mines. *Gornyi vestnik Uzbekistana*. 2019. No. 1. pp. 82–85.
17. Norov Yu. D., Zairov Sh. Sh., Nutfulloev G. S., Tadzhiyev Sh. T., Ravshanova M. Kh. Construction of a deep-hole charge of explosives with cumulative effect. *Izvestiya vuzov. Gorniy zhurnal*. 2017. No. 7. pp. 70–77.18. Lavrentev M. A. Shaped charge structure and operation. *Russian Mathematical Surveys*. 1957. Vol. 12, Iss. 4(76). pp. 41–56.
19. Bunin Zh. V., Norov Yu. D., Nutfullayev G. S., Zairov Sh. Sh. Determination of depth of destruction of strong proplastk in the different durability array of rocks the charge of explosives with cumulative effect. *Vzryvnoe delo*. 2015. No. 113/70. pp. 133–141.

РЕПИНУ НИКОЛАЮ ЯКОВЛЕВИЧУ – 95 ЛЕТ



Исполнилось 95 лет Николаю Яковлевичу Репину – известному ученому в области открытых горных работ, профессору, доктору технических наук.

После окончания в 1954 г. Московского горного института Н. Я. Репин поступил в аспирантуру. В период обучения он впервые в СССР провел опытно-промышленные исследования шарошечного бурения взрывных скважин на карьерах. После защиты кандидатской диссертации Николай Яковлевич длительное время работал в Кемеровском горном институте (ныне КГТУ), заведовал кафедрой открытых горных работ. Здесь им было создано научное направление по взрывной подготовке к выемке горных пород на угольных разрезах. Выполненные под его руководством исследования внесли значительный вклад в совершенствование технологии открытой добычи угля в Кузбассе. За годы работы на кафедре ему удалось существенно усовершенствовать учебный процесс, хорошо оснастить учебные аудитории, что позволило заметно поднять качество подготовки горных инженеров. Под его руководством кафедра стала самой крупной из всех других кафедр открытых работ в вузах страны. Ее выпускники до сих пор занимают в Кузбассе основную часть руководящих постов на горных предприятиях.

В 1976 г. Н. Я. Репин был приглашен в Курский политехнический институт, где создал кафедру горного дела и организовал подготовку горных инженеров для горно-обогатительных предприятий КМА. Под его руководством на базе Михайловского ГОКа выполнен комплекс исследований по изучению взрывной рудоподготовки железистых кварцитов в целях повышения эффективности добычи и обогащения железных руд. Исследования в этом направлении Николай Яковлевич продолжил позднее на кафедре открытых горных работ Московского горного института (позднее – МГГУ), куда он в 1981 г. перешел по приглашению акад. В. В. Ржевского.

В течение последних лет работы в МГГУ Николай Яковлевич усердно трудился над созданием и совершенствованием учебных пособий и учебника по открытым горным работам. Завершить эту работу ему удалось уже после выхода на пенсию. И в 2015–2016 гг. в свет выходят учебник «Процессы открытых горных работ» для студентов вузов и учебное пособие «Технологические процессы при открытой добыче угля», предназначенное для повышения квалификации инженерно-технических работников угольных разрезов, научно-исследовательских и проектных организаций.

В последующие годы Николай Яковлевич работал во ВНИИ комплексных топливно-энергетических проблем при Госплане СССР (позднее – Институт микроэкономики) на руководящих должностях, совмещая научную работу с преподавательской деятельностью в МГГУ. Затем он перешел на штатную должность профессора кафедры открытых горных работ университета.

Н. Я. Репин автор более 180 научных трудов, в том числе 12 монографий и учебных пособий.

За заслуги в области подготовки горных инженеров и научных кадров высшей квалификации Н. Я. Репину присвоено звание Почетного работника высшего профессионального образования РФ.

После выхода на пенсию Николай Яковлевич собрал обширный материал по истории села Ославское, где он родился, и его жителей, и в 2020 г. выпустил книгу «Вспоминая мою малую Родину», которая стала знаковым событием в жизни Суздальского района. Теперь в его планах – продолжение этой работы.

Горнотехническая общественность поздравляет Николая Яковлевича Репина с юбилеем и желает ему доброго здоровья и дальнейших творческих успехов.

Редакционная коллегия и редакция «Горного журнала»

УДК 622.7

ПРИМЕНЕНИЕ МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ СОБИРАТЕЛЕЙ И ВЫБОР ТЕМПЕРАТУРНЫХ РЕЖИМОВ В ПЕННОЙ СЕПАРАЦИИ АЛМАЗОСОДЕРЖАЩИХ КИМБЕРЛИТОВ

Е. Г. КОВАЛЕНКО, главный инженер, канд. техн. наук, kovalenkoeg@gmail.ru

А. Л. БАБУШКИНА, зав сектором

В. А. ЧУТЬ-ДЫ, ведущий инженер-технолог

Институт «Якутнипроалмаз», Мирный, Россия

Введение

Одним из перспективных направлений повышения выпуска алмазов мелких классов на предприятиях АК «АЛРОСА» является интенсификация и оптимизация процессов флотации и пенной сепарации. В мелких классах концентрируется до 40–45 % общего количества алмазов в руде, что составляет около 15 % от стоимости товарной продукции. При этом потери алмазов достигают 20 %. В 2021 г. основной рост производства алмазов был достигнут за счет внедрения технологии пенной сепарации на обогатительной фабрике № 14 Айхальского ГОКа. С процессами пенной сепарации связаны и дальнейшие перспективы увеличения производства алмазов на предприятиях АК «АЛРОСА».

Снижение потерь трудноизвлекаемых алмазов достигается путем повышения их флотуемости за счет комплексного решения задач удаления гидрофилизирующих покрытий, разработки и применения адгезионно-активных, устойчиво закрепляющихся собирателей и выбора оптимального реагентного и температурного режима в процессах подготовки исходного питания, пенной сепарации и кондиционирования оборотной воды [1, 2]. Условием эффективности процесса пенной сепарации является повышение собирательной способности реагентов путем оптимизации их фракционного состава и регулирования температуры среды [3, 4]. Одним из перспективных направлений при выборе состава многокомпонентных собирателей является разбавление мазутов средне- и низкомолекулярными фракциями продуктов нефтепереработки [5]. В данной работе был выбран подход, заключающийся в максимальном переводе асфальтеносмолистых фракций мазутов в растворенное и тонкодисперсное состояние, в том числе с получением коллоидных растворов с высокой адгезионной активностью, эффективно закрепляющихся на алмазах и обеспечивающих их гидрофобизацию и флотацию [6]. Поставленная цель достигнута за счет оптимизации фракционного состава многокомпонентных собирателей и выбора температурных режимов, обеспечивающих требуемые изменения его фазового состава. Поставленные задачи были решены в результате определения физико-химических характеристик

Установлены закономерности изменения фазового состава собирателя, получаемого при смешивании мазута со средне- и низкомолекулярными нефтепродуктами и легкой нефтью.

Показано, что применение компаундных собирателей на основе мазута Ф-5 обеспечивает повышение извлечения алмазов на 2,5–5% при высокой селективности процесса. Выбран оптимальный температурный режим процесса пенной сепарации алмазов мелких классов.

Ключевые слова: алмазы, кимберлиты, собиратель, фракционный состав, кондиционирование, тепловая обработка, адгезия, флотация, пенная сепарация

DOI: 10.17580/gzh.2023.12.12

взаимодействия алмазов и минералов кимберлита с мазутом различного состава и установления собирательной способности многокомпонентных собирателей при варьировании температуры среды в операциях реагентного кондиционирования и непосредственно в технологическом процессе пенной сепарации.

Методики исследований

Анализ фракционного состава мазутов и нефти проводили с применением стандартных методик по ГОСТ Р 57036–2016. Исследование фазового состава и структуры применяемых в качестве собирателя нефтепродуктов осуществляли методом комбинированной оптической микроскопии в ультрафиолетовом и видимом диапазоне света [7]. Снимки тонкого слоя нефтепродуктов получали на микроскопе Микромед-3-ЛЮМ. Визиометрический анализ и построение гранулометрических характеристик зерен асфальтеносмолистых фракций выполняли с использованием программного пакета ВидеоТест 4.0 [8].

При проведении исследований применяли методику измерения краевых углов смачивания капли собирателя на алмазах или минералах с использованием прибора ОСА15ЕС [9]. Для проверки собирательных свойств исследуемых нефтепродуктов и их смесей использовали установку беспенной флотации – трубку Халлимонда [10]. Подготовка алмазов для экспериментальных исследований включала химическую очистку их поверхности, которая заключалась в отмывке в четыреххлористом углероде, спирте, дистиллированной воде и обработке в концентрированном растворе соляной кислоты.

Для исследований на пробах алмазосодержащих кимберлитов применяли лабораторный пенный сепаратор. Полупромышленные тесты на наилучших собирателях в выбранных

температурных режимах проводили на установке пенной сепарации ЛФМ-001С в институте «Якутнипроалмаз» с использованием промышленной оборотной воды [11]. Промышленную апробацию разработанных реагентных режимов процесса пенной сепарации проводили в отделении пенной сепарации обогатительной фабрики № 14 Айхальского ГОКа.

Основные результаты и их обсуждение

Применяемые в качестве реагентов-собирателей при флотации и пенной сепарации нефтепродукты характеризуются сложной структурой, включающей кристаллические и коллоидные фазы высокомолекулярных компонентов (смол и асфальтенов), распределенные в жидкой среде, представляющей собой смесь средне- и низкомолекулярных фракций [12, 13]. Распределение высокомолекулярных углеводородов по кристаллической, коллоидной и растворенной формам определяется компонентным и фракционным составом (соотношением низко-, средне- и высокомолекулярных фракций), а также температурой среды [14, 15].

Исследования структуры нефтепродуктов, проведенные с применением метода комбинированной оптической микроскопии и визиометрического анализа с использованием программного пакета ВидеоТест 4.0, показали, что добавление фракций нефтяных масел и легких дистиллятов в мазут приводит к уменьшению количества крупных кристаллов или агломератов асфальтенов и смол за счет их перехода в коллоидную форму и последующее растворение.

При увеличении удельного веса дизельной технической фракции в смеси с мазутом Ф-5 до 30 % доля асфальтеносмолистых фракций с размером частиц более 0,1 мкм (отчетливо фиксируемых применяемым методом анализа) в полученном продукте уменьшается с 25 до 4,5 % и характеризуется преобладанием зерен субмикронной крупности (рис. 1).

В качестве источника низкомолекулярных фракций могут быть использованы добавки легкой нефти [16, 17]. Требуемое изменение фазового состава мазутов, заключающееся в переводе асфальтеносмолистой фракции в форму истинного и коллоидного раствора, было достигнуто добавлением маччобинской нефти. При смешивании мазута и нефти происходит растворение асфальтеносмолистой и парафиновой фракций, о чем свидетельствует снижение объемных концентраций твердой фазы данных фракций относительно значений, рассчитываемых как средневзвешенные после операции смешивания.

Температура среды является важным фактором, определяющим фазовый состав и структуру нефтепродуктов [12, 14]. Анализ влияния температуры на структуру мазута Ф-5 показал, что при отрицательных температурах в нем выкристаллизуются фазы смол, асфальтенов, парафинов и формируются капли низкомолекулярных фракций нефти. При нагревании мазута Ф-5 до температуры 10 °С кристаллы асфальтенов и парафинов в основном сохраняются. При нагреве до 24 °С оптически различаемые образования парафинов практически исчезают в результате их растворения. При дальнейшем нагреве до

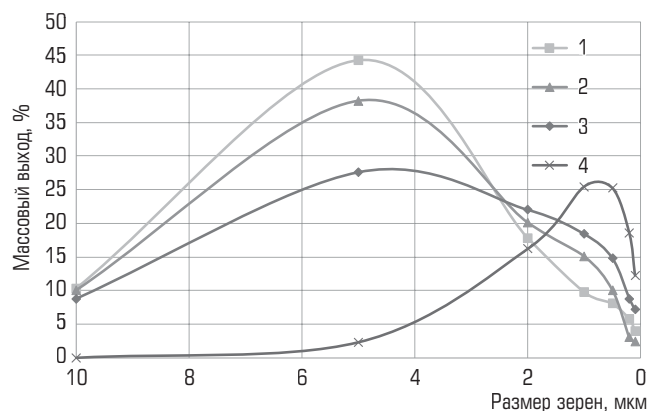


Рис. 1. Массовое распределение твердой фазы асфальтеносмолистой фракции по классам крупности при визиометрическом анализе флотского мазута Ф-5:
1 – до разбавления дизельной технической фракцией (ДТФ); 2, 3, 4 – после разбавления на 10, 20 и 30 % соответственно

50 °С парафиновые образования не обнаруживаются, и количество смол и асфальтенов в твердой форме снижается с 28,1 до 20,2 %, что означает пропорциональное увеличение массовой доли фракции в форме коллоидного и истинного раствора.

Для оценки склонности собирателя к закреплению на поверхности алмазов использовали адаптированную методику измерения краевых углов смачивания капли собирателя на алмазах или минералах с использованием прибора ОСА15ЕС [9]. Особенностью методики являлось формирование трехфазного периметра смачивания в системе «алмаз – аполярный собиратель – водная фаза» при закреплении капли собирателя на поверхности алмаза, погруженного в водную среду [6]. Принятая методика включала операции выдерживания поверхности алмаза в водной фазе, контакт с каплей собирателя и удаление избытка собирателя с поверхности в результате его всплывания при повышении уровня водной фазы в кювете. Капля собирателя хорошо идентифицируется на поверхности кристалла алмаза и гидрофобных минералов (рис. 2, а). На поверхности кимберлита в большинстве случаев происходит отрыв капли, и мазут закрепляется лишь на отдельных участках поверхности, которые представлены включениями природно гидрофобных минералов (см. рис. 2, б).

Гидрофобные минералы имеют небольшое распространение в слабоизмененных кимберлитах (не более 1 %) [18]. Однако изучение их флотиремости важно при оценке влияния рассматриваемых факторов на результаты флотации алмазов из кимберлитов с существенными постмагматическими изменениями [19].

Результаты измерений краевого угла в данных условиях в максимальной степени характеризовали склонность аполярного собирателя к капельному (адгезионному) закреплению на поверхности алмаза или минералах кимберлита.

Изменение структуры и фазового состава собирателя при его разбавлении низко- и среднемолекулярными фракциями

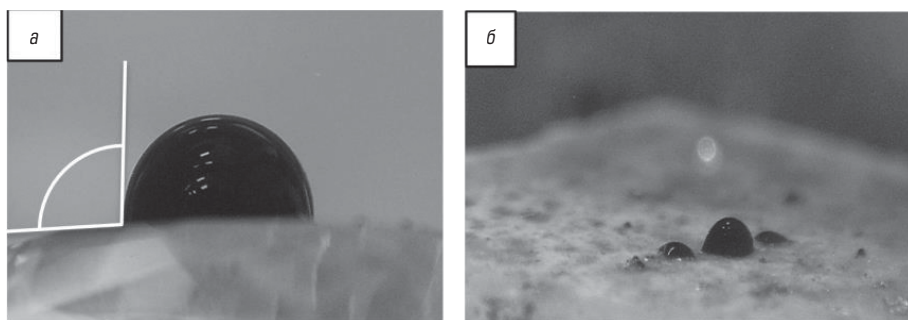


Рис. 2. Закрепление мазута Ф-5 на поверхности алмаза (а) и кимберлита (б)

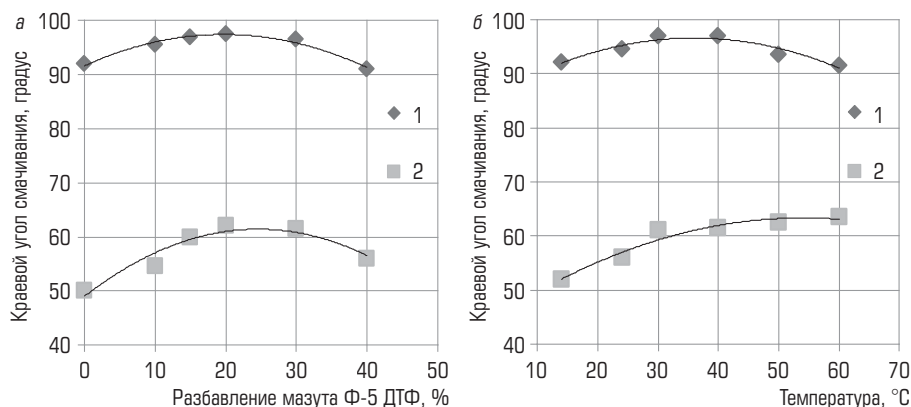


Рис. 3. Изменение краевого угла смачивания капель собирателя поверхности алмазов и флогопита в водной среде в зависимости от степени разбавления мазута дизельной технической фракцией (а) и от температуры (б): 1 – алмаз; 2 – флогопит

приводит к изменению эффективности закрепления капель собирателя на поверхности алмазов и гидрофобных минералов кимберлита, например флогопита. Как видно из **рис. 3**, при разбавлении мазута 20 и 30%-ной дизельной технической фракцией (ДТФ) достигается рост краевого угла смачивания на 7–9°, свидетельствующий о более прочном закреплении капель собирателя на поверхности алмазов и гидрофобных минералов кимберлита.

Характерно, что большее разбавление мазута (увеличение доли ДТФ в смеси более чем на 30 %) ведет к снижению краевого угла смачивания на контакте «алмаз – капля мазута – водная фаза». Полученные результаты позволяют предположить, что ограниченное разбавление мазута Ф-5 дизельной технической фракцией (на 20–30 %) будет положительным фактором, способствующим лучшему закреплению собирателя на поверхности алмазов.

Оценка влияния температуры среды на взаимодействие мазута с поверхностью алмаза в водной среде показала, что краевой угол смачивания, характеризующий гидрофобность алмаза и склонность его к взаимодействию с собирателем, плавно увеличивается в интервале температур 14–40 °С (см. рис. 3, б). Дальнейшее повышение температуры снижает эффективность взаимодействия алмаза с собирателем. Аналогичный характер зависимости краевого угла смачивания от температуры характерен и для флогопита.

Повышение температуры снижает эффективность взаимодействия гидрофильных минералов кимберлита (оливина, серицита, кальцита и др.) с собирателем вплоть до прекращения удерживания капли на поверхности минералов при температуре 30 °С

и более. Анализ полученных результатов дает основания предположить, что оптимальный температурный режим операции кондиционирования с собирателем может быть достигнут при температуре 30–40 °С, когда обеспечивается максимальная гидрофобизация обработанных собирателем алмазов, и не происходит существенного роста гидрофобности минералов кимберлита.

Результаты измерений эффективности взаимодействия собирателя с поверхностью алмаза совпадают с результатами опытов по беспенной флотации, проведенных в трубке Халлимонда. Результаты флотационных исследований показали повышение флотуемости алмазов при разбавлении мазута Ф-5 дизельной фракцией на 10–30 % (**рис. 4, а**) и при возрастании температуры водной среды в операции кондиционирования с собирателем до 30–40 °С (см. рис. 4, б).

Флотуемость фракции кимберлита увеличивается при повышении температуры в операции кондиционирования до 30 °С и снижается при повышении температуры более 30 °С (см. рис. 4, б). Анализ полученных результатов дает основания предположить, что оптимальный температурный режим операции кондиционирования с собирателем предполагает поддержание температуры среды в операции кондиционирования на уровне 30–50 °С, когда достигается максимальная флотуемость обработанных собирателем алмазов и уменьшается флотуемость минералов кимберлита.

Дальнейшие исследования, проведенные на лабораторной установке пенной сепарации, ставили задачей подтвердить эффективность выбранных составов компаундных собирателей на основе мазута Ф-5 и при различных температурах.

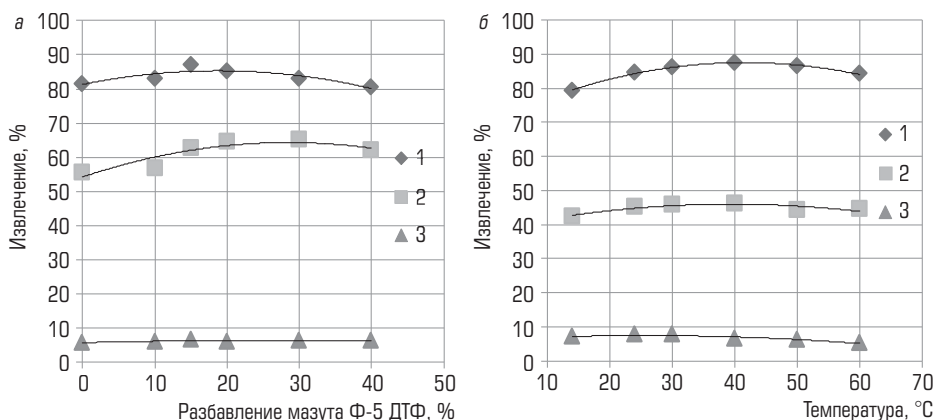


Рис. 4. Изменение извлечения алмаза и минералов кимберлита при разбавлении мазута (а) и изменении температуры в операции кондиционирования с собирателем (б): 1 – алмаз; 2 – флогопит; 3 – кимберлит

Опыты проводили при температуре кондиционирования исходного питания 34 °С и флотации при температуре 10, 14, 24 и 28 °С. Результаты экспериментов показали, что извлечение алмазов в концентрат достигнуто при проведении процесса при температуре 14 и 24 °С, с использованием компандных собирателей на основе флотского мазута Ф-5, превышает соответствующие значения данного показателя при температуре процесса флотации 10 °С (табл. 1).

Учитывая, что при повышении температуры до 28 °С снижается селективность процесса, рекомендуемый интервал температур в операции пенной сепарации составил 14–24 °С.

Полупромышленное апробирование выбранных составов собирателей проводили на автоматизированной установке пенной сепарации, работающей в режиме, близком к промышленному (расход компандного собирателя на основе мазута Ф-5 1000 г/т, расход бутилового аэрофлота 50 г/т, расход вспенивателя 150 г/т). Температура в операции кондиционирования составляла 30–40 °С и в операции пенной сепарации – 14–24 °С. При флотации алмазов трубки «Интернациональная» применение компандированных мазутов КМ-10 и КМ-14 обеспечило прирост извлечения алмазов на 2,3–4,5 % (табл. 2) при высокой селективности процесса, оцениваемой критерием S, рассчитанным как разность извлечения алмазов ε и выхода кимберлита в концентрат γ, скорректированного коэффициентом 1,3, учитывающим возрастание затрат на доводку концентрата при увеличении выхода в него кимберлита:

$$S = \epsilon - 1,3\gamma.$$

Заметный положительный результат – повышение извлечения на 3 % – был также получен в процессе пенной сепарации руды трубок «Айхал» и «Юбилейная» при применении в качестве собирателя смеси мазута Ф-5 и маччобинской нефти в соотношении 1:1 (см. табл. 2).

Требуемый температурный режим достигается при применении технологии паровой обработки питания цикла пенной сепарации, апробированной ранее на обогатительной фабрике № 3 Мирнинского ГОКа [20]. Поддержание выбранных температурных режимов основных операций обеспечивается за счет тепла, расходуемого при тепловой обработке исходного питания.

Таблица 1. Извлечение алмазов с использованием различных собирателей при варьировании температуры пульпы в процессе пенной сепарации

Собиратель	Извлечение в концентрат, %, при температуре, °С			
	10	14	24	28
Мазут флотский Ф-5	$\frac{72,6}{0,9}$	$\frac{77,8}{1,2}$	$\frac{82,2}{1,4}$	$\frac{82,4}{1,6}$
КМ-10 (мазут Ф-5 + 10 % ДТФ)	$\frac{76,4}{1}$	$\frac{82,4}{1,2}$	$\frac{85,6}{1,5}$	$\frac{85,4}{1,7}$
КМ-14 (мазут Ф-5 + 14 % ДТФ)	$\frac{77,8}{1,1}$	$\frac{82,9}{1,3}$	$\frac{85,0}{1,5}$	$\frac{84,8}{1,7}$
Нефть Маччобинского месторождения	$\frac{68,6}{0,8}$	$\frac{72,6}{1,4}$	$\frac{75,7}{1,7}$	$\frac{75,2}{1,9}$
Мазут Ф-5 + нефть Маччобинского месторождения в соотношении 1:1	$\frac{74,2}{1}$	$\frac{78,5}{1,3}$	$\frac{82,8}{1,5}$	$\frac{81,9}{1,7}$

Примечание. В числителе алмазы, в знаменателе кимберлиты.

Таблица 2. Основные показатели процесса пенной сепарации на стендовой установке

Реагент	Извлечение алмазов в концентрат, %	Выход кимберлита в концентрат, %	Селективность S, %
<i>Руда трубки «Интернациональная»</i>			
Мазут Ф-5	79,4	1,7	77,19
КМ-10	81,7	1,9	79,23
КМ-14	83,9	2,9	80,13
<i>Руда трубок «Айхал» и «Юбилейная»</i>			
Флотский мазут Ф-5	84,5	1,5	82,55
Компаунд мазута Ф-5 и нефти Маччобинского месторождения 1:1	87,5	1,9	85,03

Так, при обработке паром исходного питания при 80–90 °С температура в операции кондиционирования с реагентами составляет 26–35 °С, в пенной сепарации – 21–22 °С. Результаты испытаний данного режима показали, что при использовании технологии парового кондиционирования достигается повышение извлечения алмазов на 5 % при удовлетворительной селективности.

Для промышленных испытаний на обогатительной фабрике № 14 Айхальского ГОКа был рекомендован собиратель, представляющий собой смесь мазута Ф-5 и маччобинской нефти. В пользу принятия такого решения свидетельствовала меньшая стоимость и большая доступность сырья. Испытания реагентного режима с применением в качестве собирателя смеси мазута Ф-5 и маччобинской нефти проводили на шихте руд трубок «Айхал» и «Юбилейная». Во время проведения испытаний в процесс пенной сепарации в качестве основного реагента подавали смесь флотского мазута Ф-5 и дегазированной нефти Маччобинского месторождения в соотношении 1:1. Результаты, представленные в **табл. 3**, показали, что применение компаундного собирателя выбранного состава обеспечивает высокое извлечение алмазов, равное или превышающее соответствующее значение для реагентного режима, предусматривающего использование мазута Ф-5.

Выбранный режим был реализован в цикле пенной сепарации алмазов на обогатительной фабрике № 14 Айхальского ГОКа, где подтвердилась возможность снижения потерь алмазов на 2,5 % при сокращении расхода реагентов на 14 %

Выводы

Установлены новые закономерности изменения фазового состава собирателя, получаемого при смешивании мазута со средне- и низкомолекулярными нефтепродуктами и легкой нефтью. Результатами визиометрического анализа подтвержден эффект растворения высокомолекулярных

Таблица 3. Основные показатели работы передела пенной сепарации при различной дозировке смеси мазута Ф-5 и нефти Маччобинского месторождения

Расход мазута Ф-5, г/т	Расход аэрофлота, г/т	Расход полифосфата натрия, г/т	Производительность, т/ч	Извлечение алмазов, %
<i>Мазут Ф-5</i>				
1000	15	350	14,2	95,5
<i>Мазут Ф-5 + нефть Маччобинского месторождения, 1:1</i>				
500	12	500	15,1	94,8
800	15	500	13,6	96,6
1000	15	500	13,9	97,6


асфальтеносмолистых фракций в маслах и легких дистиллятах при разбавлении мазута и повышении температуры. Показано, что образование тонкодисперсных и коллоидных растворов высокомолекулярных компонентов увеличивает адгезионную активность собирателя и приводит к повышению собирательных свойств собирателей на основе мазута Ф-5.

Определено, что собиратель с максимальной собирательной способностью по отношению к флотации алмазов из кимберлитов получается при разбавлении мазута Ф-5 на 10–18%-ной дизельной технической фракции или при смешивании мазута Ф-5 с нефтью Маччобинского месторождения в соотношении 1:1.

Выбран оптимальный температурный режим подготовки алмазосодержащего материала к процессу пенной сепарации мелких классов алмазов, включающий кондиционирование с реагентами при 30–38 °С и пенную сепарацию при температуре 14–24 °С. Показано, что поддержание необходимых температур в операциях кондиционирования с реагентами и непосредственно в процессе пенной сепарации достигается за счет использования тепла, накопленного при тепловой обработке питания цикла пенной сепарации. Применение собирателей выбранного состава и рациональных температурных режимов обеспечивает повышение извлечения алмазов на 2,5–5 %.

Библиографический список

1. Чантурия В. А., Двойченкова Г. П. Инновационные процессы сепарации алмазосодержащего сырья природного и техногенного происхождения // Современные проблемы комплексной и глубокой переработки минерального сырья природного и техногенного происхождения» (Плаксинские чтения-2022) : матер. междунар. конф. – Владивосток : ДВФУ, 2022. С. 16–29.
2. Чантурия В. А., Двойченкова Г. П., Ковальчук О. Е. Поверхностные свойства алмазов метасоматически измененных кимберлитов и их модификация в условиях переработки минерального сырья // ФТПРПИ. 2015. № 2. С. 137–148.
3. Махрачев А. Ф., Двойченкова Г. П., Лезова С. П. Исследование и оптимизация состава компаундных собирателей для пенной сепарации алмазов // ГИАБ. 2018. № 11. С. 178–185.
4. Злобин М. Н. Технология крупнозернистой флотации при обогащении алмазосодержащих руд // Горный журнал. 2011. № 1. С. 87–89.
5. Морозов В. В., Лезова С. П. Применение комбинированных собирателей на основе нефтепродуктов для пенной сепарации алмазосодержащих кимберлитов // ГИАБ. 2020. № 12. С. 137–146.
6. Морозов В. В., Коваленко Е. Г., Двойченкова Г. П., Чуть-Ды В. А. Выбор температурных режимов кондиционирования и флотации алмазосодержащих кимберлитов компаундными собирателями // Горные науки и технологии. 2022. Т. 7. № 4. С. 287–297.
7. Алексеенко В. В., Воронов Д. В., Каташевцев М. Д., Пахомовский А. Н. Исследование гранулометрического состава эмульсий с помощью оптического микроскопа и методом автоматизированного распознавания объектов на цифровой фотографии // Вестник ИрГТУ. 2015. № 2(97). С. 99–104.
8. Бахметьев В. В., Сычев М. М. Исследование микроструктуры сплавов с использованием компьютерной программы «ВИДЕОТЕСТ». – СПб. : СПбГИ(У), 2011. – 17 с.
9. Huhtamäki T., Tian X., Korhonen J. T., Ras R. H. A. Surface-wetting characterization using contact-angle measurements // Nature Protocols. 2018. Vol 13. P. 1521–1538.
10. Farrokhrouz M., Haghi H. The Application of Hallimond Tube for Floatability Study of Pure Galena from Nakhlak Mine // Proceedings of the 13th Conference on Environment and Mineral Processing. – Ostrava, 2009. P. 89–96.

11. Морозов В. В., Пестряк И. В., Коваленко Е. Г., Лезова С. П., Поливанская В. В. Повышение эффективности пенной сепарации алмазов на основе оптимизации состава собирателя и температурного режима // ГИАБ. 2022. № 8. С. 135–147.
12. Lijun Liu, Gan Cheng, Wei Yu, Chao Yang. Flotation collector preparation and evaluation of oil shale // Oil Shale. 2018. Vol. 35. No. 3. P. 242–253.
13. Kasomo R. M., Ombiro S., Rop B., Mutua N. M. Investigation and Comparison of Emulsified Diesel Oil and Flomin C 9202 as a Collector in the Beneficiation of Ultra-Fine Coal by Agglo-Flotation // International Journal of Oil, Gas and Coal Engineering. 2018. Vol. 6. No. 4. P. 74–80.
14. Полежаева Н. И. Физико-химия нефтяных дисперсных систем. Термодинамика и кинетика фазовых переходов в нефтяных дисперсных системах. – Красноярск: СибГУ им. академика М. Ф. Решетнева, 2021. – 94 с.
15. Ганеева Ю. М. Асфальтеновые наноагрегаты: структура, фазовые превращения, влияние на свойства нефтяных систем // Успехи химии. 2011. Т. 80. № 10. С. 1034–1050.
16. Семенова С. А., Патраков Ю. Ф., Яркova А. В. Получение флотационных реагентов для обогащения углей на основе озонированных нефтепродуктов // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2022. № 3. С. 13–21.
17. Tukhvatullina A. Z., Barskaya E. E., Kouryakov V. N., Ganeeva Y. M., Yusupova T. N. et al. Supramolecular Structures of Oil Systems as the Key to Regulation of Oil Behavior // Journal of Petroleum & Environmental Biotechnology. 2013. Vol. 4. Iss. 4. P. 152–160.
18. Mikhailenko D., Golovin A., Korsakov A., Aulbach S., Gerdes A. et al. Metasomatic Evolution of Coesite-Bearing Diamondiferous Eclogite from the Udachnaya Kimberlite // Minerals. 2020. Vol. 10. Iss. 4. DOI: 10.3390/min10040383
19. Морозов В. В., Двойченкова Г. П., Коваленко Е. Г., Чантурия Е. Л., Чернышева Е. Н. Механизм и обоснование параметров интенсификации пенной сепарации алмазосодержащего сырья с применением тепловых и электрохимических воздействий // ФТПРПИ. 2021. № 2. С. 119–131.
20. Коваленко Е. Г., Двойченкова Г. П. Применение теплового кондиционирования в процессе пенной сепарации алмазосодержащих кимберлитов // Горный журнал. 2022. No. 8. С. 41–47. 

«GORNYI ZHURNAL», 2023, № 12, pp. 75–80
DOI: 10.17580/gzh.2023.12.12

Application of multi-component collectors and selection of temperature modes for frother separation of diamond-bearing kimberlites

Information about authors

E. G. Kovalenko¹, Chief Engineer, Candidate of Engineering Sciences, kovalenkoeg@gmail.ru

A. L. Babushkina¹, Head of Sector

V. A. Chut-Dy¹, Leading Production Engineer

¹Yakutniproalmaz Institute, Mirny, Russia

Abstract

The variations in the phase composition of a collector manufactured by mixing black oil fuel with medium- and low-molecular oil products and light oil are found. It is shown that formation of fine disperse and colloid solutions of high-molecular components improves adhesive activity and collectability of collectors based on black oil fuel F-5 in flotation of diamonds. It is determined that the increase in the temperature has a beneficial effect on transition of asphaltene-tarry fraction to a colloid and true solution in the medium- and low-molecular fractions. For enhancing collectability of collectors in froth separation of diamonds, it is proposed to compound black oil fuel F-5 with diesel fuel composed of low- and medium-molecular fractions of oil products, and with low oil with high total mass of such fractions. It is shown that the use of the compound collectors with black oil fuel F-5 ensures increased recovery of diamonds by 2.5–5 % at high selectivity of the process. The temperature intervals which enable maximal diamond recovery are determined for the operation of conditioning of diamond-bearing kimberlites with flotation agents and for the flotation itself. The optimized temperature mode selected for the frother separation of fine diamonds includes conditioning with flotation agents at 30–38 °C and frother separation at 14–24 °C. The selected mode is implemented owing to heat accumulated during thermal treatment of the frother separation feedstock.

Keywords: diamonds, kimberlites, collector, fractional composition, conditioning, thermal treatment, adhesion, flotation, frother separation

References

1. Chanturiya V. A., Dvoichenkova G. P. Innovative processes of separation of natural and manmade diamond-bearing materials. *Modern Problems of Integrated and Deep Processing of Natural and Technogenic Mineral Raw Materials (Plaksin's Lectures–2022): Proceedings of International Conference*. Vladivostok: DVFU, 2022. pp. 16–29.
2. Chanturiya V. A., Dvoichenkova G. P., Kovalchuk O. E. Surface properties of diamonds recovered from metasomatically modified kimberlites during processing. *Journal of Mining Science*. 2015. Vol. 51, Iss. 2. pp. 353–362.
3. Makhraчев A. F., Dvoichenkova G. P., Lezova S. P. Analysis and optimization of compositions of compound collectors for frother separation of diamonds. *GIAB*. 2018. No. 11. pp. 178–185.
4. Zlobin M. N. Technology of hard grained flotation during beneficiation of diamond-bearing ores. *Gornyi Zhurnal*. 2011. No. 1. pp. 87–89.
5. Morozov V. V., Lezova S. P. Compound collectors based on oil products for frother separation of diamond-bearing kimberlites. *GIAB*. 2020. No. 12. pp. 137–146.
6. Morozov V. V., Kovalenko E. G., Dvoichenkova G. P., Chut-Dy V. A. Selection of Temperature regimes for conditioning and flotation of diamond-bearing kimberlite with compound collectors. *Gornye nauki i tekhnologii*. 2022. Vol. 7, No. 4. pp. 287–297.
7. Alekseenko V. V., Voronov D. V., Katashevsev M. D., Pakhomovskiy A. N. Study of emulsion granulometric composition by means of an optical microscope and a method for automated recognition of objects in digital photos. *Vestnik IrGTU*. 2015. No. 2(97). pp. 99–104.
8. Bakhmetev V. V., Sychev M. M. Analysis of microstructure of alloys using computer program VIDEOTEST. Saint-Petersburg: SpbGTI(TU), 2011. 17 p.
9. Huhtamäki T., Xuelin Tian, Juuso T. Korhonen, Robin H. A. Ras. Surface-wetting characterization using contact-angle measurements. *Nature Protocols*. 2018. Vol. 13. pp. 1521–1538.
10. Farokhrouz M., Haghi H. The Application of Hallimond Tube for Floatability Study of Pure Galena from Nakhlak Mine. *Proceedings of the 13th Conference on Environment and Mineral Processing*. Ostrava, 2009. pp. 89–96.
11. Morozov V. V., Petryak I. V., Kovalenko E. G., Lezova S. P., Polivanskaya V. V. Stimulation of frother separation of diamonds by optimizing collecting agent composition and temperature conditions. *GIAB*. 2022. No. 8. pp. 135–147.
12. Lijun Liu, Gan Cheng, Wei Yu, Chao Yang. Flotation collector preparation and evaluation of oil shale. *Oil Shale*. 2018. Vol. 35, No. 3. pp. 242–253.
13. Kasomo R. M., Ombiro S., Rop B., Mutua N. M. Investigation and Comparison of Emulsified Diesel Oil and Flomin C 9202 as a Collector in the Beneficiation of Ultra-Fine Coal by Agglo-Flotation. *International Journal of Oil, Gas and Coal Engineering*. 2018. Vol. 6, No. 4. pp. 74–80.
14. Polezheva N. I. Physicochemistry of dispersed oil systems. Thermodynamics and Kinetics of Phase Transitions in Dispersed Oil Systems. Krasnoyarsk: SibGU im. akademika M. F. Reshetneva, 2021. 94 p.
15. Ganeeva Yu. M., Yusupova T. N., Romanov G. V. Asphaltene nanoaggregates: structure, phase transformations, effect on the properties of petroleum systems. *Russian Chemical Reviews*. 2011. Vol. 80. No. 10. pp. 993–1008.
16. Semenova S. A., Patraков Yu. F., Yarkova A. V. Production of flotation reagents for coal enrichment based on ozonated petroleum products. *Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*. 2022. No. 3. pp. 13–21.
17. Tukhvatullina A. Z., Barskaya E. E., Kouryakov V. N., Ganeeva Y. M., Yusupova T. N. et al. Supramolecular Structures of Oil Systems as the Key to Regulation of Oil Behavior. *Journal of Petroleum & Environmental Biotechnology*. 2013. Vol. 4, Iss. 4. pp. 152–160.
18. Mikhailenko D., Golovin A., Korsakov A., Aulbach S., Gerdes A. et al. Metasomatic Evolution of Coesite-Bearing Diamondiferous Eclogite from the Udachnaya Kimberlite. *Minerals*. 2020. Vol. 10, Iss. 4. DOI: 10.3390/min10040383
19. Morozov V. V., Dvoichenkova G. P., Kovalenko E. G., Chanturiya E. L., Chernysheva E. N. The mechanism and parameters of froth flotation stimulation for diamond-bearing materials by thermal and electrochemical effects. *Journal of Mining Science*. 2021. Vol. 57, Iss. 2. pp. 286–297.
20. Kovalenko E. G., Dvoichenkova G. P. Application of thermal conditioning in foam separation of diamond-containing kimberlites. *Gornyi Zhurnal*. 2022. No. 8. pp. 41–47.

УДК 621.9.048.6:622.7

ЛАБОРАТОРНЫЙ РЕАКТОР ДЛЯ УЛЬТРАЗВУКОВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ПУЛЬПУ КОБАЛЬТ-МЕДНО-НИКЕЛЕВОЙ РУДЫ

В. А. ИОДИС, ведущий научный сотрудник, канд. техн. наук,
iodisva@mail.ru

НИГТЦ ДВО РАН, Петропавловск-Камчатский, Россия

Введение

Для снятия и разрушения оксидных пленок на поверхностях минеральных частиц сульфидов пульпы возможно использовать ультразвуковое воздействие, что подтверждается экспериментальными исследованиями [1–5].

В России и мире в течение последних 25–30 лет проводятся исследования по ультразвуковому воздействию на рудные пульпы. Исследования проводят такие организации, как ВНИИХТ, МИСиС, ИПКОН РАН, ИГД ДВО РАН, ООО «Центр ультразвуковых технологий», БТИ АлтГТУ, НИГТЦ ДВО РАН, Пекинский научно-исследовательский институт цветных металлов, болгарские исследовательские организации, Университет науки и технологий Внутренней Монголии (Китай), Куньминский университет науки и технологий, Университет Гуанжоу, Central America Nickel Inc., Центральный южный университет (Хунань, Китай), Северо-восточный университет – Китайский государственный исследовательский университет и др. Этими организациями для проведения лабораторных, полу- и промышленных исследований, апробаций способов были разработаны лабораторные, укрупненные и промышленные установки [6–21].

Целью работы является расчет, проектирование лабораторного реактора для ультразвукового воздействия на пульпу кобальт-медно-никелевой руды, в результате которого будут удалены оксидные пленки с поверхности рудных частиц.

Расчет лабораторного реактора

К одному из основных параметров процесса ультразвукового воздействия на пульпы относят его температурный диапазон. Также важным является расстояние от ультразвукового излучателя до внутренней поверхности камеры ультразвукового воздействия на рудную пульпу. Эксперименты, приведенные в работе [22], показывают, что интенсивность кавитации в ультразвуковом диапазоне частот ($22 \pm 1,65$ кГц) падает в десятки раз при увеличении температуры деионизированной воды от 20 до 60 °С. Снижается и амплитуда звукового давления при удалении от излучателя вследствие расходования энергии волны на образование кавитационных пузырьков [23].

Отмечено, что для снятия и разрушения оксидных пленок на поверхности минеральных частиц сульфидных минералов в пульпе возможно использовать ультразвуковое воздействие. Для исследования процесса ультразвукового воздействия на рудную пульпу рассчитан, спроектирован и смонтирован лабораторный реактор. Проведен конструктивный расчет двух, осесимметрично расположенных цилиндрических камер ультразвукового воздействия и охлаждения. Несмотря на более высокие, по сравнению с традиционными способами очистки минеральной поверхности от оксидных пленок показатели энергопотребления, ультразвуковой метод обеспечивает необходимую степень очистки.

Ключевые слова: лабораторный реактор, рудная пульпа, ультразвуковое воздействие, оксидные пленки, расчет, проектирование, монтаж

DOI: 10.17580/gzh.2023.12.13

Поэтому до процесса проектирования важным является проведение расчета диапазона роста температуры пульпы и охлаждающей воды в процессе ультразвукового воздействия, определение длины (высоты), диаметра камеры ультразвукового воздействия.

Для расчета роста температуры пульпы – смеси дистиллированной воды и кобальт-медно-никелевой руды месторождения Шануч (5:1) – и роста температуры охлаждающей воды в процессе ультразвукового воздействия используем калориметрический метод. Он позволяет установить зависимость между интенсивностью ультразвукового излучения I (отношение рабочей акустической мощности к площади поверхности излучателя), термодинамическими (теплоемкость, температура), физическими (масса, плотность), кинематическими (массовый расход) свойствами пульпы и охлаждающей воды [24].

Интенсивность излучения определяется по формуле

$$I = 4,18cm\Delta t / (S\Delta\tau), \quad (1)$$

где c — теплоемкость жидкости, Дж/(кг·°С); m — масса жидкости, кг; Δt — разность температуры жидкости до и после ультразвукового воздействия; S — площадь эффективной поверхности излучателя (рабочего инструмента), м²; $\Delta\tau$ — продолжительность процесса, с.

В соответствии с формулой (1) температура пульпы после ультразвукового воздействия будет определяться:

$$t_{п.к} = \frac{IS_{1,2}\Delta\tau}{4,18c_n m_n} + t_{п.н}, \quad (2)$$

где $S_{1,2}$ — площадь эффективной поверхности рабочего инструмента № 1 (0,001 м²) и рабочего инструмента

Таблица 1. Результаты расчета температуры пульпы после ультразвукового воздействия

Интенсивность излучения на поверхности излучателя I , Вт/м ²	Продолжительность обработки Δt , с	Температура пульпы после ультразвукового воздействия $t_{п.к}$, °С	Нагрев пульпы Δt , °С
40000	180	22,21	1,21
	300	24,02	24,02
	600	26,05	4,05
	900	28,08	6,08
72000	180	24,18	2,18
	300	25,64	3,64
	600	29,29	7,29
	900	32,94	10,94
100000	180	25,04	3,04
	300	27,06	5,06
	600	32,13	10,13
	900	37,20	15,20
110000	180	23,09	1,09
	300	23,82	1,82
	600	25,65	3,65
	900	27,48	5,48
210000	180	24,09	2,09
	300	25,48	3,48
	600	28,97	6,97
	900	32,46	10,46
310000	180	25,08	3,08
	300	27,14	5,14
	600	32,29	10,29
	900	37,44	15,44

№ 2 (0,000341 м²); Δt – продолжительность процесса (180, 360, 600 и 900 с); c_n – теплоемкость пульпы, равная 3630 Дж/(кг·°С); m – масса пульпы, равная 0,39 кг (при использовании рабочего инструмента № 1) и 0,406 кг (рабочий инструмент № 2); $t_{п.н}$ – температура пульпы до ультразвукового воздействия, равная 22 °С.

Результаты расчетов по формуле (2) представлены в **табл. 1**.

Как показывает расчет, в процессе ультразвукового воздействия температура пульпы возрастет на 15,44 °С (наибольший нагрев) и составит 37,44 °С, что снизит интенсивность кавитации. В связи с этим при проектировании необходимо предусмотреть охлаждение камеры ультразвукового воздействия.

С учетом формулы (1) и составления теплового баланса для проточной охлаждающей воды можно определить ее конечную температуру, приравнявая рабочую акустическую мощность $I \times S$ к количеству теплоты, отведенному охлаждающей водой.

Таблица 2. Результаты расчета температуры охлаждающей воды на выходе из рубашки охлаждения

Интенсивность излучения на поверхности излучателя I , Вт/м ²	Массовый расход воды G_B , кг/с	Температура воды на выходе $t_{в.к}$, °С	Нагрев воды Δt , °С
40000	0,0023	16,14	4,14
	0,05	12,19	0,19
72000	0,0023	19,45	7,45
	0,05	12,34	0,34
100000	0,0023	22,35	10,35
	0,05	12,47	0,47
110000	0,0023	15,88	3,88
	0,05	12,17	0,17
210000	0,0023	19,41	7,41
	0,05	12,34	0,34
310000	0,0023	22,94	10,94
	0,05	12,50	0,50

Данное равенство возможно в случае теплоизоляции наружной поверхности лабораторного реактора, т. е. при отсутствии теплопритока/теплооттока.

Температура охлаждающей воды на выходе из камеры охлаждения:

$$t_{в.к} = \frac{IS_{1,2}}{c_B G_B} + t_{в.н}, \quad (3)$$

где c_B – теплоемкость воды (4200 Дж/(кг·°С)); G_B – массовый расход воды (0,0023 и 0,05 кг/с); $t_{в.н}$ – начальная температура воды (12 °С).

Результаты расчета по формуле (3) представлены в **табл. 2**.

В соответствии с работой [17] принимаем длину камеры ультразвукового воздействия кратной четному числу длин полуволн в обрабатываемой пульпе $L_1 \approx 280$ мм. Расчет длины волны осуществляли при распространении ее в воде. При интенсивности излучения, циклической частоте колебаний, скорости распространения волны для УЗТА-0,4/22-0М, плотности пульпы ≈ 1451 кг/м³, температуре пульпы ≈ 20 –30 °С оптимальное расстояние от излучателя до внутренней поверхности камеры ультразвукового воздействия на рудную пульпу должно составлять 10–12 см [23].

Диаметр камеры ультразвукового воздействия определяется производительностью процесса:

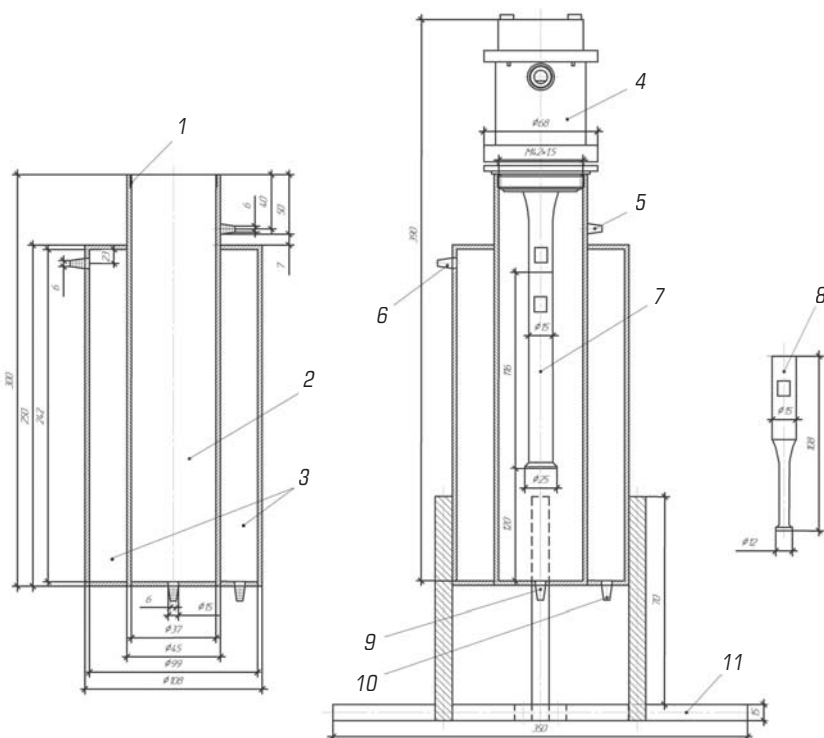
$$d = \sqrt{\frac{4Q}{\pi v}} = 0,037 \text{ м}, \quad (4)$$

где Q – объемный расход пульпы (0,0000027 м³/с); v – скорость пульпы в камере (0,0025 м/с).

Объем камеры ультразвукового воздействия (≈ 300 мл) соответствует рекомендуемым значениям озвучиваемых

Рис. 1. Разрез лабораторного реактора:

1 – крепление источника ультразвукового воздействия; 2 – камера ультразвукового воздействия на пульпу; 3 – камеры охлаждения; 4 – пьезоэлектрическая колебательная система «Волна»; 5 – патрубок подачи пульпы; 6 – патрубок выхода охлаждающей воды; 7, 8 – рабочие инструменты № 1 и 2; 9 – патрубок слива пульпы; 10 – патрубок входа охлаждающей воды; 11 – подставка



объемов в зависимости от диаметра рабочих инструментов № 1 и 2 [14].

Проектирование реактора

На основании выполненных расчетов спроектирован лабораторный реактор для ультразвукового воздействия на пульпу кобальт-медно-никелевой руды. Разрез лабораторного реактора показан на рис. 1. Он представляет собой две осесимметрично расположенные цилиндрические камеры – камера ультразвукового воздействия на рудную пульпу (внутренняя) и камера охлаждения (внешняя).

В верхней торцевой стенке внутренней камеры предусмотрено крепление источника ультразвуковых колебаний. В обеих камерах предусмотрены патрубки входа и выхода пульпы и охлаждающей воды.

Рассчитанный лабораторный реактор состоит из узла «Подача и отведение пульпы» (рис. 2), узла «Охлаждение» (рис. 3), узла «Контроль температуры процесса» (рис. 4).

Узел «Подача и отведение пульпы» включает в себя камеру ультразвукового воздействия на рудную пульпу, пьезоэлектрическую колебательную систему, перистальтический насос № 1, емкость подготовки пульпы (см. рис. 2). Камера объемом 0,0003 м³ выполнена из нержавеющей стали марки 12Х18Н10Т.

В верхней части внутренней камеры установлен концентратор с рабочими инструментами № 1 и 2 интенсивностью излучения от 4 до 31 Вт/см². Интенсивность можно изменять уменьшением/увеличением акустической мощности – от 30 до 100 % на генераторе ультразвуковых колебаний.

Циркуляция пульпы обеспечивается перистальтическим насосом Seko Kronos 50 Full с максимальным объемным расходом 0,0000027 м³/с. Путем переключения патрубков насоса возможно изменять направление движения пульпы во внутренней камере, т. е. подавать ее через патрубок слива пульпы.

Узел «Охлаждение» состоит из камеры охлаждения, перистальтического насоса № 2, емкости охлаждающей воды (см.

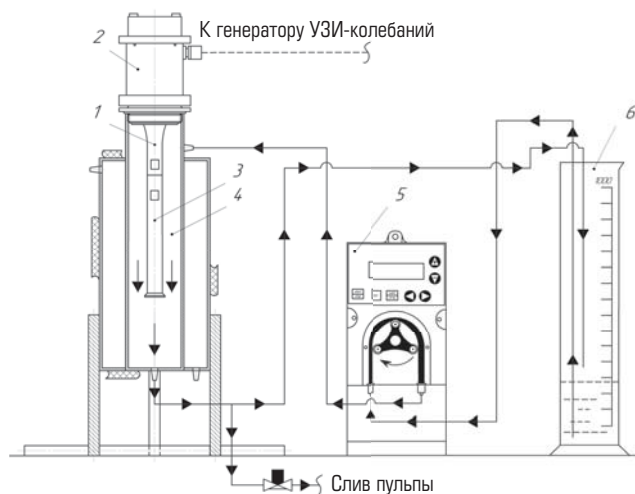


Рис. 2. Схема узла «Подача и отведение пульпы»:

1 – концентратор; 2 – пьезоэлектрическая колебательная система; 3 – рабочий инструмент № 1; 4 – камера ультразвукового воздействия на рудную пульпу; 5 – перистальтический насос № 1; 6 – емкость подготовки пульпы

рис. 3). Камера охлаждения имеет объем 0,001475 м³, выполнена из нержавеющей стали, теплоизолирована с наружной стороны фольгированной теплоизоляцией (вспененный полиэтилен, Теплофол) толщиной 10 мм.

Камера крепится к подставке для обеспечения подвода пульпы и охлаждающей воды, а также для устойчивости. Подача

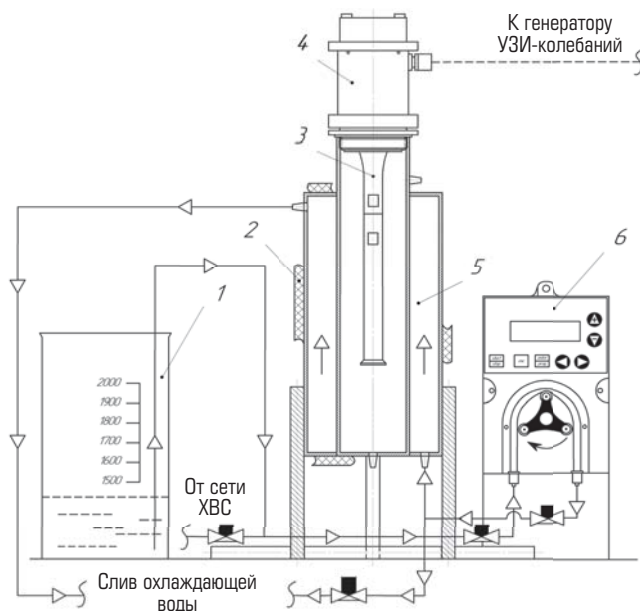


Рис. 3. Схема узла «Охлаждение»:

1 – емкость охлаждающей воды; 2 – теплоизоляция; 3 – концентратор; 4 – пьезоэлектрическая колебательная система; 5 – камера охлаждения; 6 – перистальтический насос № 2

воды может быть обеспечена перистальтическим насосом № 2 с максимальным объемным расходом 0,0000023 м³/с, а также подпиткой от сети холодного водоснабжения (ХВС) с расходом 0,00005 м³/с. Переключением патрубков насоса изменяется направление движения воды в камере охлаждения.

Узел «Контроль температуры процесса» включает в себя измеритель-регулятор температуры ИРТ-4/16 с разрешающей способностью индикации 0,1 °С, диапазоном измерений от

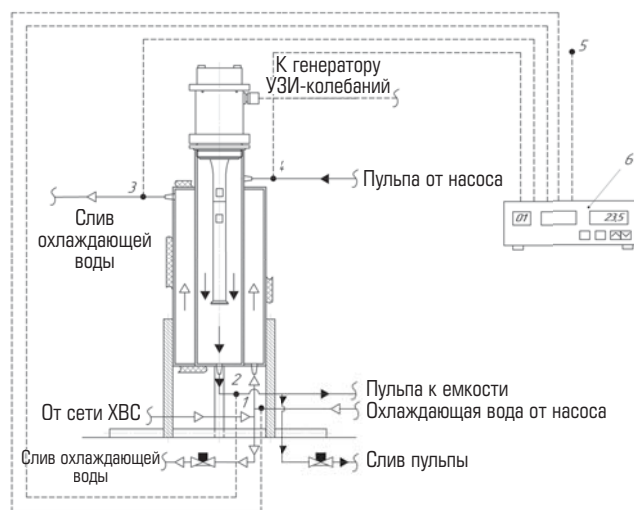


Рис. 4. Схема узла «Контроль температуры процесса»:

1–5 – термомпары; 6 – измеритель-регулятор температуры ИРТ-4/16

минус 200 °С до плюс 100 °С, пять термомпар ТМК с приведенной погрешностью измерений ±0,25 %. Термомпары 1–4 установлены на сливе/подаче пульпы и охлаждающей воды (см. рис. 4). Термомпара 5 измеряет температуру окружающего воздуха. Схема спроектированного лабораторного реактора представлена на рис. 5.

Монтаж реактора

Реактор устанавливали на химическом столе технологической лаборатории. Генератор ультразвуковых колебаний (УЗТА-0,4/22-0М) и измеритель-регулятор температур (ИРТ-4/16) размещали рядом на лабораторном столе. При монтаже реактора для обеспечения циркуляции/течения сред камеры ультразвукового воздействия на рудную пульпу охлаждения были соединены силиконовыми шлангами (ПВХ, $d_{в.н} = 4$ мм)

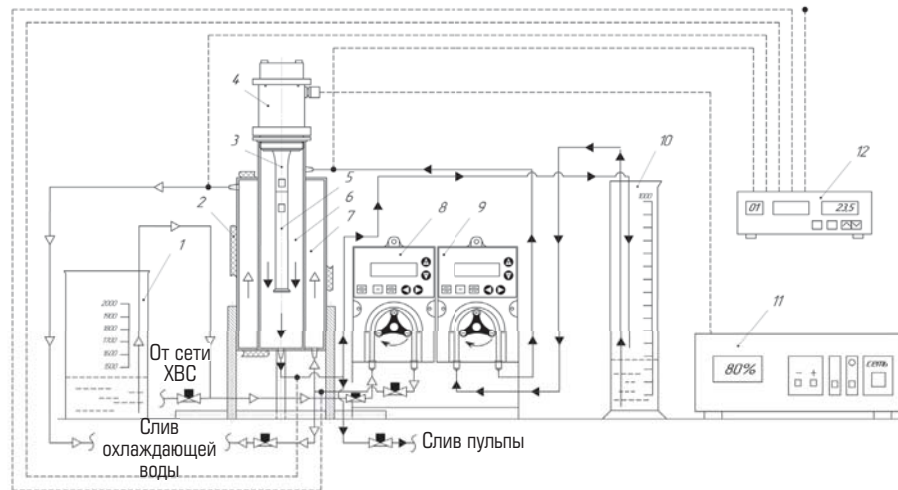


Рис. 5. Схема спроектированного лабораторного реактора:

1 – емкость охлаждающей воды; 2 – теплоизоляция; 3 – концентратор; 4 – пьезоэлектрическая колебательная система; 5 – рабочий инструмент № 1; 6 – камера ультразвукового воздействия на рудную пульпу; 7 – камера охлаждения; 8, 9 – перистальтические насосы № 2, 1; 10 – емкость подготовки пульпы; 11 – генератор ультразвуковых колебаний; 12 – измеритель-регулятор температуры

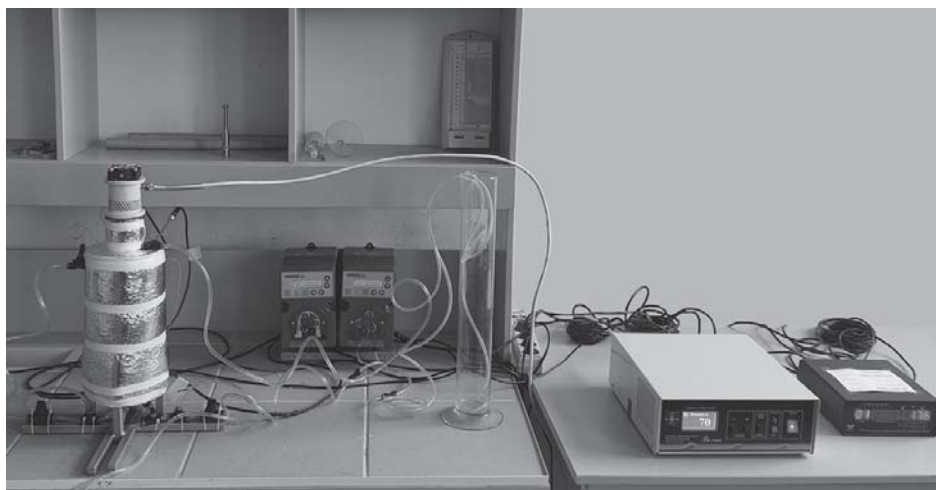


Рис. 6. Общий вид смонтированного в НИГТЦ ДВО РАН лабораторного реактора для ультразвукового воздействия на пульпу кобальт-медно-никелевой руды



Рис. 7. Микрофотографии частицы рудной пульпы до УЗИ-воздействия (а) и после УЗИ-воздействия продолжительностью 900 с при интенсивности излучения на поверхности излучателя 17,5 (б) и 21 (в) Вт/см²

с перистальтическими насосами № 1, 2, с емкостями подготовки пульпы, охлаждающей воды, с сетью ХВС. Термпары 1–4 от измерителя-регулятора температуры были заведены сквозь шланги непосредственно в потоки пульпы и охлаждающей воды. Обеспечен слив пульпы и охлаждающей воды из соответствующих камер после проведения эксперимента.

Общий вид смонтированного в НИГТЦ ДВО РАН лабораторного реактора для ультразвукового воздействия на пульпу кобальт-медно-никелевой руды представлен на **рис. 6**.

Как показали предварительные экспериментальные исследования ультразвукового воздействия на смонтированном лабораторном реакторе и микроскопические исследования с использованием рудного поляризационного микроскопа ПОЛАМ Р-312, большая часть оксидных пленок удаляется уже при интенсивности излучения от 17,5 до 21 Вт/см² (50–60 % мощности генератора ультразвуковых колебаний), продолжительности процесса 900 с. Микроскопические кадры частиц рудной пульпы до и после ультразвукового воздействия представлены на **рис. 7**.

В связи с высокой энергоемкостью процесса ультразвукового воздействия необходимо провести оценочный расчет энергозатрат процесса. При 50–60 % мощности генератора

аппарата «Волна» модели УЗТА-0,4/22-0М (максимальная мощность 400 Вт), объеме обрабатываемой, протекающей через камеру ультразвукового воздействия пульпы 720 мл (смесь дистиллированной воды и кобальт-медно-никелевой руды месторождения Шануч (5:1), продолжительности процесса 900 с удельные затраты энергии составят 0,07–0,083 Вт/мл пульпы. При ультразвуковом воздействии на 1 л пульпы необходимо затратить 70–83,3 Вт·ч, на 1 м³ – 83,3 кВт·ч. Полученные значения удельных энергозатрат имеют значительную величину, однако по утверждению авторов [1, 24, 25], традиционные методы очистки минеральной поверхности от вторичных минеральных образований, такие как химическая, термическая обработка, механическая оттирка, часто не обеспечивают необходимой степени очистки от пленок, находящихся в микротрещинах руд. Данное утверждение основано на экспериментальных исследованиях, полученных при удалении различных покрытий и вторичных минеральных пленок с поверхностей полевого шпата, кварцевых песков Лебединского и Егановского месторождений, с использованием полупромышленных ультразвуковых установок института «Уралмеханобр» [1, 24].

Заключение

Для исследования процесса ультразвукового воздействия на пульпу кобальт-медно-никелевой руды (месторождение Шануч, Камчатка) рассчитан, спроектирован и смонтирован лабораторный реактор. Выполнен оценочный расчет изменения температуры рудной пульпы и охлаждающей воды. Расчет показал необходимость охлаждения камеры ультразвукового воздействия, так как в процессе температура пульпы возрастет на 15,44 °С и составит 37,44 °С, что снизит интенсивность процесса кавитации. Проведен конструктивный расчет двух, осесимметрично расположенных цилиндрических камер ультразвукового воздействия и охлаждения. Выполнено проектирование лабораторного реактора как совокупности узлов «Подача и отведение пульпы», «Охлаждение», «Контроль температуры процесса». Для ультразвукового воздействия предполагается использовать ультразвуковой аппарат «Волна»


модели УЗТА-0,4/22-0М (исполнение № 2), а для контроля температуры пульпы и охлаждающей воды – измеритель-регулятор температуры ИРТ-4/16.

Как показали предварительные экспериментальные исследования ультразвукового воздействия на смонтированном лабораторном реакторе и микроскопические исследования с использованием рудного поляризационного микроскопа ПОЛАМ Р-312, большая часть оксидных пленок удаляется уже при интенсивности излучения от 17,5 до 21 Вт/см² и продолжительности процесса 900 с.

Расчет удельных энергозатрат на процесс снятия оксидных пленок выявил высокие значения энергопотребления – 83,3 кВт на 1 м³ пульпы, однако как показал обзор результатов уже проведенных исследований, менее энергоемкие традиционные методы очистки минеральной поверхности от оксидных пленок не обеспечивают необходимой степени очистки.

Библиографический список

1. Глембоцкий В. А., Соколов М. А., Якубович И. А., Байшулаков А. А., Кириллов О. Д., Колчманова А. Е. Ультразвук в обогащении полезных ископаемых. – Алма-Ата : Наука, 1972. – 229 с.
2. Киенко Л. А., Саматова Л. А., Воронова О. В. Влияние ультразвуковой обработки пульпы на селективность флотации при обогащении карбонатно-флюоритовых руд // ГИАБ. 2013. № 4. С. 172–178.
3. Черных С. И., Рыбакова О. И., Лебедев Н. М., Жирнова Т. И. К вопросу изучения влияния ультразвука, магнитных полей и электрического тока на флотацию золота // Цветная металлургия. 2003. № 6. С. 15.
4. Чантурия В. А., Миненко В. Г., Самусев А. Л., Чантурия Е. Л., Копорулина Е. В. Механизм влияния комбинированных энергетических воздействий на интенсификацию выщелачивания циркония и редкоземельных элементов из эвдиалитового концентрата // ФТПРПИ. 2017. № 5. С. 105–112.
5. Блайда И. А., Васильева Т. В. Влияние ультразвука на процессы биовыщелачивания металлов и десульфуризации углей // Микробиология и биотехнология. 2017. № 4. С. 6–20.
6. Патент 2061066 РФ. Способ выщелачивания металлов из руд и устройство для его осуществления / В. И. Шестаков, А. И. Нешков, В. П. Волков ; заявл. 12.05.1993; опубл. 27.05.1996.
7. Пат. 2308494 РФ. Способ извлечения цветных и благородных металлов / В. П. Терехин, М. Е. Пастухов; заявл. 27.01. 2006; опубл. 20.10.2007, Бюл. № 29.
8. Пат.101748285A CN. Refined gold ore cyaniding and leaching process ; заявл. 17.12.2008 ; опубл. 23.06.2010.
9. Пат. 104131160A CN. Ultrasonic intensified leaching method for refractory gold ores and ultrasonic intensified gold leaching stirrer ; заявл. 01.08.2014; опубл. 05.11.2014.
10. Пат. 107779610A CN. A kind of method and device of ultrasonic combined stirring pretreatment refractory gold ore ; заявл. 09.10.2017 ; опубл. 09.03.2018.
11. Пат. 2418870 РФ. Способ переработки сульфидных минеральных продуктов с применением бактерий для извлечения металлов / Л. Н. Крылова, О. Н. Травникова, М. И. Назимова и др. ; заявл. 12.05.2009 ; опубл. 20.05.2011, Бюл. № 14.
12. Пат. 2689487 РФ. Способ извлечения благородных металлов из руд и концентратов / А. Г. Секисов, Н. П. Хрунина, К. В. Прохоров, А. В. Рассказова ; заявл. 28.09.2018 ; опубл. 28.05.2019, Бюл. № 16.
13. Пат. 20220106665A1 USA Recovery of gold and silver values from feedstocks using ultrasound-assisted extraction ; заявл. 13.12.2019 ; опубл. 07.04.2022.
14. Хмелёв В. Н., Барсуков Р. В., Барсуков А. Р., Цыганок С. Н., Нестеров В. А. Ультразвуковой технологический аппарат с пятью рабочими инструментами различного диаметра для проведения научных исследований // Южно-Сибирский научный вестник. 2022. № 4 (44). С. 106–109.
15. Ильченко Д. А., Маняхин И. А., Голых Р. Н., Генне Д. В., Хмелёв В. Н., Шалуннов А. В. Аппаратное обеспечение стенда для исследования влияния импульсного ультразвукового воздействия на гетерогенные системы // Технологии и оборудование химической, биотехнологической и пищевой промышленности : материалы XIV Всерос. науч.-практич. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых с международным участием, посвященной 90-летию юбилею академика Г. В. Саковича. – Бийск, 2021. С. 55–60.
16. Хмелев В. Н., Цыганок С. Н., Хмелев М. В., Нестеров В. А. Новые ультразвуковые аппараты для реализации технологических процессов // Техническая акустика: разработки, проблемы, перспективы : материалы международной научной конференции. – Витебск, 2021. С. 66–68.
17. Пат. 141803 РФ. Аппарат ультразвуковой проточной обработки / В. Н. Хмелев, С. В. Левин, С. С. Хмелев и др. заявл. 26.02.2014 ; заявл. 26.02.2014; опубл. 10.06.2014, Бюл. № 16.
18. Yuting Hu, Ping Guo, Shixing Wang, Libo Zhang. Leaching Kinetics of Antimony from Refractory Gold Ore in Alkaline Sodium Sulfide under Ultrasound // Chemical Engineering Research and Design. 2020. Vol. 164. P. 219–229.
19. Wei Pan, Lingrong Yang, Huimin Jin, Ruge Yi, Zhigang Liao. Experimental study on microbial desulphurization of sulfide ores and self-heating simulation of ore heaps under ultrasonic and microwave // Process Safety and Environmental Protection. 2022. Vol. 164. P. 435–448.
20. Jiwei Lu, Nailong Wang, Zhitao Yuan, Qingyu Zhang, Lixia Li et al. The effects of ultrasonic wave on heterogeneous coagulation and flotation separation of pentlandite-serpentine // Minerals Engineering. 2022. Vol. 1816. DOI: 10.1016/j.mineng.2022.107828
21. Chunfu Xin, Hongying Xia, Guiyu Jiang, Qi Zhang, Libo Zhang et al. Mechanism and kinetics study on ultrasonic combined with oxygen enhanced leaching of zinc and germanium from germanium-containing slag dust // Separation and Purification Technology. 2022. Vol. 302. 122167. DOI: 10.1016/j.seppur.2022.122167
22. Niemczewski B. Cavitation intensity of water under practical ultrasonic cleaning conditions // Ultrasonics Sonochemistry. 2014. Vol. 21. Iss. 1. P. 354–359.

23. Сворцов С. П. Методы контроля параметров ультразвуковой кавитации // Наука и образование. 2015. № 2. С. 83–100.
24. Агранат Б. А., Дубровин М. Н., Хавский Н. Н., Эскин Г. И. Основы физики и техники ультразвука : учеб. пособие. – М. : Высшая школа, 1987. – 352 с.
25. Агранат Б. А., Башкиров В. И., Китайгородский Ю. И. Ультразвуковая очистка // Физические основы ультразвуковой технологии. Ч. III. Мощные ультразвуковые поля. – М. : Наука, 1970. – 688 с. 

«GORNYI ZHURNAL», 2023, № 12, pp. 81–87
DOI: 10.17580/gzh.2023.12.13

Lab-scale reactor for ultrasonic treatment of cobalt–copper–nickel ore pulp

Information about author

V. A. Iodis¹, Leading Researcher, Candidate of Engineering Sciences, iodisva@mail.ru
¹Scientific and Geotechnical Center, Far East Branch, Russian Academy of Sciences, Petropavlovsk-Kamchatsky, Russia

Abstract

It is possible to use ultrasonic exposure to remove the oxide films from the surfaces of pulp sulfide mineral particles. To remove the films, it is possible to use ultrasonic treatment. To study the process of ultrasonic action on the ore pulp, a laboratory reactor was designed, manufactured and installed. The pulp is a mixture of distilled water and cobalt–copper–nickel ore from the Shanuch deposit (Kamchatka) at a ratio of 5:1. During the work, the estimated calculation of the temperature change in the ore pulp and cooling water was made. The calculation demonstrated the necessity for cooling the ultrasonic treatment chamber. During the process, the temperature of the pulp will increase by 15.44°C and will become 37.44°C. It will reduce the intensity of the ultrasonic cavitation process. The design of two axisymmetrically located cylindrical chambers of ultrasonic treatment and cooling was carried out. The laboratory reactor was designed as a set of units, namely, Pulp Supply and Discharge, Cooling and Process Temperature Control. The source of ultrasonic vibrations was ultrasonic apparatus Volna model UZTA-0.4 / 22-OM (version No. 2), manufactured by Center for Ultrasonic Technologies of AltSTU LLC. The temperature meter-regulator IRT- 4/16 with the indication resolution of 0.1°C with five TMK thermocouples of a reduced measurement error of ±0.25% was used to control the temperatures of the pulp and cooling water. According to the preliminary experimental studies of ultrasonic action on the laboratory reactor and the microscopic studies using ore polarizing microscope POLAM R-312, most of the oxide films are removed at a radiation intensity of 17.5 to 21 W/cm² for 900 s. The calculation of specific energy consumption for the process of removing oxide films was carried out. The calculation demonstrates high energy consumption values of 83.3 kW per 1 m³ of pulp; however, according to the review of the implemented research, less energy-intensive traditional methods for cleaning mineral surface from oxide films fail to provide the required degree of purification.

Keywords: laboratory reactor, ore pulp, ultrasonic treatment, oxide films, calculation, design, installation

References

- Glembotskiy V. A., Sokolov M. A., Yakubovich I. A., Bayshulakov A. A., Kirillov O. D. et al. Ultrasound in mineral processing. Alma-Ata : Nauka, 1972. 229 p.
- Kienko L.A., Samatova L.A., Voronova O.V. Ultrasonication for pulp and its influence on flotation selectivity when dressing the carbonate-fluorite ores. *GIAB*. 2013. Special issue 4. Far East. pp. 172–179.
- Chernykh S. I., Rybakova O. I., Lebedev N. M., Zhirmova T. I. Effect of ultrasound, magnetic fields and electric current on gold flotation. *Tsvetnaya metallurgiya*. 2003. No. 6. pp. 15–21.
- Chanturia V. A., Minenko V. G., Samusev A. L., Chanturia E. L., Koporulina E. V. The mechanism of influence exerted by integrated energy impacts on intensified leaching of zirconium and rare earth elements from eudialyte concentrate. *Journal of Mining Science*. 2017. Vol. 53, Iss. 5. pp. 890–896.
- Blayda I. A., Vasileva T. V., Semenov K. I. Effect of ultrasound on bioleaching of metals and desulfonation of coal. *Mikrobiologiya i biotekhnologiya*. 2017. No. 4. pp. 6–20.
- Shestakov V. I., Neshkov A. I., Volkov V. P. Method and facility for metal leaching from ore. Patent RF, No. 2061066. Applied: 12.05.1993. Published: 27.05.1996.
- Terekhin V. P., Pastukhov M. E. Method to recover nonferrous and noble metals. Patent RF, No. 2308494. Applied: 27.01.2006. Published: 20.10.2007. Bulletin No. 29.
- Patent CN 101748285 A. Refined gold ore cyaniding and leaching process. Application: 17.12.2008. Publication: 23.06.2010.
- Patent CN 104131160 A. Ultrasonic intensified leaching method for refractory gold ores and ultrasonic intensified gold leaching stirrer. Application: 01.08.2014. Publication: 05.11.2014.
- Patent CN 107779610 A. A kind of method and device of ultrasonic combined stirring pretreatment refractory gold ore. Application: 09.10.2017. Publication: 09.03.2018.
- Krylova L. N., Travnikova O. N., Nazimova M. I. et al. Method to process sulfide mineral products using bacteria for extractions of metals. Patent RF, No. 2418870. Applied: 12.05.2009. Published: 20.05.2011. Bulletin No. 14.
- Sekisov A. G., Khrunina N. P., Prokhorov K. V. et al. Method of extracting noble metals from ores and concentrates. Patent RF, No. 2689487. Applied: 28.09.2018. Published: 28.05.2019. Bulletin No. 16.
- Patent US 2022/0106665 A1. Recovery of gold and silver values from feedstocks using ultrasound-assisted extraction. Application: 13.12.2019. Publication 07.04.2022.
- Khmelev V. N., Barsukov R. V., Barsukov A. R., Tsyganok S. N., Nesterov V. A. Ultrasonic technological apparatus with five working tools of different diameters for scientific research. *Yuzhno-Sibirskiy nauchnyi vestnik*. 2022. No. 4(44). pp. 106–109.
- Ilchenko D. A., Manyakhin I. A., Golykh R. N., Genne D. V., Khmelev V. N. et al. Instrumentation of bench tester of pulsed ultrasonic treatment of heterogeneous systems. *Technologies and Equipment in Chemical, Biotechnical and Food Industry : Proceedings of XIV All-Russian Conference of Students, Postgraduates and Young Scientists with International Participation to Celebrate Academician G. V. Savokich's 90th Anniversary*. Biysk, 2021. pp. 55–60.
- Khmelev V. N., Tsyganok M. V., Nesterov V. A. New ultrasonic equipment for processing procedures. *Engineering Acoustics—R&D, Problems and Prospects : International Conference Proceedings*. Vitebsk : VGTU, 2021. pp. 66–68.
- Khmelev V. N., Levin S. V., Khmelev S. S. et al. High-sonic turning-through treatment. Patent RF, No. 141803. Applied: 26.02.2014. Published: 10.06.2014. Bulletin No. 16.
- Yuting Hu, Ping Guo, Shixing Wang, Libo Zhang. Leaching Kinetics of Antimony from Refractory Gold Ore in Alkaline Sodium Sulfide under Ultrasound. *Chemical Engineering Research and Design*. 2020. Vol. 164. pp. 219–229.
- Wei Pan, Lingrong Yang, Huimin Jin, Ruge Yi, Zhigang Liao. Experimental study on microbial desulphurization of sulfide ores and self-heating simulation of ore heaps under ultrasonic and microwave. *Process Safety and Environmental Protection*. 2022. Vol. 164. pp. 435–448.
- Jiwei Lu, Nailiang Wang, Zhitao Yuan, Qingyu Zhang, Lixia Li et al. The effects of ultrasonic wave on heterogeneous coagulation and flotation separation of pentlandite-serpentine. *Minerals Engineering*. 2022. Vol. 188. DOI: 10.1016/j.mineng.2022.107828
- Chunfu Xin, Hongying Xia, Guiyu Jiang, Qi Zhang, Libo Zhang et al. Mechanism and kinetics study on ultrasonic combined with oxygen enhanced leaching of zinc and germanium from germanium-containing slag dust. *Separation and Purification Technology*. 2022. Vol. 302. DOI: 10.1016/j.seppur.2022.122167
- Niemczewski B. Cavitation intensity of water under practical ultrasonic cleaning conditions. *Ultrasonics Sonochemistry*. 2014. Vol. 21, Iss. 1. pp. 354–359.
- Skvortsov S. P. Ultrasonic cavitation performance control. *Nauka i obrazovanie*. 2015. No. 2. pp. 83–100.
- Agranat B. A., Dubrovina M. N., Khavskiy N. N., Eskin G. I. Elementaries of ultrasound physics and engineering : Tutorial. Moscow : Vysshaya shkola, 1987. 352 p.
- Agranat B. A., Bashkirov V. I., Kitaygorodskiy Yu. I. Ultrasonic cleaning. Physical basis of ultrasound technology. Part III : Powerful ultrasonic fields. Moscow : Nauka, 1970. 688 p.

УДК 622.271.4

ВЛИЯНИЕ СОСТОЯНИЯ РАБОЧЕЙ ЖИДКОСТИ ГИДРОСИСТЕМ ГОРНЫХ МАШИН ОТКРЫТЫХ РАЗРАБОТОК НА ЭКСПЛУАТАЦИОННУЮ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ*

Н. А. АБДУАЗИЗОВ¹, проректор по учебной работе, д-р техн. наук

Г. Е. РАЙХАНОВА², зам. директора, канд. техн. наук,

galiya82@inbox.ru

А. В. ВИНОГРАДОВ³, зам. директора Центра технического сопровождения автоматизированных машиностроительных производств

А. Ш. ЖУРАЕВ¹, и. о. доцента, PhD

¹Навоийский государственный горно-технологический университет, Навои, Республика Узбекистан

²Алмалыкский филиал НИТУ МИСИС, Алмалык, Республика Узбекистан

³Московский государственный технологический университет «Станкин», Москва, Россия

Введение

Карьерные гидравлические экскаваторы хорошо зарекомендовали себя на открытых разработках полезных ископаемых вследствие ряда объективных преимуществ перед канатными машинами. В Республике Узбекистан внедрение гидравлических экскаваторов на карьере «Мурунтау» позволило повысить производительность добычных работ на 30 %. Вместе с тем эксплуатация гидравлических систем в условиях высоких температур, значительной запыленности и большой солнечной радиации отрицательно сказывается на их ресурсе. Первым элементом, теряющим свои рабочие свойства в таких условиях, является рабочая жидкость гидравлических систем карьерных экскаваторов.

Результаты исследования позволили определить зависимость ресурса компонентов гидравлической системы от степени загрязненности используемой гидравлической жидкости. Загрязнение рабочих жидкостей гидропривода в основном обусловлено следующими факторами: твердыми и мягкими частицами, водой, воздухом. Все они оказывают различное воздействие на элементы гидросистемы карьерного экскаватора [1–3].

На снижение ресурса деталей гидросистемы карьерного гидравлического экскаватора факторы загрязнения оказывают следующее воздействие [4–6]:

- повышенная концентрация механических примесей приводит к адгезионному, абразивному и эрозионному разрушению;
- увеличение концентрации воды вызывает коррозию;

Приведены результаты исследований по оценке влияния концентрации загрязнений рабочей жидкости в гидросистеме карьерного оборудования на эффективность работы гидравлических экскаваторов.

Выполнены расчеты по определению степени загрязнения рабочей жидкости в зависимости от различных факторов, даны рекомендации по установлению оптимальных сроков замены рабочей жидкости.

Ключевые слова: гидравлическая система, гидравлический экскаватор, надежность, эффективность, чистота, загрязненность жидкости, коррозия деталей, абразивность

DOI: 10.17580/gzh.2023.12.14

- превышение концентрации воздуха (газа) обуславливает кавитационную эрозию;

- механические примеси и вода оказывают влияние на ресурс, даже когда гидросистема не работает, вызывая коррозию деталей и агрегатов.

Попадание твердых примесей в рабочую жидкость гидросистемы является основной причиной износа обратных клапанов, абразивного износа насосов и двигателей, выхода из строя гидрораспределителей и загрязнения фильтров [4–6].

Из-за наличия в рабочей жидкости гидросистемы жидких загрязнений (битумов, асфальтов) происходит засорение каналов гидрораспределителей и износ предохранительных клапанов, наблюдается снижение коэффициента полезной деятельности гидросистемы.

Загрязнение водой или жидкостью приводит к повреждению масляной пленки, что влечет за собой повышенный износ и коррозию элементов насосов и гидромоторов [1, 4, 7, 8].

Повышение концентрации воздуха (газа) увеличивает скорость окислительных процессов, наличие воздуха в гидросистеме снижает объемный КПД, увеличивает шум гидросистемы, ухудшает быстродействие и точность позиционирования оборудования, вызывает кавитационную эрозию в насосах гидросистемы [9–11].

Загрязненность жидкостей также влияет на комплексные показатели надежности, например на коэффициент технической готовности и производительность труда, а также ускоряет выход из строя гидроприводов, отказы которых в данном случае классифицируются по времени, затраченному на их ремонт [5, 6, 12–14].

*В подготовке материалов статьи принимал участие А. А. Садыгов, студент 5-го курса филиала НИТУ МИСИС в г. Алмалыке (Республика Узбекистан).

Методика исследований

С целью определения влияния загрязнений рабочей жидкости на ресурс элементов гидросистем карьерных экскаваторов в течение года было изучено состояние гидросистем карьерных экскаваторов Terex RH-40E, работающих на карьере «Мурунтау» Республики Узбекистан. Выполняли систематический отбор проб рабочей жидкости гидросистем экскаваторов, проводили лабораторный анализ проб, включая микроскопное исследование. Оценка остаточного ресурса элементов гидросистем была выполнена по данным ремонтно-эксплуатационной службы карьера.

Экспериментальные исследования и их результаты

Анализ проведения ремонтов гидравлического оборудования карьерных гидравлических экскаваторов показал, что наиболее затратными в плане ремонта и восстановления работоспособности являются главные насосы гидросистемы, гидрораспределители, гидроцилиндры рабочего оборудования и гидромоторы.

Результаты исследований долговечности основных гидроагрегатов гидросистемы в зависимости от величины загрязнения приведены в **табл. 1**.

По результатам исследований построены графики зависимости усредненного ресурса элементов гидросистем от уровня загрязнения рабочей жидкости (**рис. 1**).

Как видно из **рис. 1**, при низком содержании загрязняющих элементов в гидравлической жидкости срок службы агрегатов достигает оптимальных значений. При превышении загрязняющих элементов срок службы значительно сокращается. При увеличении общего количества загрязняющих элементов в гидравлической жидкости на 90–100 мг/кг рабочий ресурс гидроагрегатов уменьшается на 10–15 %.

Одной из основных проблем гидросистем горных машин, работающих в тяжелых климатических условиях, на сегодняшний день является загрязнение гидравлической жидкости различными пылевыми частицами. Мелкие пылевые частицы плохо задерживаются фильтрующими элементами и, попадая в пары трения элементов гидравлической системы, приводят к преждевременному износу и выходу из строя различных деталей [2, 8, 15].

Одной из основных задач исследований является анализ состава используемых гидравлических жидкостей на наличие пыли и загрязняющих элементов и оценка их воздействия на систему. Для этого были изучены несколько типов гидравлических рабочих жидкостей с разным сроком службы, которые использовали в карьерных экскаваторах. В данной статье приведены результаты исследования гидравлической жидкости

Таблица 1. Срок эксплуатации, моточасы, гидроагрегатов (на примере экскаватора Terex RH-40E)

Количество загрязняющего элемента, мг/кг	Аксиально-поршневой насос	Гидрораспределитель	Гидроцилиндр	Гидромотор
110	8200	7000	9400	15000
200	7000	5900	8300	13700
300	5900	4200	7100	11300
450	4000	3000	5600	8500
520	2950	2100	4000	5000

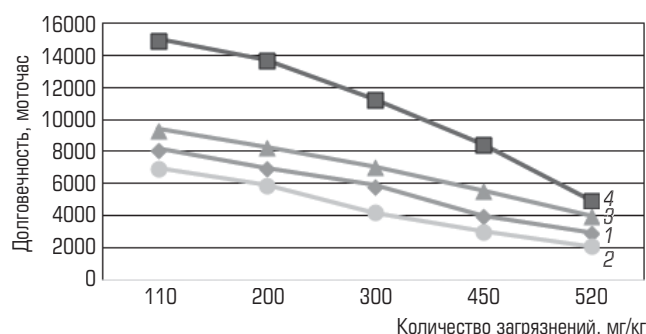


Рис. 1. Зависимость срока службы гидроагрегата от степени загрязненности рабочей жидкости:

1 – аксиально-поршневой насос; 2 – гидрораспределитель; 3 – гидроцилиндр; 4 – гидромотор



Рис. 2. Микроскопическое изображение неиспользованной гидравлической жидкости

ShellTellus-68. Отбор проб для анализа выполняли каждые 500 моточасов, общий рабочий диапазон отбора гидравлической жидкости марки ShellTellus-68 составил 3000 моточасов.

Полученные образцы исследовали на содержание твердых и жидких загрязнений в лаборатории Навоийского государственного горно-технологического университета, в том числе с помощью электронного цифрового бинокулярного микроскопа NLCD-307B. Результаты исследований показаны на **рис. 2 и 3**.

Результаты лабораторных анализов гидравлической жидкости марки ShellTellus-68 представлены в **табл. 2**.

Таблица 2. Результаты исследования загрязнения, мг/кг, гидравлической рабочей жидкости марки ShellTellus-68

Загрязняющие элементы	Часы работы, моточасов					
	500	1000	1500	2000	2500	3000
Частицы пыли (кремний, натрий, калий)	90	126	180	250	350	490
Металлические частицы	48	72	110	170	260	380
Кусочки резины	17	20	25	31	38	45
Общее загрязнение	155	218	315	451	648	915
Максимальный уровень загрязнения, который может быть допущен во время эксплуатации	70	110	155	225	325	450

Анализ состояния гидравлической рабочей жидкости показал, что в условиях открытых горных работ невозможно поддерживать необходимый уровень ее чистоты на протяжении всего планового периода эксплуатации.

Проведенные исследования позволили сделать вывод, что гидравлическая жидкость, используемая в гидросистеме экскаваторов карьера «Мурунтау», имеет тенденцию к быстрому загрязнению и приходит в негодность через 2500 моточасов, при этом плановый период использования рабочей жидкости гидросистемы составляет в среднем 4000–5000 моточасов. Несвоевременная замена гидравлической жидкости приводит к различным неисправностям гидрооборудования и снижению эффективности эксплуатации карьерного гидравлического экскаватора в целом.

Лабораторные анализы рабочей жидкости ShellTellus-68 позволили определить степень ее загрязнения в зависимости от периода использования. По результатам анализа был построен график зависимости загрязненности гидравлической жидкости G от продолжительности ее использования t (рис. 4).

Как видно из графика на рис. 4, с увеличением срока службы растет и степень загрязнения рабочей жидкости гидросистемы. График фактического уровня загрязнения может быть условно разделен на два участка, граница которых лежит в пределах 1800–2100 моточасов. Интерполировав участки отрезками и принимая тангенс угла наклона отрезка как усредненный показатель интенсивности загрязнения, получим, что на втором участке графика интенсивность загрязнения рабочей жидкости возросла в среднем в 2,5 раза. Это можно объяснить разрушением присадок вследствие тяжелых климатических условий, дросселирования рабочей жидкости, а также выделением из масла микроскопических частиц асфальтов и битумов в результате эксплуатации рабочей жидкости при температурах, превышающих допустимые значения [16, 17]. Жидкие загрязнения закупоривают поры фильтров, снижая эффективность их работы. Данное предположение подтверждается результатами микроскопных исследований

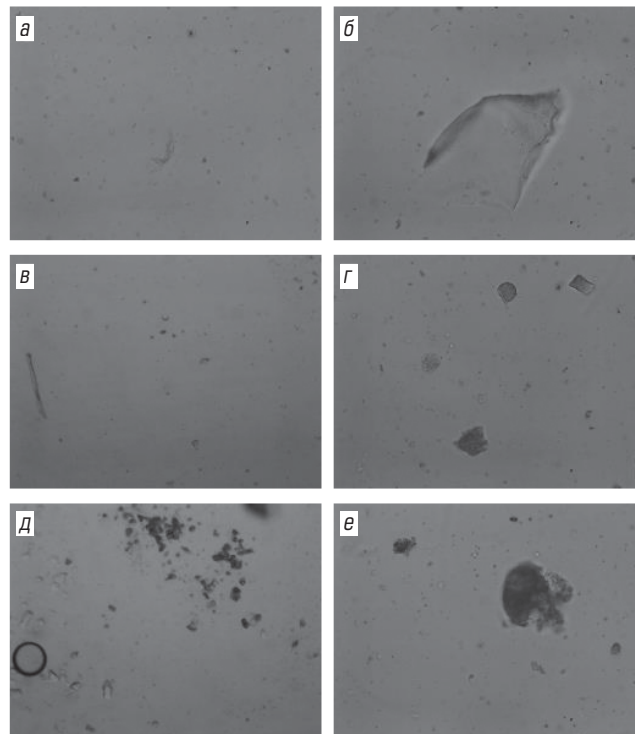


Рис. 3. Микроскопическое изображение загрязнения гидравлической жидкости:

а, б, в, г, д, е – 500, 1000, 1500, 2000, 2500 и 3000 моточасов соответственно

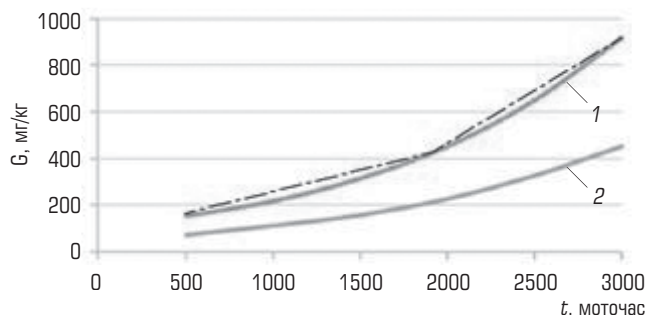


Рис. 4. Зависимость загрязнения гидравлической жидкости G от срока ее службы t :

1 – фактический уровень загрязнения; *2* – максимальный теоретический уровень загрязнения, который может быть допущен при эксплуатации

коэффициента интенсивности загрязнения рабочей жидкости (см. рис. 3, *г, д, е*).

Обсуждение результатов

По результатам экспериментальных работ была определена зависимость загрязненности рабочей жидкости гидросистемы от времени ее использования, что позволяет прогнозировать

степень загрязнения и определять оптимальные сроки замены рабочей жидкости. Соотношение регрессии выглядит следующим образом:

$$G = 0,3t - 72, \quad (1)$$

где G – загрязненность, мг/кг; t – время работы, моточасов. Коэффициент корреляции уравнения $r = 0,96$.

Проведенные исследования показывают, что эффективность работы карьерного гидравлического экскаватора может быть повышена за счет поддержания чистоты и оптимальных параметров рабочей жидкости.

Влияние чистоты рабочей жидкости на рабочий ресурс деталей гидросистемы рассматривали в ряде научных работ. Для определения воздействия загрязняющих рабочую жидкость частиц на ресурс агрегатов гидравлической системы карьерных гидравлических экскаваторов В. П. Слесаревым были предложены следующие соотношения [9, 11]:

$$R_c = R_{c(ecs)} \left[\left(\frac{P_{c(ecs)}}{P_c} \right)^a \left(\frac{v_{c(ecs)}}{v_c} \right) \right] \frac{d_{c\Sigma(ecs)}^{2,77} C_{ecs}}{d_c^{2,77} C_c}, \quad (2)$$

где $R_{c(ecs)}$ – теоретическая работа, моточасы; $P_{c(ecs)}$ – данное по теории давление, Па; P_c – данное давление в гидравлической системе, Па; a – коэффициент разности давлений, $a = 1$; $v_{c(ecs)}$ – скорость рабочей жидкости по данной теории, м/с; v_c – скорость рабочей жидкости в гидравлической системе, м/с; $d_{c\Sigma(ecs)}^{2,77}$ – размер частиц в рабочей жидкости по теории, мм; $d_c^{2,77}$ – размер частиц в рабочей жидкости гидравлической системы, мм; C_{ecs} – концентрация загрязняющих частиц в исходном состоянии, кг/кг; C_c – концентрация загрязняющих частиц в гидравлической системе в текущем состоянии, кг/кг.

Однако приведенный выше параметр C_c считается сложным при определении количественной концентрации загрязняющих частиц в гидравлической системе в ходе эксплуатации; при считывании выбирают промежуточную величину этого показателя, что, в свою очередь, уменьшает точность подсчетов.

Подсчет с высокой точностью C_c -воздействия загрязняющих частиц рабочей жидкости на ресурс агрегатов гидравлической системы можно обеспечить через определение данной величины по формуле

$$C_i = \delta n_{q(i)} = 3\pi 10^{-6} \left(\frac{\rho_q}{\rho_M} \right) d_i^3 n_{q(i)}, \quad (3)$$

где δ – количество массовой концентрации механических примесей, кг/кг; n_q – количество загрязняющих частиц гидравлической системы; ρ_q – плотность частиц, кг/м³; ρ_M – плотность рабочей жидкости, кг/м³.

С учетом выражения (3) формула (2) будет иметь вид:

$$R_{c(ecs)} \left[\left(\frac{P_{c(ecs)}}{P_c} \right)^a \left(\frac{v_{c(ecs)}}{v_c} \right) \right] \frac{d_{c\Sigma(ecs)}^{2,77}}{d_c^{2,77}} \frac{3\pi \cdot 10^{-6} \left(\frac{\rho_q}{\rho_M} \right) d_{c\Sigma(ecs)}^3 n_{q(ecs)}}{3\pi \cdot 10^{-6} \left(\frac{\rho_q}{\rho_M} \right) d_c^3 n}, \quad (4)$$

где $d_{c\Sigma(ecs)}$ и d_c – размер частиц, мм; $n_{q(ecs)}$ – количество загрязняющих частиц до использования рабочей жидкости.

Из вышеприведенного выражения (4) составим следующую пропорцию соответствия количества загрязняющих частиц и степени загрязненности:

$$n_{q(ecs)} \rightarrow (0,3t - 72) \cdot 100 \%; \quad (5)$$

$$n_q \rightarrow m_3;$$

$$\frac{n_{q(ecs)}}{n_q} = \frac{m_3}{(0,3t - 72) \cdot 100 \%}, \quad (6)$$

где m_3 – степень загрязненности по классу чистоты, % (ГОСТ-17216–2001 «Чистота промышленная. Классы чистоты жидкостей»).

Через связь выражений (2) и (6) можно определить степень уменьшения рабочего ресурса гидравлических устройств:

$$I_{pec} = H_{pec} K_p K_v \frac{m_3}{(0,3t - 72) \cdot 100 \%}; \quad (7)$$

$$I_{сер.pec} = C_{сер.pec} K_p K_v \frac{m_3}{(0,3t - 72) \cdot 100 \%}; \quad (8)$$

где H_{pec} – теоретический рабочий ресурс гидравлического устройства, моточасы; $I_{сер.pec}$ – уменьшение рабочего ресурса гидравлического устройства вследствие загрязнения рабочей жидкости, моточасы; $C_{сер.pec}$ – рабочий ресурс гидравлического устройства, установленный предприятием, моточасы; K_p – коэффициент давления, равный 0,95–0,98; K_v – коэффициент скорости, равный 0,91–0,95.

Заключение

Результаты исследований влияния состояния рабочей жидкости на ресурс элементов гидросистемы подтвердили, что работа элементов и узлов гидросистем карьерных гидравлических экскаваторов на загрязненной жидкости снижает их ресурс в 2,35–3,3 раза, что приводит к быстрому выходу из строя экскаватора.

Согласно исследованиям, количество загрязнений нелинейно возрастает с увеличением срока эксплуатации рабочей жидкости. Высокий уровень загрязнения гидравлической жидкости требует сокращения срока ее использования и преждевременной замены.

На основании выражений (7) и (8) возможно определять степень уменьшения рабочего ресурса гидравлических устройств в зависимости от лабораторных данных о загрязнении рабочей жидкости гидравлической системы карьерного экскаватора.

Таким образом, долговечность гидроагрегатов гидравлических систем горных машин зависит от множества факторов. Одним из наиболее значимых, оказывающих отрицательное влияние, является загрязненность рабочих жидкостей твердыми и жидкими включениями. Выполненные исследования позволили установить, что минимальное содержание

загрязняющих веществ в гидравлической жидкости обеспечивает оптимальную долговечность гидроагрегатов, повышение количества загрязняющих веществ существенно снижает ресурс работы. Для качественной эксплуатации гидропривода

необходима разработка технических решений по поддержанию чистоты и оптимальных рабочих свойств гидравлических рабочих жидкостей в гидросистемах.

Библиографический список

1. *Жураев А. Ш.* Повышение эксплуатационной эффективности карьерных гидравлических экскаваторов на основе совершенствования их гидравлической системы : дис. ... PhD по техн. наук. – Навои, 2021.
2. *Абдуазизов Н. А.* Разработка методов повышения эффективности карьерных гидрофицированных экскаваторов на основе оптимизации их гидравлических систем : дис. ... д-ра техн. наук. – Алмалык, 2020. – 200 с.
3. *Abduazizov N. A., Muzaffarov A., Toshirov J. B., Juraev R. U., Zhuraev A. Sh.* A complex of methods for analyzing the working fluid of a hydrostatic power plant for hydraulic mining machines // *International Journal of Advanced Science and Technology*. 2020. Vol. 29. No. 5s. P. 852–855.
4. *Poderni R. Y., Koelsh H. R.* Adaptation of Hydraulic Shovels for Arctic Temperature of Yakutia Region // *Mine Planning and Equipment Selection : Proceedings of the 19th International Symposium*. – Fremantle, 2010. P. 749–802.
5. *Слесарев Б. В.* Обоснование параметров и разработка средств повышения эффективности эксплуатации карьерных гидравлических экскаваторов : автореф. дис. ... канд. техн. наук. – М., 2005. – 24 с.
6. *Штейнцвайг В. М., Даутов Р. Р., Бродский Г. С., Слесарев Б. В.* Средства повышения эффективности эксплуатации мощных гидравлических экскаваторов на карьерах Якутии // *Актуальные проблемы разработки кимберлитовых месторождений: современное состояние и перспективы решения : сб. докл. Междунар. науч.-практ. конф. «Мирный-2001»*. – М. : Руда и Металлы, 2002. С. 93–97.
7. *Abduazizov N. A., Zhuraev A. Sh.* The contemporary state and prospects of development of power equipment of mining machines // *Advanced Engineering Science*. 2022. Vol. 54. Iss. 2.
8. *Булес П. А.* Обеспечение надежности работы карьерных гидравлических экскаваторов при их эксплуатации на открытых разработках России : дис. ... канд. техн. наук. – М., 2016. – 163 с.
9. *Кривенко А. Е., Занг Куок Кхань.* Исследование влияния температурного режима рабочей жидкости гидросистемы на эффективность работы карьерного гидравлического экскаватора // *Горный журнал*. 2020. № 12. С. 78–81.
10. *Hidayat H., Aviva D., Muis A., Halik A., Sudarsono S. et al.* Failure analysis of excavator hydraulic pump // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2022. Vol. 1212. 012052. DOI: 10.1088/1757-899X/1212/1/012052
11. *Lukashuk O. A., Komissarov A. P., Letnev K. Y.* Increasing power efficiency of open-pit excavators // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2020. Vol. 709. No. 2. 022083. DOI: 10.1088/1757-899X/709/2/022083
12. *Дорошенко В. А.* Объемный гидро- и пневмопривод : учеб. пособие. – Екатеринбург : Изд-во Уральского ун-та, 2019. – 196 с.
13. *Гольдбук А. Е.* Исследование и выбор оптимальных параметров гидростатических разгрузочных устройств радиально-поршневых гидромоторов привода горных машин : автореф. дис. ... канд. техн. наук. – М., 1971. – 15 с.
14. *Абрамов С. В., Перлов А. С. и др.* Аналитический метод расчета кинематических и силовых параметров механизмов рабочего оборудования гидравлических экскаваторов // *Строительные и дорожные машины*. 1971. № 1. С. 3–8.
15. *Мижибрада И.* Разработка модели оценки эффективности управления системой технического обслуживания и ремонта одноковшовых карьерных гидравлических экскаваторов : автореф. дис. ... канд. техн. наук. – М., 2018. – 20 с.
16. *Занг Куок Кхань, Кривенко А. Е., Пудов Е. Ю., Кузин Е. Г.* Разработка модели оценки эффективности системы охлаждения рабочей жидкости гидравлического карьерного экскаватора // *Горный журнал*. 2021. № 12. С. 64–69.
17. *Kujundžić T., Klanfar M., Korman T., Briševac Z.* Influence of Crushed Rock Properties on the Productivity of a Hydraulic Excavator // *Applied Sciences*. 2021. Vol. 11. Iss. 5. DOI: 10.3390/app11052345

«GORNYI ZHURNAL», 2023, № 12, pp. 88–93
DOI: 10.17580/gzh.2023.12.14

Influence of working fluid on operating efficiency of hydraulic systems of open pit mining machines

Information about authors

N. A. Abduazizov¹, Vice-Principal of Education, Doctor of Engineering Sciences

G. E. Raikhanova², Deputy Director, Candidate of Engineering Sciences, galiya82@inbox.ru

A. V. Vinogradov³, Deputy Director of Center for Automated Machine Building Supervision

A. Sh. Zhuraev¹, Acting Associate Professor, Candidate of Engineering Sciences

¹Navoi State University of Mining and Technologies, Navoi, Republic of Uzbekistan

²NUST MISIS, Division in Almalyk, Almalyk, Republic of Uzbekistan

³Moscow State Technological University, Moscow, Russia

Abstract

Mining enterprises of the Republic of Uzbekistan pay great attention to the improvement of quality indicators of the main excavation and loading equipment operation. The growing depth of open pit mining in difficult geological conditions and the increased requirements for reliability and efficiency of excavators lead to the expansion of application fields of hydraulic machines and to the increase of their capacity. Modern hydraulic excavators are the expensive high-tech equipment, and their operation and maintenance require strict adherence to technical regulations and specialized training of personnel. Efficiency of an excavator depends on many factors and largely on technical state of its hydraulic system. When hydraulic excavators operate in difficult climatic conditions, the number of failures of hydraulic equipment increases, and therefore issues connected with reducing the operating cost of hydraulic systems of mining excavators and with their trouble-free operation are highly relevant.

Reliability and efficiency of hydraulic system components depends greatly on the purity of the hydraulic fluid used. The decrease in the service life of assemblies and parts of

the hydraulic system of a hydraulic excavator occurs due to the following reasons: high concentration of solid mechanical impurities, which leads to adhesion, abrasion and erosion damage; high concentration of liquid impurities, including water and bitumen, which causes corrosion and siltation; excess concentration of air (gas), which conditions cavitation erosion.

The article presents the research results on the impact exerted by the concentration of working fluid impurities on the service life of the hydraulic system of excavators. The graphical pattern of durability of hydraulic systems with respect to the level of contamination is plotted; the composition of hydraulic fluids is analyzed in terms of dust and contaminating elements, and their impact on the system is assessed; the dependence of contamination of the working fluid of the hydraulic system on the time of its use is proposed to predict the degree of contamination and to determine the optimum level of contamination of the hydraulic system.

Key words: hydraulic system, hydraulic excavator, reliability, efficiency, purity, fluid contamination, parts corrosion, abrasiveness

References

- Zhuravlev A. Sh. Improvement of operating efficiency of hydraulic excavators in open pit mines through hydraulics upgrading : Dissertation of Candidate of Engineering Sciences. Navoi, 2021.
- Abduazizov N. A. Methods to improve efficiency of hydraulic excavators in open pit mines through optimization of hydraulics : Dissertation of Doctor of Engineering Sciences. Almalyk, 2020. 200 p.
- Abduazizov N. A., Muzaffarov A., Toshov J. B., Juraev R. U., Zhuraev A. Sh. A complex of methods for analyzing the working fluid of a hydrostatic power plant for hydraulic mining machines. *International Journal of Advanced Science and Technology*. 2020. Vol. 29, No. 5s. pp. 852–855.
- Podemi R. Y., Koelsh H. R. Adaptation of hydraulic shovels for Arctic temperature of jakutia Region. *Mine Planning and Equipment Selection : Proceedings of the 19th International Symposium*. Fremantle, 2010. pp. 749–802.
- Slesarev B. V. Substantiation of parameters and development of means to enhance efficiency of hydraulic excavators in open pit mines : Theses of Dissertation of Candidate of Engineering Sciences. Moscow, 2005. 24 p.
- Slesarev B. V., Shteyntsayg V. M., Dautov R. R., Brodskiy G. S. Improvement of operating efficiency of heavy-duty hydraulic excavators in open pit mines in Yakutia. *Kimberlite Mining—Present-Day Situation and Prospects : Proceedings of International Conference Mirny—2001*. Moscow : Ruda i Metally, 2002. pp. 93–97.
- Abduazizov N. A., Zhuraev A. Sh. The contemporary state and prospects of development of power equipment of mining machine. *Advanced Engineering Science*. 2022. Vol. 54, Iss. 2.
- Bules P. A. Reliability of hydraulic excavators in open pit mining in Russia : Dissertation of Candidate of Engineering Sciences. Moscow, 2016. 163 p.
- Krivenko A. E., Zhang Kuok Khanh. Influence of power fluid temperature in hydraulics on operating efficiency of hydraulic mining excavators. *Gornyi Zhurnal*. 2020. No. 12. pp. 78–81.
- Hidayat H., Aviva D., Muis A., Halik A., Sudarsono S. et al. Failure analysis of excavator hydraulic pump. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2022. Vol. 1212. 012052. DOI: 10.1088/1757-899X/1212/1/012052
- Lukashuk O. A., Komissarov A. P., Letnev K. Y. Increasing power efficiency of open-pit excavators. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2020. Vol. 709, No. 2. 022083. DOI: 10.1088/1757-899X/709/2/022083
- Doroshenko V. A. Positive-displacement pneumatic and hydraulic drives : Tutorial. Yekaterinburg : Izdatelstvo Uralskogo universiteta, 2019. 196 p.
- Goldbukh A. E. Analysis and choice of optimal parameters for hydrostatic loading units of rotary-plunger hydraulic motors of mining machines : Theses of Dissertation of Candidate of Engineering Sciences. Moscow, 1971. 15 p.
- Abramov S. V., Perlov A. S. et al. Analytical calculation of kinematic and force parameters for working mechanisms of hydraulic excavators. *Stroitelnye i dorozhnye mashiny*. 1971. No. 1. pp. 3–8.
- Mizhibrada I. Efficiency evaluation model of maintenance and repair control for single-bucket hydraulic excavators for open pit mines : Theses of Dissertation of Candidate of Engineering Sciences. Moscow, 2018. 20 p.
- Giang Quoc Khanh, Krivenko A. E., Pudov E. Yu., Kuzin E. G. Performance evaluation model for power fluid cooling system of hydraulic excavators. *Gornyi Zhurnal*. 2021. No. 12. pp. 64–69.
- Kujundžić T., Klanfar M., Korman T., Briševac Z. Influence of crushed rock properties on the productivity of a hydraulic excavator. *Applied Sciences*. 2021. Vol. 11, Iss. 5. DOI: 10.3390/app11052345

От коллектива АО «НПО «РИВС» и от себя лично выражаю благодарность всей редакции «Горного журнала» за подготовку номерного выпуска № 10, посвященного научно-практической конференции «РИВС».

Высочайший профессионализм сотрудников редакции, чуткое отношение к слову, неравнодушие к своему делу и организационные навыки позволили подготовить номер в максимально короткие сроки, сделать выпуск информационно насыщенным и интересным.

Уверен, что наше сотрудничество продолжится! В преддверие Нового года желаю коллективу «Горного журнала» дальнейших творческих успехов и благополучия!

С уважением,
Генеральный директор

А. Х. Хасянов



УДК 622.45.001.2

ДИНАМИКА ВЫХЛОПНЫХ ГАЗОВ ОТ ДИЗЕЛЬНЫХ МАШИН В РУДНИКАХ*

С. С. КОБЫЛКИН¹, проф., д-р техн. наук, kobylkin.S@misis.ru

Н. О. КАЛЕДИНА¹, проф., д-р техн. наук

А. С. КОБЫЛКИН², старший научный сотрудник, канд. техн. наук

В. А. СЕНАТОРОВ³, помощник командира отряда

¹ Горный институт НИТУ МИСИС, Москва, Россия

² ИПКОН РАН, Москва, Россия

³ Военизированный горноспасательный отряд Юга и Центра, г. Губкин, Белгородская обл., Россия

Введение

В направлении разработки универсальной методики расчета необходимого и достаточного количества воздуха для разбавления газов от работающих машин с двигателем внутреннего сгорания (ДВС) ведут работы многие научные организации как за рубежом, так и в России. Актуальность темы для горнодобывающей промышленности нашей страны связана с ростом мощностей дизельного оборудования, применяемого на горных предприятиях, требующего огромных расходов воздуха по действующим в РФ нормативам, установленным почти 100 лет назад.

Основопологающим документом, в котором были регламентированы порядок измерения состава выхлопных газов от машин с ДВС и норма чистого воздуха на 1 л. с. мощности двигателя, является письмо Госгортехнадзора СССР № 05-27112 от 16.03.1976 г. В нем приведен порядок определения требуемого удельного расхода воздуха.

«1. Количество воздуха для разбавления выделяемых машиной выхлопных газов до санитарной нормы должно приниматься не менее 5 м³/мин на 1 л. с. номинальной мощности двигателя.

Достаточность этого количества воздуха для машин каждого типа должна быть проверена анализами проб воздуха на окислы азота и окись углерода (по методике военизированной горноспасательной части, ВГСУ), взятых в первые двое суток работы машины после спуска ее в выработки. При этом пробы воздуха следует отбирать на исходящей струе на расстоянии, на котором достигается равномерное распределение газов в поперечном сечении выработки (в камерообразных выработках – на исходящей струе из камер и в штрекообразных – на расстоянии не менее шестикратного значения корня квадратного из площади поперечного сечения выработки) в течение не менее двух циклов работы машины. В период каждого цикла через равные отрезки времени должно быть отобрано не менее 6 проб. Среднее содержание каждого газа необходимо определять по результатам анализа всех проб.

Исследована динамика выхлопных газов при работе машин различных типов с двигателями внутреннего сгорания (ДВС). Установлено, что вспомогательный горный транспорт с ДВС имеет худшие показатели по количеству вредных выхлопных газов, чем погрузочно-доставочные машины и шахтные самосвалы. Для оценки динамики выхлопных газов использовано трехмерное моделирование. Полученные результаты позволили сформулировать основные принципы проведения измерений для получения средних концентраций по сечению горной выработки.

Ключевые слова: безопасность, вентиляция, подземный рудник, проектирование, двигатель внутреннего сгорания, выхлопные газы, эксперимент, методика

DOI: 10.17580/gzh.2023.12.15

В случаях, когда по усредненным результатам анализа ядовитые продукты выхлопа превышают санитарные нормы, при расчете должно быть соответственно увеличено количество воздуха сверх 5 м³/мин на 1 л. с. номинальной мощности двигателя.

2. Необходимое количество воздуха для проветривания отдельной выработки или нескольких выработок, входящих в одну вентиляционную ветвь, следует принимать, исходя из условия разбавления до санитарных норм выхлопных газов всех машин, предусмотренных технологией в одновременной работе.

Учитывая, что при работе машин имеет место неодновременность их использования, в расчете допускается принимать коэффициент их одновременности: при одной машине – равный 1; двух машинах – 0,9; трех и более – 0,85.

3. При определении потребного количества воздуха допускается исключение из расчета потребности в воздухе для разбавления выхлопных газов буровых машин с ходовым дизельным приводом, используемых в комплексе с другими самоходными дизельными машинами, а также машин вспомогательного назначения при работе их в выработках со сквозной струей воздуха не более 10 мин в течение 2 ч.

4. Установленное расчетом необходимое количество воздуха следует доводить до мест работы машин.

5. Количество воздуха для проветривания участка вентиляционной сети и рудника в целом необходимо определять как сумму потребностей отдельных вентиляционных ветвей с учетом машин, работающих на общешахтной вентиляционной струе».

После проведения регуляторной «гильотины» данное разъяснение стало недействительным. Однако остались вопросы: на каком расстоянии следует отбирать пробы воздуха и на каком расстоянии достигается равномерное распределение

*В подготовке материалов статьи принимал участие В. В. Нагорнюк, главный инженер подземного рудника ООО «Яковлевский ГОК».

газов в поперечном сечении выработки? Очевидно, что место равномерного распределения газов будет зависеть от скорости воздушного потока, режима работы машины, температуры выхлопных газов и от самих свойств этих газов. И так же, как и ранее, требуется фактическое определение количественного и качественного состава выхлопных газов.

Новый подход в определении необходимого и достаточного количества воздуха был предложен учеными Горного института УрО РАН [1–3]. Количество воздуха определяют с учетом объема цилиндров двигателя машины. Однако такое решение все равно требует экспериментального определения дополнительного коэффициента для каждого типа машин.

Как показал анализ, проведенный в Санкт-Петербургском горном университете [4], нормы количества воздуха на единицу мощности двигателя, принятые в различных странах, существенно разнятся. Отмечается, что эта норма подачи воздуха, принятая на 1 л. с., в США составляет, м³/мин: 0,675–2,5; в Канаде – 2,1–7,1; в Германии – 6; Франции – 2–4; в странах СНГ – 5. Таким образом, удельный расход воздуха на 1 л. с. мощности двигателя в зарубежной и отечественной практике находится в диапазоне от 0,7 до 7,1 м³/мин, что зависит от ряда условий: качества дизельного топлива, технического состояния ДВС, систем газоочистки и др.

Для снижения выбросов предлагают локальные способы, заключающиеся, например, в использовании нейтрализаторов различных конструкций, применении биодобавок к топливу и др. [5–7].

В зарубежной научной литературе большое внимание уделяют наночастицам сажи, образующимся при работе машин с ДВС. Отмечается ее высокое канцерогенное воздействие, которое приводит к раку легких [8]. В России данную проблему разрабатывали в 1980-е годы, но с закрытием соответствующих НИИ в настоящее время она не исследуется. В Англии в рамках исследовательской программы Diesel Exhaust in Miners Study (DEMS) была установлена связь [9, 10] между объемами наночастиц сажи и окиси углерода. Это позволяет использовать ее в качестве альтернативы для количественной оценки комплексного воздействия дизельных выхлопных газов (DEP). В Австралии для отслеживания траекторий движения наночастиц сажи использовали газ-индикатор гексафторид серы (SF₆) [11]. В процессе исследований были определены условия проветривания, при которых сажа попадает в область дыхания горнорабочих. Выбросы выхлопных газов дизельных двигателей также исследовали в Комитете по гигиеническим стандартам BOHS.

Для изучения фактического состояния загазованности атмосферы рудников, использующих современное дизельное оборудование, и оценки достаточности подаваемого расхода воздуха Горным институтом НИТУ МИСИС совместно с ВГСЧ на нескольких железорудных предприятиях были проведены масштабные исследования по оценке фактической загазованности атмосферы горных выработок при работе машин с ДВС (шахтные автосамосвалы, породопогрузочные машины).



Рис. 1. Фотография с места установки анализатора Testo 350XL на ПДМ LH-310 в момент запуска записи показаний

Методика проведения эксперимента

Для оценки фактического количественного и качественного состава выхлопных газов от машин с ДВС была разработана специальная методика. В ее основе лежит применение рабочих станций Testo 350XL и MRU 2100. Данные измерительные станции предназначены для комплексного измерения состава выхлопных газов с учетом их температуры. Максимально допустимая температура измерения равна 500 °С.

Анализатор Testo 350XL измеряет все параметры, необходимые для контроля процессов горения (концентрации O₂, CO, CO₂, NO_x, SO₂, H₂S, H₂). Регистратор, кроме концентрации газов, измеряет и записывает в память такие параметры, как температура, относительная влажность, скорость потока выхлопных газов и дифференциальное давление. Управление Testo 350XL осуществляют с управляющего модуля или с персонального компьютера с помощью программы Testo ComSoft 3. Анализатор Testo 350XL может автоматически выполнять измерения после программирования с управляющего модуля. После ручного запуска измерений выхлопные газы всасываются встроенным в анализатор насосом через газоотборный зонд.

Измерительный комплекс размещали на корпусе машин, зонд заводили в выхлопную трубу (рис. 1). Машины выполняли рейсы, при этом фиксировали обороты двигателя и технологические процессы, выполняемые самоходной горной техникой (погрузку, разгрузку, движение вверх или вниз и т. п.).

Порядок проведения измерений следующий:

- прибор размещают в защитном кейсе;
- запускают программу измерений, фиксируют время запуска прибора;
- измерительный зонд размещают в выхлопной трубе и крепят специальными фиксирующими устройствами;

- на зонд крепят теплосъемник для недопущения оплавления ручки зонда;
- приборную станцию размещают и крепят на машине;
- машину заводят и отправляют на полный цикл работы, включающий погрузку, разгрузку, движение вверх и вниз по горным выработкам и по горизонтальным участкам; при этом каждую технологическую операцию фиксируют по времени специалисты, которые располагаются на ключевых участках пути;
- по завершении полного цикла работ машину останавливают, двигатель выключают (фиксируют время);
- запись показаний останавливают и фиксируют время.

Анализатор MRU 2100 не имеет возможности непрерывной записи с сохранением в памяти показаний. Он был использован для анализа состава выхлопных газов и их температуры при неподвижной работе машин различных типов с разным числом оборотов двигателя (начиная с холостого хода и с постепенным увеличением числа оборотов двигателя машин). В данном эксперименте измеряли параметры проветривания горной выработки, в которой размещали машины (измеряли температуру, влажность, скорость движения воздуха, абсолютное давление). Также на различном удалении от машины измеряли концентрацию выхлопных газов в рудничной атмосфере. Измерения проводили при помощи специальных приборов контроля параметров рудничной атмосферы (АПР-2, МБГО, ТГО-2МП, АПА-1, MRU Delta 2000 CD, Testo 350, Микросенс М3). Воздушно-депресссионные и газовые съемки выполняли по стандартным методикам.

Расход газов из выхлопных труб машин $q_{\text{вых}}$ определяли путем умножения фактической средней скорости движения

газов (измеряли акустическим анемометром АПА-1 и встроенным модулем расходомера анализаторов) на площадь сечения выхлопной трубы.

Анализ результатов натурных измерений

Результаты измерений анализатором Testo 350XL показаны на **рис. 2**. Здесь представлен совмещенный график по концентрации различных выхлопных газов, кислорода и температуры. При отображении на графике технологических процессов можно наблюдать четкие границы, когда машина поехала, когда поднимается или опускается. Наблюдаются некоторые средние линии, а есть пики, связанные с резким нажатием на педаль газа. Этот совмещенный график по работе ПДМ за один цикл работы имеет характерный вид для всех обследованных типов горных машин. Средняя скорость движения воздуха по горной выработке равна 0,2 м/с, температура воздуха 26 °С.

Во всех процессах, связанных со сжиганием различных видов топлива, содержание NO в выхлопных газах составляет 95–98 % и более, NO₂ – 2–5 % и менее. Та же закономерность наблюдается и с CO и CO₂ (см. рис. 2). При раздельном определении содержания NO и NO₂ в выхлопных газах в обязательном порядке выполняют их пересчет в NO₂ (или NO_x в пересчете на NO₂) по формуле [11] NO_x (в пересчете на NO₂) = 1,53 NO + NO₂.

Также в соответствии с утратившими силу Правилами безопасности при строительстве подземных сооружений (§12.1.7, с. 150,) «При проверке степени разжижения вредных продуктов взрыва следует принимать: 1 л окислов азота эквивалентными 6,5 л окиси углерода, 1 л

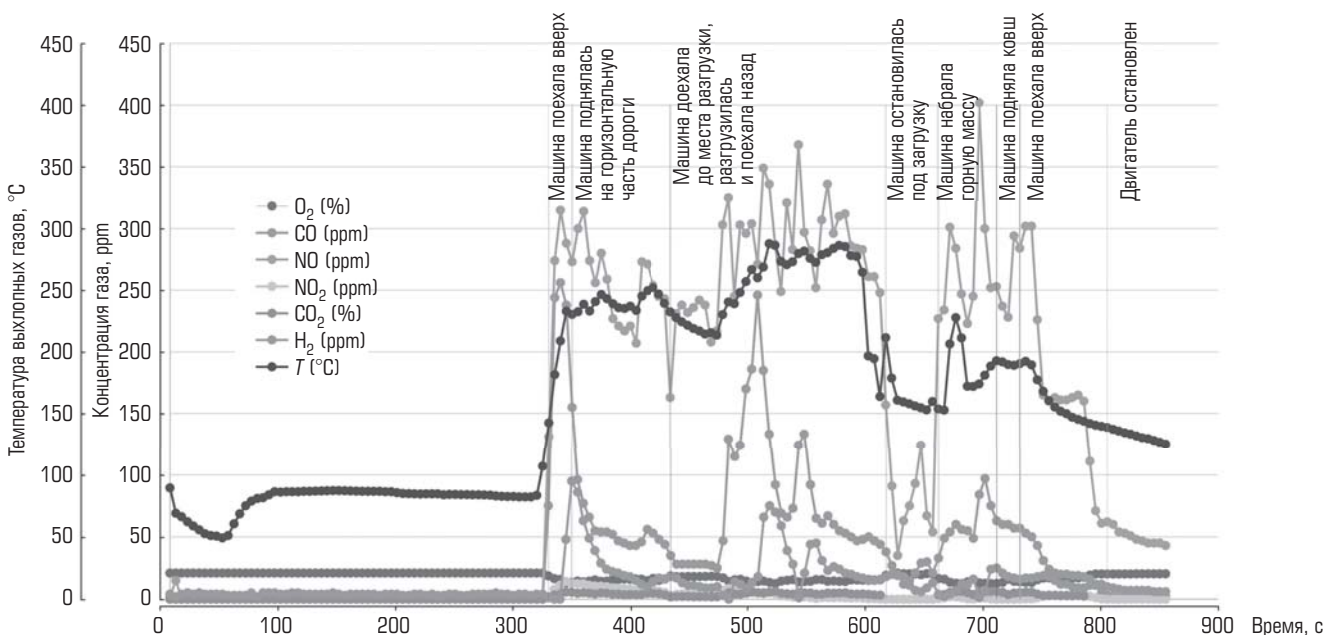


Рис. 2. Совмещенный график изменения концентраций компонентов выхлопных газов и их температуры при работе ПДМ LH-310 в привязке к технологическим процессам

сернистого газа – 4,5 л окиси углерода, 1 л сероводорода – 2,4 л окиси углерода». Этот подход, заключающийся в пересчете всех вредных газов на один газ, используют для определения величины количества воздуха, необходимого для разбавления выхлопных газов до нормативных значений, указанных в Федеральных нормах и правилах в области промышленной безопасности. С учетом результатов работ [12, 13] предлагаем пересчет газов в выхлопах выполнять на CO: учет данных по эквивалентности позволяет одновременно учесть в одной концентрации окиси углерода все возможные компоненты выхлопных газов или в виде общей формулы C_{CO} (с учетом NO_x) = $C_{CO} + 6,5(1,53C_{NO_x} + C_{NO_2})$.

Присутствие в выхлопных газах других компонентов (SO_2 , H_2S , H_2) совсем незначительное или они вовсе отсутствуют.

В результате проведенных измерений по разработанной методике были получены фактические значения состава выхлопных газов, их количества и температуры по имеющемуся парку самоходной дизельной техники (см. таблицу). Также в таблице представлен расчет количества выхлопных газов в пересчете их на NO_2 и на CO в m^3/c и mg/m^3 .

Концентрации газов, измеряемые в ppm, в таблице переведены в mg/m^3 и в % (об.). С учетом приведения концентраций оксидов азота к концентрации оксида углерода по вышеуказанной формуле абсолютное газовыделение от машин с ДВС I_{CO} рассчитывали по формуле

$$I_{CO} = 60q_{\text{вых}}C_{CO}/100.$$

Нормативное значение на одну единицу мощности машины с ДВС рассчитывали по зависимости

$$q_{\text{норм}} = I_{CO}100/(C_{ГДК}N).$$

Как видно из приведенной таблицы, по фактическому газовыделению норма расхода воздуха на 1 л. с. по всему парку ПДМ существенно отличается от 5 $m^3/мин$ как в большую, так и меньшую сторону. При этом расчет следует выполнять на максимальные значения выбросов выхлопных газов.

Интересен тот факт, что более мощные машины (все ПДМ) имеют меньшее газовыделение по сравнению со вспомогательным самоходным транспортом. Так, для всех рассмотренных ПДМ нормативное значение на 1 л. с. составляет менее 5 $m^3/мин$, а для буровых установок и машин для работы в подземных горных выработках требуемый расход на порядок выше существовавшей нормы. Поэтому при определении необходимого расхода воздуха на проветривание выработок при работе машин с ДВС допускается исключение из расчетного расхода потребности в воздухе для разбавления выхлопных газов буровых машин с ходовым дизельным приводом, используемых в комплексе с другими самоходными дизельными машинами, а также машин вспомогательного назначения при работе их в выработках со сквозной струей воздуха не более 10 мин в течение 2 ч.

По полученным данным фактического газовыделения от самоходного оборудования можно сделать вывод, что для каждого типа машин характерны свои значения газовыделения,

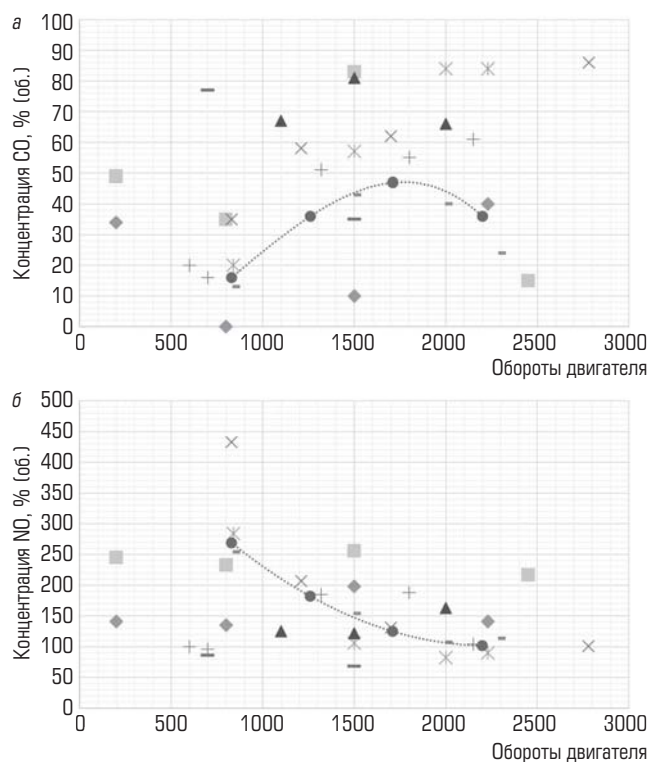


Рис. 3. График зависимости концентрации CO (а) и NO (б) в выхлопных газах от оборотов двигателя:

- машина погрузочно-доставочная ПДМ Epiroc ST1030 AtlasCopco (1 машина);
- ◆ машина погрузочно-доставочная ПДМ Epiroc ST1030 AtlasCopco (2 машины);
- установка буровая DD 311 Sandvik; — подземное транспортное средство Normet Multimec SF 060 (1 машина);
- ✱ подземное транспортное средство Normet Multimec SF 060 (2 машины);
- ▲ машина погрузочно-доставочная ПДМ Caterpillar CAT R1300G; ● вспомогательная машина Multimec SF 060; ✕ самоходная смесительно-зарядная машина Normet Charmat; + машина погрузочно-доставочная ПДМ Sandvik LH410

при этом даже для одного типа машин значения концентрации вредных газов могут отличаться. При этом не всегда более мощные машины выделяют больше вредных газов, что связано с более эффективной очисткой отработанных газов, эксплуатационным состоянием, качеством топлива, манерой вождения машинистов ПДМ и другой самоходной техники. Опытным путем установлено, что увеличение оборотов двигателя не всегда приводит к увеличению количества выхлопных газов (рис. 3). Отсутствует общая зависимость концентрации газов от числа оборотов, т. е. каждой машине присущ свой характер кривой по каждому газовому компоненту. Например, для вспомогательной машины Multimec SF 060 концентрация NO с увеличением оборотов убывает, а концентрация CO имеет экстремум на 1700 оборотах. Для других машин наблюдаются иные зависимости.

Концентрации газов и расход выхлопных газов от ПДМ (максимальные значения) по фактическим измерениям и расчет количества воздуха

Наименование ПДМ	N, л. с.	Измеренные значения					Расчетные значения				Необходимое количество воздуха на единицу мощности $q_{норм}$ (м ³ /мин) на 1 л. с.
		Обороты, об.	$q_{вык}$, м ³ /с	$C_{вык} CO$, мг/м ³	$C_{вык} CO_2$, мг/м ³	$C_{вык} NO$, мг/м ³	NO_x (в пересчете на NO_2), мг/м ³	C_{CO} (в пересчете с NO_x), мг/м ³	C_{CO} (с учетом NO_x), %	I_{CO} , м ³ /мин	
Машина погрузочно-доставочная ПДМ Epirac ST1030 (2019 г. выпуска) 1 машина	249	700	0,004	93,17	47,37	107,5	168,44	1188,00	0,1069	0,00026	0,06
		1500	0,006	42,35	43,58	85	135,99	926,29	0,0834	0,00030	0,07
Машина погрузочно-доставочная ПДМ Epirac ST1030 (2019 г. выпуска) 2 машины	249	800	0,02	0	66,32	168,75	258,19	1678,22	0,1510	0,00181	0,43
		1500	0,027	12,1	106,12	247,5	378,68	2473,49	0,2226	0,00361	0,85
		2000	0,035	41,14	121,28	176,25	269,66	1793,95	0,1615	0,00339	0,80
		2230	0,059	48,4	123,17	176,25	269,66	1801,21	0,1621	0,00574	1,36
Установка буровая Sandvic DD321 (2019 г. выпуска)	15	800	0,071	169,4	117,49	281,25	430,31	2966,43	0,2670	0,01137	44,60
Установка буровая Sandvik DD 311 (2020 г. выпуска)	83	800	0,059	42,35	60,64	291,25	445,61	2938,83	0,2645	0,00936	6,64
		1500	0,422	100,43	85,27	320	489,60	3282,83	0,2955	0,07481	53,02
		2000	0,502	59,29	102,33	306,25	468,56	3104,95	0,2794	0,08417	59,65
		2450	0,723	18,15	123,17	271,25	415,01	2715,73	0,2444	0,10603	75,14
Подземное транспортное средство Normet Multimes SF	127	840	0,136	15,73	58,74	317,5	485,78	3173,27	0,2856	0,02330	10,79
		1500	0,317	52,03	85,27	192,5	294,53	1966,44	0,1770	0,03366	15,59
		2000	0,283	48,4	102,33	133,75	204,64	1378,54	0,1241	0,02107	9,76
		2290	0,396	29,04	106,12	141,25	216,11	1433,77	0,1290	0,03066	14,20
Подземное транспортное средство Normet Multimes SF (2018 г. выпуска)	127	840	0,396	24,2	28,42	355	543,15	3554,68	0,3199	0,07601	35,21
		1500	0,339	68,97	89,06	132,5	202,73	1386,68	0,1248	0,02538	11,76
		2000	0,418	101,64	108,01	102,5	156,83	1121,00	0,1009	0,02530	11,72
		2230	0,441	102	111,8	112,5	172,13	1220,81	0,1099	0,02907	13,47
Машина погрузочно-доставочная ПДМ Caterpillar CAT R1300G	165	1100	0,022	81,07	39,79	156,25	239,06	1634,98	0,1471	0,00194	0,69
		1500	0,017	98,01	45,48	152,5	233,33	1614,62	0,1453	0,00148	0,53
		2000	0,077	79,86	58,74	203,75	311,74	2106,15	0,1896	0,00876	3,12
Машина для работы в подземных выработках Multimes SF 060 (2020 г. выпуска)	129	830	0,371	19,36	37,898	336,25	514,46	3363,37	0,3027	0,06738	30,73
		1260	0,471	43,56	47,37	227,5	348,08	2306,05	0,2075	0,05865	26,75
		1710	0,848	56,87	53,06	156,25	239,06	1610,78	0,1450	0,07376	33,63
		2200	0,942	43,56	62,53	127,5	195,08	1311,55	0,1180	0,06672	30,42
Машина погрузочно-доставочная ПДМ Sandvik LH410 (2014 г. выпуска)	315	700	0,072	19,36	35,44	120	183,60	1212,76	0,1091	0,00472	0,88
		1320	0,101	61,71	45,1	231,25	353,81	2361,49	0,2125	0,01288	2,41
		1800	0,159	66,55	55,14	235	359,55	2403,63	0,2163	0,02064	3,85
		2150	0,175	73,81	85,08	130	198,90	1366,66	0,1230	0,01291	2,41
Самоходная смесительно-зарядная машина Normet Charmat (2020 г. выпуска)	130	830	0,041	42,35	58,74	541,25	828,11	5425,08	0,4883	0,01201	5,43
		1210	0,047	70,18	62,53	258,75	395,89	2643,45	0,2379	0,00671	3,04
		1700	0,132	75,02	64,43	163,75	250,54	1703,51	0,1533	0,01214	5,49
		2780	0,265	104,06	68,22	126,25	193,16	1359,62	0,1224	0,01946	8,80

Следовательно, при натурном определении количественного и качественного состава выхлопных газов необходимо проводить серию экспериментов с работающей машиной на разных оборотах. При этом достаточно, чтобы машина стояла на одном месте, а машинист держал одни и те же обороты двигателя определенное время, пока длится эксперимент.

На основании полученных результатов можно сделать вывод о необходимости изучения этих характеристик индивидуально для всего парка дизельного оборудования: для каждой вновь поступающей машины с ДВС и при ежегодном техническом осмотре (ТО) – для каждой работающей машины. При этом машину следует располагать в протяженной горной выработке так, чтобы на определенном расстоянии можно было бы получить среднюю концентрацию выхлопных газов по всем компонентам, измерив ее в одной точке сечения горной выработки. Длина выработки и расстояние зависят от параметров горной выработки и скорости движения воздуха.

Для определения минимального расстояния, на котором происходит выравнивание концентраций выхлопных газов, был использован системный подход, основанный на трехмерном моделировании в программном комплексе Ansys CFD.

Моделирование газовой выделения от машин с ДВС в программном комплексе Ansys CFD

Проведение динамического моделирования позволяет оценить временные параметры распределения выхлопных газов, увидеть аэродинамику газовоздушного потока и определить параметры диффузии газов в горной выработке. Для моделирования в настоящее время активно применяют программный комплекс Ansys CFD, который хорошо себя зарекомендовал при решении аналогичных задач [14, 15]. Для моделирования были выбраны основные применяемые на руднике машины. Для примера приведем результаты расчетов по ПДМ LH-310, которую располагали в горной выработке. Трехмерная модель представляет собой прямолинейную горную выработку длиной 170 м, шириной 5,3 м и высотой 4,2 м (рис. 4) Расчетную сетку создают по методике, представленной в работе [16], число узлов равно 1,5 млн, а элементов (тетраэдров) – 8,8 млн. Создав виртуальные аналоги и исходя из полученных концентраций и объемов газов от машин с ДВС с учетом их температуры, были проведены динамические расчеты.

Начальные и граничные условия трехмерного моделирования были получены в ходе проведения натурных экспериментов. Средняя скорость движения воздуха по горной выработке равна 0,2 м/с, температура воздуха 26 °С. Двигатель автомобиля нагревается до температуры 75 °С. Для получения соответствующей эпюры скоростей в горной выработке место расположения машины с ДВС в расчетной модели было отнесено на 45 м от места поступления.

Из выхлопной трубы газ выделяется со скоростью 2,6 м/с с температурой 193 °С. Объемная доля оксида углерода CO

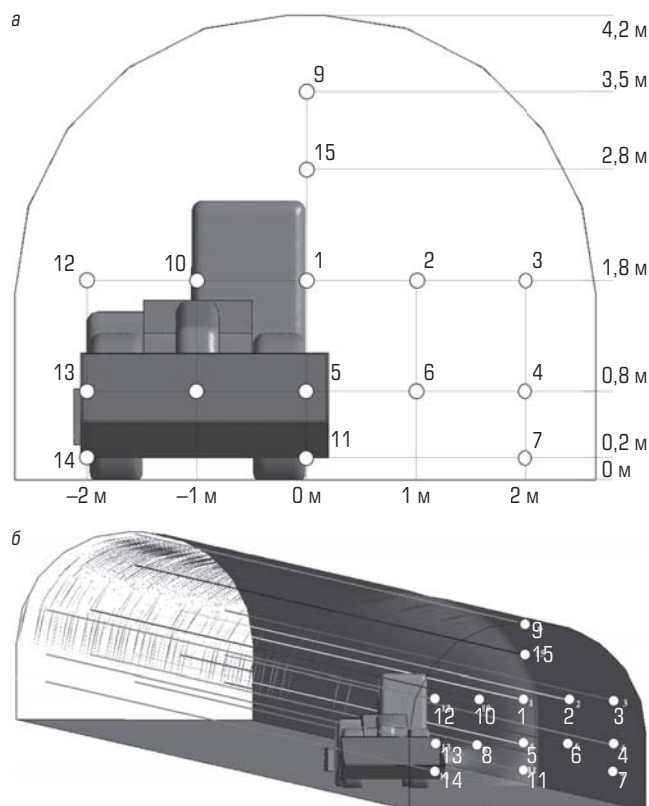


Рис. 4. Распределение контрольных точек в сечении (а) и продольных линий в сечении горной выработки, проведенных через контрольные точки (б)

составляет 0,0008 %, оксида азота NO – 0,004 %. Остальная часть выхлопных газов – воздух.

Значения концентраций анализировали по линиям (расположение линий в сечении указано на рис. 4) на расстоянии от оси выработки с шагом 1 м по ширине и 0,8 м по высоте выработки.

Для анализа и верификации в модели по каждой контрольной линии были построены графики распределения концентрации газа по длине выработки. Например, для случая стоящей машины и работающей на холостом ходу график приведен на рис. 5. Результаты расчетов показали, что сначала газы поднимаются к кровле, а потом происходит распространение их по всему сечению горной выработки.

Проведенное численное моделирование динамических процессов (с изменяющимися параметрами во времени) позволило установить, что в процессе работы машин с ДВС распределение концентрации выхлопных газов со временем приобретает равномерный характер. Выравнивание концентрации выхлопных газов по сечению выработки происходит на расстоянии около 100 м от источника (выхлопной трубы). При этом измерения концентрации газов в любой точке сечения будут отличаться в шестом знаке после запятой (при ПДК CO 0,0017 % по объему, или 0,00017 доли (об.)).

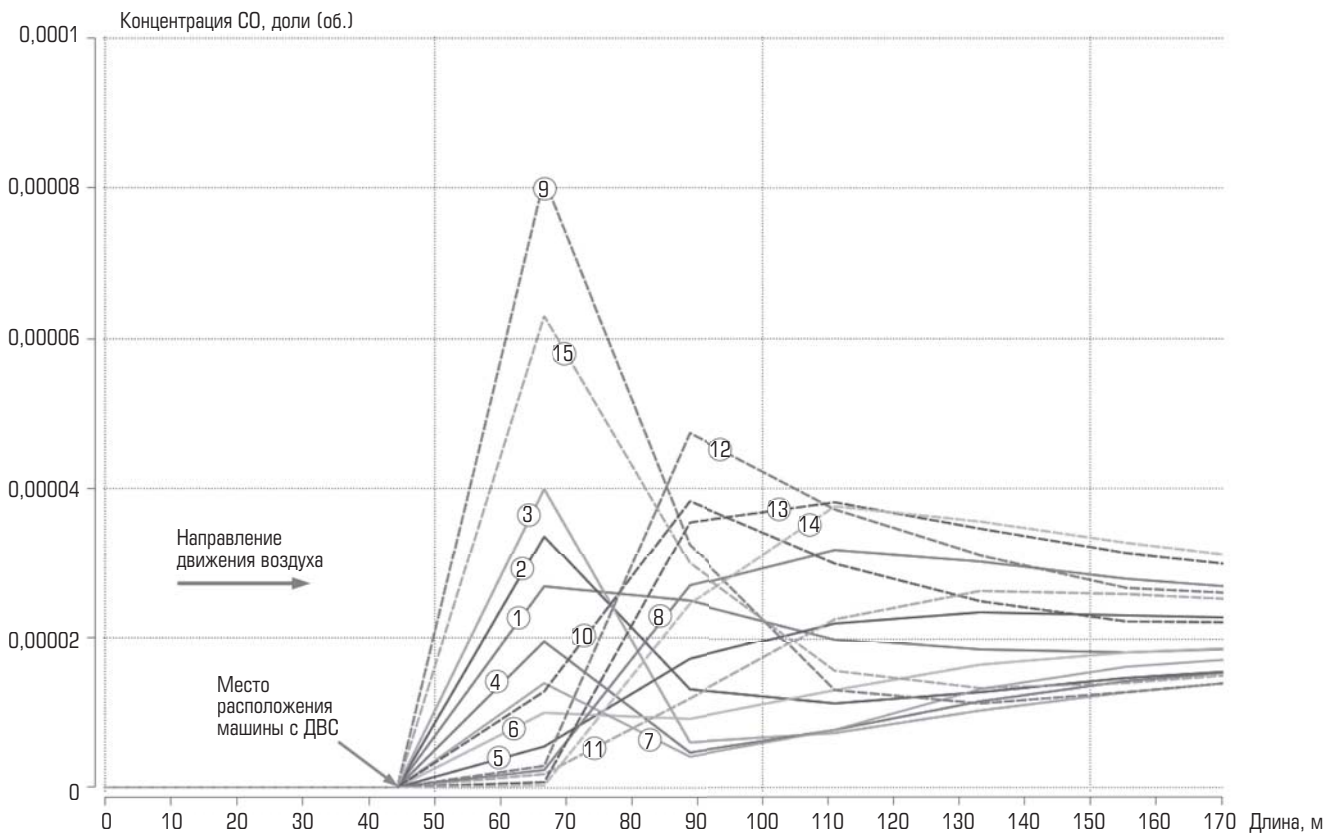


Рис. 5. График распределения угарного газа по контрольным линиям (см. рис. 4) в горной выработке. Цифрами в кружочках указаны номера контрольных линий

Моделированием установлено, что при увеличении скорости движения воздуха (и, как следствие, его расхода), время разбавления выхлопных газов существенно снижается. Также ускоряется вынос газов из горной выработки. При проветривании с максимальной допустимой скоростью движения воздуха концентрация газов снижается в 3,5 раза по сравнению с концентрацией в тех же сечениях при проветривании с минимальной скоростью движения воздуха.

Методика определения необходимого количества воздуха на единицу мощности

С учетом результатов проведенных натурных измерений и компьютерного трехмерного моделирования в нестационарной постановке предлагается использовать следующую методику определения необходимого количества воздуха на единицу мощности (1 л. с.) горной машины с ДВС.

1. При поступлении на предприятие горной машины с ДВС после ее спуска в шахту через один-два дня выполняют оценку фактического газовыделения и расчет необходимого количества воздуха на единицу мощности (1 л. с.).
2. Машину размещают в горной выработке со сквозным проветриванием на свежей струе воздуха.
3. На расстоянии не менее 100 м от нее размещают наблюдательный пункт.

4. В начале и конце замеров выполняют измерение средней скорости движения воздуха в горной выработке.

5. Машину с ДВС заводят и эксплуатируют в нескольких режимах работы двигателя, заранее обговоренных с машинистом (например, через каждые 10 мин необходимо увеличить число оборотов у двигателя на 200).

6. Далее измеряют концентрацию четырех газов – CO, CO₂, NO, NO₂. При этом для недопущения перекрестной чувствительности датчиков в газоанализаторе не следует в одном приборе иметь датчики на CO и CO₂, а также NO, NO₂. Концентрацию газов измеряют с периодичностью не реже 1 раза в минуту в центре горной выработки. Значения заносят в журнал проведения эксперимента.

7. Одновременно с выполнением пунктов 5 и 6 для каждого режима работы машины с ДВС измеряют среднюю скорость выхлопных газов $v_{в.г}$ и площади сечения выхлопной трубы $S_{в.т}$.

8. После проведения измерений определяют среднюю концентрацию по каждому компоненту выхлопных газов для всех режимов работы машины.

9. Далее осуществляют пересчет всех компонентов выхлопных газов на CO по формуле

$$C_{CO} \text{ (с учетом } NO_x) = C_{CO} + 6,5(1,53C_{NO_x} + C_{NO_2}).$$

10. Затем рассчитывают расход поступающих в горную выработку выхлопных газов:

$$q_{в.г} = v_{в.г} S_{в.г}$$

11. С учетом приведения концентраций оксидов азота к концентрации оксида углерода по вышеуказанной формуле абсолютное газовыделение от машин с ДВС I_{CO} рассчитывают по формуле

$$I_{CO} = 60q_{вых} C_{CO}/100.$$

12. Нормативное значение на одну единицу мощности машины с ДВС определяют по формуле

$$q_{норм} = I_{CO} 100 / (C_{гдк} M).$$

13. Из полученных значений к дальнейшему расчету количества воздуха, необходимого для разбавления газов от машин с ДВС, выбирают наибольшее.

По данной методике исследования газовыделения машин с ДВС следует выполнять не реже одного раза в год. При этом составляют паспорт газовыделения каждой машины с ДВС. По полученным данным можно будет судить о качестве технического обслуживания машин с ДВС, вовремя находить и устранять неисправности в части очистки фильтров, катализаторов и т. д.

Выводы

Для оценки фактического газовыделения машин с ДВС была разработана методика и опробован метод, позволяющий в динамике измерить концентрацию выхлопных газов.

Предложенный метод измерения фактического газовыделения из выхлопной трубы от машин с ДВС показал свою эффективность. Однако следует отметить высокую стоимость мультигазоанализаторов выхлопных газов MRU Delta 2000 CD, Testo 350 и сложность замены сенсоров.

Качественный и количественный состав выхлопных газов зависит от многих факторов, в том числе от качества обслуживания самоходного дизельного оборудования (СДО), качества топлива, манеры езды.

Измерения фактического газовыделения СДО необходимо проводить регулярно с последующей разработкой рекомендаций по снижению выбросов и улучшению проветривания. Возможна также установка специальных стационарных систем мониторинга состава атмосферы горных выработок, в которых работают машины с ДВС, как это делается в других странах [17, 18].

Трехмерное моделирование позволяет обосновать и выработать мероприятия по улучшению проветривания (изменение

схемы проветривания и выбор рациональных режимов вентиляции).

Если машина с ДВС расположена близко к исходящей струе воздуха, то измерить среднюю концентрацию всех газов сложно, так как они еще не распределяются равномерно по сечению горной выработки.

Различные типы самоходных горных машин работают в разных режимах. Буровые установки используют двигатель только для перемещения, потребляемое фактическое количество топлива не превышает 0,4 от максимального расхода. Зарядные машины и грейдер потребляют менее половины от максимального расхода топлива. Миксер на подъем движется пустой, а вниз груженный, его потребление топлива также ниже половины от максимального значения.

Как показали результаты натурных исследований, наибольшее количество вредных выбросов происходит от машин с меньшей мощностью, работающих в непостоянном режиме — это буровые установки, вспомогательный самоходный горный транспорт. Несмотря на то, что при расчете количества воздуха эти машины можно не учитывать как источники, влияющие на здоровье горнорабочих они все равно оказывают.

Заключение


Нормы подачи свежего воздуха при работе машин с ДВС не менялись более 50 лет. За истекший период самоходное оборудование с ДВС и используемое дизтопливо претерпели существенные качественные изменения, и число вредных компонентов в выхлопе ДВС значительно снизилось.

Проведенные на рудниках исследования показали отсутствие прямо пропорциональной зависимости газовыделения от оборотов двигателя у горных машин с ДВС, она имеет сложный характер. В связи с этим для каждой машины требуется отдельное исследование ее газовыделения. При этом измерения следует проводить на разных режимах работы машин с ДВС (т. е. на разных оборотах).

Оценка фактической нормы удельного расхода воздуха для каждой единицы дизельного оборудования на основе разработанного метода натурального определения качественного и количественного состава выхлопных газов позволит объективно рассчитать необходимый и достаточный расход воздуха для проветривания рудника и каждого его участка.

Библиографический список

1. Левин Л. Ю., Зайцев А. В., Гришин Е. Л., Семин М. А. Расчет количества воздуха по содержанию кислорода для проветривания рабочих зон при применении машин с двигателями внутреннего сгорания // Безопасность труда в промышленности. 2015. № 8. С. 43–46.
2. Гришин Е. Л., Зайцев А. В., Кузьминых Е. Г. Обеспечение безопасных условий деятельности сотрудников по фактору вентиляция в подземных рудниках при работе техники, оснащенной двигателями внутреннего сгорания // Недропользование. 2020. Т. 20. № 3. С. 280–290.
3. Кузьминых Е. Г., Кормицков Д. С. Анализ методов расчета требуемого количества воздуха для разжижения отработанных выхлопных газов // Горное эко. 2020. № 3(80). С. 107–115.
4. Малых И. Б., Корнев А. В., Коршунов Г. И., Серёгин А. С. К вопросу проветривания подземных горных выработок при работе дизель-гидравлических локомотивов // ГИАБ. 2022. № 6-1. С. 140–156.
5. Мешков А. А., Коршунов Г. И., Кондрашева Н. К., Еремеева А. М., Серегин А. С. Способ снижения загрязненности воздуха рабочих зон угольных шахт вредными выбросами дизелевозов // Безопасность труда в промышленности. 2020. № 1. С. 68–72.
6. Коршунов Г. И., Еремеева А. М., Дребенштетт К. Обоснование применения растительной добавки к дизельному топливу в качестве способа защиты подземного персонала угольных шахт от воздействия вредных выбросов дизель-гидравлических локомотивов // Записки Горного института. 2021. Т. 247. С. 39–47.

7. Bugarski A. D., Janisko S. J., Cauda E. G., Patts L. D., Hummer J. A., Westover C., Terrillion T. Aerosols and Criteria Gases in an Underground Mine That Uses FAME Biodiesel Blends // *The Annals of Occupational Hygiene*. 2014. Vol. 58. No. 8. P. 971–982.
8. Reanalysis of Diesel Engine Exhaust and Lung Cancer Mortality in the Diesel Exhaust in Miners Study Cohort Using Alternative Exposure Estimates and Radon Adjustment // *American Journal of Epidemiology*. 2018. Vol. 187. No. 6. P. 1210–1219.
9. Borak J., Bunn W. B., Chase G. R. et al. Comments on the Diesel Exhaust in Miners Study. *The Annals of Occupational Hygiene*. 2011. No. 55(3). P. 339–342.
10. Davis M. E., Hart J. E., Laden F., Garshick E., Smith T. J. A retrospective assessment of occupational exposure to elemental carbon in the U.S. trucking industry // *Environmental Health Perspectives*. 2011. Vol. 119(7). P. 997–1002.
11. Black S., Wilkinson S., van den Berg L., Manns K. Tracer gas study of nano diesel particulate matter (nDPM) behaviour in secondary ventilation practices // *The Australian Mine Ventilation Conference – Perth*, 2019. P. 181–194.
12. Rogers A., Davies B. Diesel Particulates—Recent Progress on an Old Issue // *The Annals of Occupational Hygiene*. 2005. Vol. 49. No. 6. P. 453–456.
13. Методика определения выбросов загрязняющих веществ в атмосферу при сжигании топлива в котлах производительностью менее 30 тонн пара в час или менее 20 Гкал в час // Приказ Госкомэкологии России от 09.07.1999. – М., 1999. – 75 с.
14. Кобылкин А. С. Исследование распределения вредных газов в горных выработках с использованием компьютерного моделирования // *ГИАБ*. 2014. № 10. С. 202–207.
15. Yi Zheng, Li Ying, Tien J. C. Comparison of diffuser assisted ventilation and push-pull systems for DPM control in a dead-end entry // *Diesel Particulate Control. Proceedings of the 16th North American Mine Ventilation Symposium*. 2017. P. 5–9 – 5–18.
16. Кобылкин С. С., Тимченко А. Н., Кобылкин А. С. Применение компьютерного моделирования при выборе параметров работы пылеотсоса, встраиваемого в проходческие комбайны // *Безопасность труда в промышленности*. 2021. № 3. С. 21–27.
17. Barrett Ch., Gaillard S., Sarver E. Demonstration of continuous monitors for tracking DPM trends over prolonged periods in an underground mine // *Diesel Particulate Control. Proceedings of the 16th North American Mine Ventilation Symposium*. 2017. P. 5–29 – 5–36.
18. Hardcastle S., Butler K. C., Knott P., Arsenault G. An In-mine Performance Assessment of a Sub-micron Particulate Monitor across P Matter Environments // *Diesel Particulate Control. Proceedings of the 16th North American Mine Ventilation Symposium*. 2017. P. 5–1 – 5–8. 

«GORNYI ZHURNAL», 2023, № 12, pp. 94–102
DOI: 10.17580/gzh.2023.12.15

Diesel exhaust gas dynamics in underground mines

Information about authors

S. S. Kobylykin¹, Professor, Doctor of Engineering Sciences, kobylykin.S@misis.ru

N. O. Kaledina¹, Professor, Doctor of Engineering Sciences

A. S. Kobylykin², Senior Researcher, Candidate of Engineering Sciences

V. A. Senatorov³, Deputy Commander

¹College of Mining, National University of Science and Technology MISIS, Moscow, Russia

²Institute of Comprehensive Exploitation of Mineral Resources—IPKON, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

³Paramilitary Mine-Rescue Unit of the South and Center, Gubkin, Russia

Abstract

When designing mine ventilation, there are currently a number of problems that yet have no scientific substantiation and solution. These problems include the calculation of the necessary and sufficient amount of air to dilute gases generated during operation of machines with internal combustion engines (ICE). During operations in an underground mine, the actual values of the composition and quantity of exhaust gases were measured. The results obtained allowed drawing some conclusions regarding hazardous exhaust emissions of various-type vehicles with internal combustion engines. No general dependence on the engine speed was discovered. Furthermore, it was found experimentally that auxiliary mining vehicles with internal combustion engines had worse indicators in terms of the amount of harmful exhaust gases than load-haul-dumpers and mine dump trucks. The authors propose to use the method of full-scale determination of the qualitative and quantitative composition of exhaust gases. Three-dimensional modeling was used to evaluate the dynamics of exhaust gas emissions from diesel engines and to determine the basic parameters for the proposed method. Non-stationary calculations of exhaust gas distribution were carried out using Ansys CFD software package. The results obtained made it possible to formulate the basic principles of carrying out measurements in a mine to obtain average concentrations of harmful gases in a roadway cross-section. These data can be used to determine the amount of air required to dilute exhaust gases down to standard values.

The authors appreciate participation of V. V. Nagornyuk, Chief Underground Mine Engineer, Yakovlevsky GOK in this study.

Key words: safety, ventilation, mine, design, internal combustion engine, diesel exhaust, experiment, procedure

References

1. Levin L.Yu., Zaitsev A.V., Grishin E.L., Semin M.A. Calculation of air amount based on oxygen content for ventilation of operating zones with internal combustion engine machines. *Bezopasnost truda v promyhlennosti*. 2015. No. 8. pp. 43–46.
2. Grishin E. L., Zaytsev A. V., Kuzminykh E. G. Ensuring safe workplace conditions when working equipment with internal combustion engines by ventilation in underground mines. *Nedropolzovanie*. 2020. Vol. 20, No. 3. pp. 280–290.
3. Kuzminykh E. G., Kormshchikov D. S. Review of calculation techniques for required air amount to dilute exhaust gases. *Gornoe ekho*. 2020. No. 3(80). pp. 107–115.
4. Malykh I. B., Kornev A. V., Korshunov G. I., Sregin A. S. To the question of ventilation of underground mine workings during operation of diesel-hydraulic locomotives. *GIAB*. 2022. No. 6-1. pp. 140–156.
5. Meshkov A. A., Korshunov G. I., Kondrasheva N. K., Ereemeeva A. M., Seregina A. S. Method of reducing air pollution of the coal mines working areas with diesel locomotives harmful emissions. *Bezopasnost truda v promyhlennosti*. 2020. No. 1. pp. 68–72.
6. Korshunov G. I., Ereemeeva A. M., Drebenstedt P. Justification of the use of a vegetal additive to diesel fuel as a method of protecting underground personnel of coal mines from the impact of harmful emissions of diesel-hydraulic locomotives. *Journal of Mining Institute*. 2021. Vol. 247. pp. 39–47.
7. Bugarski A. D., Janisko S. J., Cauda E. G., Patts L. D., Hummer J. A. et al. Aerosols and Criteria Gases in an Underground Mine That Uses FAME Biodiesel Blends. *The Annals of Occupational Hygiene*. 2014. Vol. 58, No. 8. pp. 971–982.
8. Chang E. T., Lau E. C., Van Ledingham C., Crump K. S., McClellan R. O. et al. Reanalysis of diesel engine exhaust and lung cancer mortality in the diesel exhaust in miners study cohort using alternative exposure estimates and radon adjustment. *American Journal of Epidemiology*. 2018. Vol. 187, No. 6. pp. 1210–1219.
9. Borak J., Bunn W. B., Chase G. R., Hall T. A., Head H. J. et al. Comments on the diesel exhaust in miners study. *The Annals of Occupational Hygiene*. 2011. Vol. 55, Iss. 3. pp. 339–342.
10. Davis M. E., Hart J. E., Laden F., Garshick E., Smith T. J. A Retrospective assessment of occupational exposure to elemental carbon in the U.S. trucking industry. *Environmental Health Perspectives*. 2011. Vol. 119, No. 7. pp. 997–1002.
11. Black S., Wilkinson S., van den Berg L., Manns K. Tracer gas study of nano diesel particulate matter behaviour in secondary ventilation practices. *The Australian Mine Ventilation Conference*. Perth, 2019. pp. 181–194.
12. Rogers A., Davies B. Diesel particulates—Recent progress on an old issue. *The Annals of Occupational Hygiene*. 2005. Vol. 49, No. 6. pp. 453–456.
13. Estimation procedure of air pollution with toxic emission in fuel combustion in boilers cy capacity not less than 300 tones steam per hour or less than 20 Gcal per hour. Moscow, 1999. 75 p.
14. Kobylykin A. S. Analysis of distribution of harmful gases in mine roadways using computer modeling. *GIAB*. 2014. No. 10. pp. 202–207.
15. Yi Zheng, Tien J. C., Ying Li. Comparison of diffuser assisted ventilation and push-pull systems for DPM control in a dead-end entry. *Proceedings of the 16th North American Mine Ventilation Symposium*. Golden: Colorado School of Mines, 2017. pp. 5–18.
16. Kobylykin S. S., Timchenko A. N., Kobylykin A. S. Use of computer simulation in the selection of operating parameters for the dust extractor built into the roadheader. *Bezopasnost truda v promyhlennosti*. 2021. No. 3. pp. 21–27.
17. Barrett C., Gaillard S., Sarver E. Demonstration of continuous monitors for tracking DPM trends over prolonged periods in an underground mine. *Proceedings of the 16th North American Mine Ventilation Symposium*. Golden: Colorado School of Mines, 2017. pp. 29–36.
18. Hardcastle S., Butler K. C., Knott P., Arsenault G. An In-mine performance assessment of a sub-micron particulate monitor across multiple diesel particulate matter environments. *Proceedings of the 16th North American Mine Ventilation Symposium*. Golden: Colorado School of Mines, 2017. pp. 1–8.

MiningWorld Russia

28-я Международная выставка
машин и оборудования
для добычи, обогащения
и транспортировки
полезных ископаемых

Забронируйте стенд
miningworld.ru



23–25 апреля 2024
Москва, Крокус Экспо



ОРГАНИЗАТОР
ORGANISER



РЕКЛАМА

УДК 377.1(571.56):622

ДЕЛОВОЕ СОВЕРШЕНСТВО КАК ОСНОВА УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ МИРНИНСКОГО РЕГИОНАЛЬНОГО ТЕХНИЧЕСКОГО КОЛЛЕДЖА



В. В. БЕРЕЗОВОЙ¹,
директор



И. В. ЗЫРЯНОВ²,
зав. кафедрой, проф., д-р техн. наук,
zyryanoviv@inbox.ru



Ю. Е. ЯНГУТОВА¹,
зам. директора по контролю качества

¹ Региональный технический колледж, Мирный, Россия

² Политехнический институт (филиал) СВФУ, Мирный, Россия

Введение

Государственное автономное профессиональное образовательное учреждение Республики Саха (Якутия) «Региональный технический колледж в г. Мирном» – яркий образец трансформации профессиональной образовательной организации в лидеры российского образования за счет построения системы управления колледжем. В основе системы – модель делового совершенства, позволяющая, с одной стороны, использовать комплексный подход к формированию системы управления, а с другой – осуществлять анализ его результативности и эффективности.

В настоящее время Мирнинский региональный технический колледж (МРТК) можно охарактеризовать следующим образом:

- один из лидеров российского образования, дважды лауреат премий Правительства Российской Федерации в области качества (2015 и 2021 гг.), лауреат премии СНГ в области качества продукции и услуг за 2017 г., финалист

Описана практика применения моделей совершенства EFQM как инструмента комплексной самооценки, построения системы управления и стратегического менеджмента в государственном автономном профессиональном образовательном учреждении Республики Саха (Якутия) «Региональный технический колледж в г. Мирном».

Ключевые слова: профессиональное образовательное учреждение, система управления, стратегический менеджмент, деловое совершенство

национального этапа премии СНГ за достижения в области качества продукции и услуг за 2023 г., что демонстрирует высокий уровень образования и готовность предоставлять услуги высокого качества на перспективу*;

- один из ведущих колледжей Республики Саха (Якутия), существенно отличающийся от любой другой региональной образовательной организации благодаря объединению в единую систему общего, профессионального и дополнительного образования (филиал «Кадетская школа-интернат им. Г. Н. Трошева, Удачинское отделение горнотехнической промышленности, Айхальское отделение горнотехнической промышленности, Светлинское отделение энергетики, нефти и газа). Структурные подразделения находятся в пяти населенных пунктах Мирнинского района, где обучаются более 1200 студентов и 100 кадетов. О востребованности образовательных программ МРТК свидетельствует зачисление абитуриентов из 22 районов Якутии, 8 регионов Российской Федерации, а также из Киргизии, Казахстана, Армении, Украины. Ежегодно в рамках проекта «Местные кадры в промышленности» более 30 % выпускников сельской местности трудоустроиваются в промышленные компании;

- один из системообразующих институтов на территории Западной Якутии, обеспечивающий социально-экономическое развитие региона, осуществляющий обучение специалистов по 18 программам подготовки специалистов среднего звена и 14 программам подготовки квалифицированных рабочих, служащих; ключевым заказчиком выпускников на протяжении 50 лет является компания мирового уровня АК АЛРОСА (ПАО) – 70 % от общего числа реализуемых программ; расширяется перечень образовательных услуг для нефтегазовых отраслей (20 %), кроме того, по социальному запросу реализуется 10 %

*За все время существования Премии Правительства России в области качества МРТК является единственной организацией на Дальнем Востоке, удостоенной статуса лауреата премий качества федерального и международного уровня. Также на сегодняшний день МРТК является первым и единственным лауреатом Премии Содружества Независимых Государств в области качества продукции и услуг среди средних профессиональных образовательных организаций России за весь период проведения конкурса с 2007 г.



**Модель конкурса
на соискание премий
Правительства
РФ в области
качества**

образовательных программ, а также ежегодно вводятся новые программы в рамках реализации национальной программы «Цифровая экономика Российской Федерации»;

- учебное заведение, в котором работает команда единомышленников, обеспечивающая эффективный учебно-образовательный процесс и реализующая значимые проекты, несмотря на такие вызовы, как пандемия, период сокращения кадров в АК «АЛРОСА» (ПАО), обновления ФГОС СПО и др.;

- открытая, динамичная, готовая к быстрым изменениям социальная организация, способствующая позитивным изменениям в социокультурной жизни региона и реализации региональной молодежной политики.

Организация образовательного процесса с применением современных технологий

Как было отмечено выше, колледж на протяжении последних 10 лет регулярно участвует в конкурсах на соискание премий в области качества, что позволяет непрерывно совершенствовать учебный процесс. Для колледжа участие в конкурсах — это в первую очередь экспертная диагностика и выявление новых точек роста на основе одного из признанных в мире инструментов анализа и методов совершенствования организационной деятельности — модели совершенства EFQM (European Foundation for Quality Management — модель Европейского фонда управления качеством).

Подход на основе концепции совершенства к деятельности организации, включающий ответы на вопросы: «почему?» (Почему существует организация? Какие цели она преследует? Почему выбрана именно такая стратегия?); «как?» (Как организация достигает своей цели и стратегии?); «что?» (Чего она достигла сегодня? Чего она намерена достигнуть завтра?), существенно расширяет возможности колледжа, позволяет определять сильные стороны для развития, устанавливает методы и инструменты менеджмента. Это обусловлено тем, что модель премии качества — это набор оценочных критериев, имеющих внутреннюю взаимосвязь и объединенных графической схемой (см. **рисунк**). В основе лежит балльный

метод, позволяющий сравнивать достигнутые результаты с эталонными или показателями других организаций аналогичных сфер деятельности, выявлять области для улучшения.

За последние годы в колледже проведено четыре исследования по модели EFQM, диагностирующих качество управления организации на основе трех основных элементов:

- фундаментальные концепции совершенства, представляющие собой 8 принципов построения совершенной организации;

- критерии возможностей и результатов (9 критериев и 32 их составляющих);

- логика RADAR для оценки возможностей и результатов; возможности фокусируют внимание на важнейших процессах организации по направлениям: лидерство, стратегия, персонал, партнерство и ресурсы, процессы и услуги; результаты относятся к ключевым заинтересованным сторонам (потребителям, персоналу и обществу), а также ключевым моментам, поддерживающим стратегию и операционную эффективность деятельности организации.

Важно подчеркнуть, что структура критериев возможности обладает свойством полноты и позволяет включать в модель развития МРТК по тому или иному критерию любой процесс, проект или инициативу (лучшую практику). Благодаря этому можно интегрировать цели развития колледжа в модель EFQM и выстраивать деятельность организации. Это наглядно можно представить на примере трех программ развития МРТК (действия в соответствии с внешними и внутренними вызовами, диалог и взаимоотношения с бизнесом, властью за счет точного определения вызовов, совместного поиска решений и последовательного построения многоуровневого лидерства, где пространство колледжа превращается в предмет и ресурс совместной деятельности преподавателя, студента и всех заинтересованных сторон). Методику самооценки применяют на трех уровнях управления: колледж — отделение (филиал) — сотрудник. Реализация модели премий качества направлена в первую очередь на управление и мониторинг программ развития (**табл. 1**).

Важно пояснить, что премию Правительства РФ в области

Таблица 1. Этапы развития системы стратегирования МРТК

Стратегические задачи	Оценка эффективности	Отчетные материалы
Программа «Развитие интегрированной многоуровневой и многопрофильной системы подготовки кадров для высокотехнологичных производств горнодобывающей промышленности Западной Якутии». 2013–2015 гг.		
Формирование портфеля программ и проектов, обеспечивающих конкурентоспособность на уровне РФ. Концентрация ресурсов на прорывных направлениях деятельности, отказ от неэффективных направлений деятельности. Создание системы управления колледжем, обеспечивающей достижение показателей	Лауреат премии Правительства РФ в области качества (2015 г.)	Альманах «МРТК ради будущего страны» (2013 г.). Всероссийская НПК «Качество образования». Сборник статей (2013 г.)
Программа «Многофункциональный образовательный комплекс как один из системообразующих элементов региональных социально-экономических структур». 2016–2020 гг.		
Преодоление неравенства и повышение доступности качественного образования в филиалах. Повышение качества образования за счет внедрения электронных сервисов в образовательный и управленческие процессы. Динамичное развитие движения WorldSkills. Изменение подходов к итоговой государственной аттестации	Лауреат премии Содружества Независимых Государств в области качества продукции и услуг (2017 г.). Присоединение четырех филиалов. Создание нефтегазового кластера (вошел в число 10 лучших проектов среди ПОО РФ). Результаты в движении WSP	Трехтомник (2019 г.): «МРТК: лидерство шаг за шагом», «МРТК: практика эффективного управления», «МРТК: воспитание лидеров». Проект «Фабрика процессов»
Программа «Цифровая трансформация как основа развития региональной экосистемы». 2020–2025 гг.		
Уход от парадигмы сервисного обслуживания к активному позиционированию себя на рынке услуг. Создание сетевой разноуровневой системы через расширение кластерного взаимодействия с ключевыми бизнес-партнерами. Формирование цифровой экосистемы. Переход от территориально фиксированной модели к открытой универсальной модели, обеспечивающей систему новых востребованных практик, высокую мобильность, партнерство разных бизнес-структур и оптимальное использование ресурсов региона	Грант в размере 44 млн руб. (2021 г.) и ввод четырех современных мастерских. Лауреат премии Правительства РФ в области качества (2021 г.). Реализация проекта «Фабрика процессов полного цикла для нефтегазовой отрасли»	Книга «МРТК: новые горизонты развития» (2023 г.)

качества вручают тем организациям, у которых наиболее зрелые системы управления и процессы. Как отмечают эксперты, премию вручают прежде всего не за качество продукции и услуг (как многие ошибочно могут думать, исходя из названия). Ее вручают за высокую степень зрелости, за высокий уровень развития систем управления и эффективности процессов. Качество продукции в данном случае рассматривают как один из показателей зрелости систем управления и процессов. Поэтому важно понимать: что стоит за термином «зрелое управление»? Важно также оценивать критерии, определяющие уровень зрелости и эффективность процессов предприятий.

Одним из важных факторов зрелости систем управления является способность организации смотреть намного шагов вперед, стратегически мыслить. В настоящее время общий контекст решения задач управления изменениями задается высокой (и при этом всё более возрастающей) динамикой технологических и более широких социально-экономических изменений, глобальными тенденциями в области информатизации, развития и отмирания очередных технологических укладов.

Если обратиться к вопросу о роли и месте Мирнинского регионального технического колледжа в развитии Западной

Якутии, то отметим, что стратегия развития организации формируется исходя из представления о том, как будет развиваться экономика региона, с учетом потребностей в профессиях и развитии системы образования до 2030 г. и понимания, что СПО рассматривается государством как основа нашего общества.

Программа развития основывается на понимании в первую очередь того, что перспективными отраслями специализации Западной Якутии определены: алмазодобывающая промышленность; добыча полезных ископаемых (нефти, природного газа, газоконденсата и гелия); трубопроводный транспорт («Восточная Сибирь – Тихий океан» и «Сила Сибири»); нефте- и газоперерабатывающие производства; лесопереработка; сельское хозяйство, туризм.² Начата эксплуатация объектов на участках недр независимых производителей в Мирнинском, Ленском, Сунтарском, Олекминском улусах (районах), что предполагает создание более 8 тысяч рабочих мест к 2032 году.

Основой устойчивого развития МРТК является выстроенная и отлаженная система взаимоотношений с АК АЛРОСА (ГАО) в части привлечения подразделений компании к реализации совместных программ и проектов алмазодобывающего

²<http://docs.cntd.ru/document/5502996703> Закон Республики Саха (Якутия) от 19 декабря 2018 г. 2077-3 № 45-VI «О Стратегии социально-экономического развития Республики Саха (Якутия) до 2032 года с целевым видением до 2050 года».

кластера на всех площадках присутствия компании; ежегодного согласования цифр приема, количества студентов, направляемых на практику; открытия новых направлений подготовки по потребностям компании; расширения направлений подготовки для девушек (запрос родителей и молодежи); закрытия невостребованных направлений подготовки. Опыт взаимодействия с АК «АПРОСА» (ПАО) представлен в отчетах на соискании премии Правительства РФ в области качества за 2015 и 2021 гг., описан в трехтомнике «МРТК: лидерство шаг за шагом» (mrtk-edu.ru) и других многочисленных публикациях.

Согласно оценке текущего состояния, были учтены ожидания большой потребности в кадрах по нефтяному профилю и смежным направлениям, что было прописано в стратегии социально-экономического развития Мирнинского района РС (Я) на период до 2030 г.³

Взаимодействие с нефтяными компаниями выстраивают на основе внешнего бенчмаркинга в рамках республиканского профессионально-образовательного нефтегазового кластера (всего 10 кластеров), где МРТК определено базовым учебным заведением. Стратегическими проектами кластера на ближайшие годы являются проекты «Цифровой специалист в нефтегазовой отрасли», «Фабрика процессов полного цикла добычи нефти и газа».

Существует понимание того, что сценарий развития территории Западной Якутии требует реализации проектов, направленных на создание инфраструктуры, в значительной степени ориентированной на развитие малых территорий, поселений Мирнинского района. Следовательно, необходимо наличие качественного кадрового ресурса для запуска новых и обеспечения действующих производств.

Одним из ключевых направлений инфраструктурной политики колледжа является содействие развитию внутриколледжной мобильности (возможности для обучающихся получать дополнительную квалификацию и др.). Приведем примеры конкурентоспособности выпускника, в основе которой – возможность выполнять несколько профессиональных функций одновременно: слесарь по ремонту автомобилей, монтажник технологического оборудования, имеющий квалификацию «сварщик ручной дуговой сварки»; техник-технолог по специальности «переработка нефти и газа», имеющий квалификации «лаборант химического анализа», «машинист насосных установок», «оператор товарный», «оператор обессоливающих и обезвоживающих установок». И таких примеров достаточно много. Так, за три последних учебных года число студентов, получивших дополнительное профессиональное образование, составило более 500 человек.

Вершиной профессионального успеха студента являются участие, а тем более победа во Всероссийском чемпионате по профессиональному мастерству, которое пришло на смену конкурсам профессионального мастерства по



Вручение Премии Содружества Независимых Государств. 2017 г.

стандартам WorldSkills. МРТК все эти годы находился в лидерах этого движения в республике. Так, к примеру, в 2022/23 учебном году Мирнинский региональный технический колледж и его отделения в поселках Светлый, Чернышевский, городах Удачный, Мирный приняли участников и экспертов регионального этапа Всероссийского чемпионатного движения по профессиональному мастерству «Профессионалы-2023» в Республике Саха (Якутия) по шести компетенциям: «Эксплуатация сервисных роботов», «Промышленная робототехника», «Интеллектуальные системы учета электроэнергии», «Лабораторный химический анализ», «Добыча нефти и газа», «Электрослесарь подземный» и впервые стали площадкой для проведения чемпионата среди юниоров (школьников) по компетенциям «Эксплуатация сервисных роботов», «Лабораторный химический анализ». Также студенты колледжа приняли участие в чемпионатах по компетенциям «Охрана труда», «Реверсивный инжиниринг».

К независимой оценке выполнения конкурсных заданий были привлечены 30 высококвалифицированных специалистов профильных организаций из числа работников подразделений АК «АПРОСА» (ПАО), АО «РНГ», ООО «Саханефть», ООО «ИНК», ООО «АПРОСА ИТ», ООО «ТЮНГД», МО Энергосбыт ПАО «ДЭК» «Якутскэнергосбыт», МАУ ДО «Центр дополнительного образования», МПТИ (ф) ФГАОВ ВО «Северо-Восточный федеральный университет им. М. К. Аммосова». В своих выступлениях независимые эксперты отметили значимость развития конкурсов профессионального мастерства, которые дают возможность развить и раскрыть профессиональные навыки участников, ответственность, внимание. Немаловажно и то, что данные компетенции представляют собой реальный механизм для решения актуальной задачи подготовки квалифицированных и востребованных специалистов.

По итогам чемпионата в копилке колледжа 8 золотых, 7 серебряных, 6 бронзовых медалей, что позволило занять

³Стратегия СЭР Мирнинского района РС (Я).

почетное I место в рейтинге учреждений среднего профессионального образования Якутии.

Успешно реализуются проекты, ориентированные на внешние вызовы, в обязательной кооперации с индустриальными партнерами и иными стейкхолдерами на основе разных типов моделей. Например, VR-тренажеры по внештатным ситуациям на подземной шахте и на нефтегазовом месторождении позволяют получить удаленный доступ к слушателям. Так, в рамках организации стажировки на базе мастерской по компетенции «Электрослесарь подземный» в декабре 2022 г. слушатели из Кемеровской области прошли курс обучения на АМТ тренажере-имитаторе «Освоение и эксплуатация нефтяных и газовых скважин». Также данная технология позволяет подключиться не только студентам профильного направления, но и успешно используется при обучении безработных граждан по профессии «оператор по добыче нефти и газа».

Отметим, что МРТК с целью расширения научно-исследовательской работы студентов установлены тесные связи с ведущими научными и учебными заведениями: координационным центром программы «Шаг в будущее» (МГТУ им. Н. Э. Баумана, Москва); благотворительным фондом при главе РС (Я) «Баргары»; Институтом прикладной экологии Севера СО РАН; Институтом физико-технических проблем Севера им. В. П. Ларионова СО РАН; институтом «Якутнипроалмаз» АК «АЛРОСА»; Мирнинским политехническим институтом (ф) Северо-Восточного федерального университета им. М. К. Аммосова и др.

В качестве иллюстрации эффективности принимаемых решений приведем данные опроса выпускников: 83 % опрошенных намерены рекомендовать колледж для поступления друзьям, знакомым; 45 % респондентов будут рекомендовать получать образование в колледже своим детям; 83 % опрошенных намерены поддерживать связи с преподавателями и наставниками.

Еще одним направлением деятельности является поддержка института лидерства. Без лидера, определяющего стратегию развития, и команды, которая успешно ее реализует, сложно говорить о зрелости.

Ключевая роль в достижении высоких результатов принадлежит директору колледжа Владимиру Викторовичу Березовому, работающему в этой должности с 2006 г. Показателем признания заслуг и роли руководителя МРТК в развитии региона, служит тот факт, что В. В. Березовой является первым из трех жителей Мирнинского района, которые за 60 лет существования района, удостоены двух самых престижных наград — званий «Почетный гражданин г. Мирного» и «Почетный гражданин Мирнинского района».

В основе создания эффективной системы управления лежит четкое представление о том, что мы можем потенциально делать лучше, чем любая другая компания, и чего мы не можем делать лучше. Иначе говоря, определение высшим руководством того, что он хочет (наличие замысла — видение



X Национальный чемпионат WorldSkills Russia-2022 по компетенции Эксплуатация сервисных роботов

конечного результата) и как этого добиться (знание, из чего состоит результат, его составные) показывает, что это отнюдь не дань моде или работа ради признания и престижа, а часть стратегии, зафиксированной в идеологии МРТК. На практике именно Владимиру Викторовичу принадлежит идея определить ключевую идеологию колледжа в виде емких и лаконичных основополагающих тезисов:

МЫ ХОТИМ стать лучшим учебным заведением в Республике, на Дальнем Востоке и во всей России;

МЫ ВЕРИМ, что лучшее учебное заведение готовит лучших конкурентоспособных специалистов;

МЫ ДЕЛАЕМ ВСЁ, чтобы научить наших студентов самостоятельно приобретать необходимые знания.

Время показало, что данная стратегия перевела ожидания коллектива во внутренний смысл, определила миссию колледжа, понятную и принятую всеми участниками образовательного процесса, стала одним из основных факторов достижения высоких результатов.

В колледже выстроена эффективная система развития кадрового потенциала. Увеличена доля преподавателей, имеющих квалификационные категории, с 26 до 34 %; отмечен карьерный рост у 15 % перспективных работников; более 93 % сотрудников отмечены разными видами наград; 100 % получают материальное поощрение, заработная плата превышает аналогичные показатели по республике в среднем на 20 %.

Показателем высокого профессионального уровня педагогического коллектива МРТК является сформированное высокопрофессиональное экспертное сообщество, включающее двух экспертов в области премии качества Правительства РФ; пятерых экспертов в области контроля надзора в сфере образования; одного эксперта представительства в Дальневосточном федеральном округе «Агентство стратегических инициатив по продвижению новых проектов»; семерых экспертов-аудиторов СМК; восьмерых экспертов WorldSkills Russia с правом проведения региональных чемпионатов; 43 экспертов демонстрационного экзамена по стандартам WorldSkills Russia, в том числе 32 эксперта являются представителями промышленных предприятий.

Таблица 2. Структура критериев инновационного подхода, направленных на создание условий устойчивого развития

Целеполагание	Действия	Результаты
Нацеленность на своевременные изменения; понимание, что нужно делать, чтобы быть успешными не только сегодня, но и завтра	Что предпринимает колледж, чтобы воплотить в жизнь намеченные изменения и быть успешным не только в настоящем, но и в будущем	Колледж добивается результатов сегодня, создает задел для успешного развития в будущем
Лидерство	Персонал	Влияние на заинтересованных лиц
<p>Многоуровневое лидерство Подход «лидеры на каждом уровне», чтобы обеспечить принятие эффективных решений, сотрудничество и командную работу в каждой команде на разных уровнях и в каждом проекте.</p> <p>Система мотивации инновационной активности</p>	<p>Лидерство и ценности в инновации Каждый участник образовательной деятельности занимает управленческую позицию относительно формирования своего запроса и его реализации в образовательном продукте. Ключевая задача управления – построение коммуникации о результатах и факторах управления выявленными дефицитами. Готовность к изменениям, способность получать новые компетенции в изменяющемся мире</p>	<p>Динамика показателей создания устойчивой ценности для потребителей, персонала, экосистемы. Рост числа инновационных проектов. Уровень вовлеченности сотрудников в инновационную деятельность. Повышение уровня восприятия заинтересованных сторон в оказываемых услугах. Положительная динамика трудоустроенных выпускников. Расширение перечня сетевых программ с ПОО региона. Положительная динамика партнерских инновационных проектов. Признание МРТК, в том числе международных успехов</p>
Видение и стратегия	Партнерство и ресурсы	Влияние на бизнес и рынок
<p>Стратегия устойчивого развития Пять приоритетных областей: инновационное совершенство, цифровое совершенство, совершенство экосистемы, совершенствование человеческого капитала, устойчивое совершенство.</p> <p>Менеджмент 3.0 поддержка новых идей, креативности, предпринимательства, готовности воспринимать новое.</p> <p>В условиях неопределенности использование классических стратегических подходов ограничено. Это требует использования не сценарных подходов, а в более сложной ситуации – игровых методов и имитационного моделирования. Пересмотр подходов к формированию организационной культуры</p>	<p>Ключевая задача управления – коммуникация со всеми заинтересованными сторонами по вопросам сохранения эффективности при режиме многозадачности, определения путей решения задач повышения качества образования, качества жизни населения, развития экономики региона</p> <p>Процессы, продукция и услуги</p> <p>Гибкость бизнес-процессов Совершенствование внутренней системы оценки качества (система мониторинга, измерение ценности инновационных решений). Система управления инновациями. Цифровая трансформация. Организационные трансформации и производительность</p>	<p>Динамика показателей зрелости системы управления. Стратегические показатели. Операционные показатели. Рыночные показатели</p>

Реалии сегодняшнего дня на первый план выдвигают способность компаний не только производить инновационный продукт или осуществлять эффективные процессы, но и умение создавать инновационную бизнес-модель и повышать скорость перехода на ее реализацию.

В настоящее время главным вектором развития МРТК становится всевозрастающая ответственность колледжа за развитие территории, на которой он расположен, о чем свидетельствует указ Главы РС (Я) от 21.08.2022 № 2573 «О развитии Мирнинского района Республики Саха (Якутия) на период до 2030 года», где создание образовательно-производственного центра (кластера) подготовки кадров для отрасли добычи полезных ископаемых Республики на базе МРТК рассматривается как ключевой проект, «проводник» новых практик и моделей развития системы образования, позволяющий сконцентрировать трудовой потенциал региона в одном месте и связать его с крупнейшими работодателями в России.

Вместе с тем возрастающая конкуренция обуславливает необходимость совершения нового «рывка» в развитии, включение в федеральный проект «Профессионалитет». При этом колледж выступает инициатором сетевых программ по подготовке кадров для решения проблем, связанных с модернизацией производственных предприятий и повышением эффективности деятельности образовательных учреждений. Важно отметить, что реализация новой модели происходит в условиях быстрых изменений и некоторого периода неопределенности, которые требуют поддерживать высокое качество образования и одновременно управлять изменениями и трансформацией колледжа. Если до пандемии имелся достаточный запас времени для реализации последовательных изменений, то в современных условиях аналитического подхода, включающего детальный анализ, изучение системы и др., становится недостаточно. Успешное построение и реализация новой модели зависят от способности коллектива выработать стратегию в этот период неопределенности и системно адаптировать

бизнес-процессы, а также использовать гибкие подходы к формированию перспективных направлений развития.

Колледж занимает активную социальную позицию и выступает инициатором социально значимых общественных проектов и благотворительных акций. На средства колледжа был построен первый в республике студенческий домовый храм им. Святого равноапостольного князя Владимира, который служит духовным центром для жителей поселения. На базе колледжа реализуется уникальный для России международный многоплановый социальный проект «Молодежная Ассамблея народов» как место межнационального общения и дружбы народов, форум «Лидер поколения» рассматривается как центр молодежной политики.

Модели делового совершенства как основа организационной трансформации

Вышеперечисленные факторы служат основой моделирования организационной трансформации МРТК на новом этапе.

Модель делового совершенства интегрирует вопросы целеполагания, ключевые процессы системы управления, через которые достигаются цели, и структуру показателей мониторинга (табл. 2). Для описания подходов использована классическая структура премии качества (логика RADAR), на основании которой проводят самооценку (подход – развертывание – оценка и улучшение – свидетельства – владелец подхода – связи).

В основе стратегии развития МРТК лежит видение результатов инновационной деятельности в долгосрочной перспективе, которое основано на позиционировании колледжа в качестве лидера в подготовке высококвалифицированных кадров для горнодобывающей отрасли не только Якутии, но и Дальнего Востока. Видение включает:

- создание инновационной модели образовательного кластера;
- ориентацию на потребителя через взаимодействие с индустриальными партнерами и понимание их потребностей и требований к подготовке выпускников, результатам исследований;
- развитие экосистемы мирнинского образования;
- усиление практической подготовки выпускников, расширение спектра направлений подготовки за счет совершенствования сетевых форм и других инновационных подходов, таких как Корпоративный институт Центра подготовки АК «АЛРОСА» (ПАО) и др.;
- создание условий для выявления и внедрения инноваций, улучшающих все аспекты деятельности МРТК. Например, проекты «Цифровая трансформация», «Комплексная система оценивания результатов», «Молодежная политика» и др.

Более подробно рассмотрим отдельные составляющие модели через пять взаимосвязанных приоритетных областей совершенства, которые, согласно теории, могут обеспечить разработку и реализацию проекта «Образовательный комплекс».

Первое – инновационное совершенство, где инновацию



Демонстрационный экзамен

понимают как новый или значительно улучшенный продукт или процесс, внедренный в практику работы колледжа. Основные составляющие – креативная экономика, построенная на развитии предпринимательских способностей, прорывных проектах для достижения стратегии колледжа, управлении талантами и инициативами персонала и студентов. Главное – это успешное сочетание творческих подходов и высоких технологий.

Второе – цифровое совершенство, под которым понимают эффективное развитие цифровизации как в учебно-воспитательном процессе, так и в управленческой деятельности. Цифровизация влияет на все аспекты деятельности колледжа, включая стратегическое планирование, лидерство, менеджмент, развитие навыков студентов и сотрудников, управление процессами и ресурсами, технологиями.

Третье – совершенство экосистемы, в основе которой лежит взаимосвязь между всеми частями (изменения в одной части могут влиять на состояние других частей внутри системы). Под экосистемой колледжа мы понимаем экономическое сообщество, поддерживаемое объединением взаимодействующих системообразующих участников и заказчиков в лице предприятий АК «АЛРОСА», нефтегазодобывающих предприятий, партнеров – образовательных организаций региона и людей – в рамках общей цели подготовки высококвалифицированных кадров для региона и общих ценностных предложений.

Совершенство экосистемы включает:

- лидерство, направленное на выявление, разработку и внедрение различных партнерских сетей для обеспечения достижений от совместной работы;
- создание команды участников, которые наделены полномочиями, мобильны и способны руководить инновационной деятельностью (предстоит создавать и реализовывать проекты для решения стратегических задач в рамках профессионализма);
- управление партнерской сетью и ресурсами для повышения эффективности, инновационной привлекательности и достижения результатов (новые подходы к созданию сетевых программ с профессиональными образовательными организациями Западной Якутии и др.);



Коллектив Мирнинского регионального технического колледжа. 2023 г.

- пересмотр процессов (обновление нормативной базы, системы менеджмента качества), разработка проектов (обновление «проектного портфеля», что влечет за собой изменения в организационной структуре, такие как создание отдела, отвечающего за реализацию инновационных проектов, определение продуктов и услуг и разработку дорожной карты, регулирующей деятельность участников экосистемы на разных этапах);
- развитие системы мониторинга результатов, отражающих способность колледжа работать с участниками экосистемы и другими заинтересованными сторонами.

Четвертое – совершенствование человеческого капитала как возможности колледжа в формировании организационного лидерства, построенного на активном вовлечении персонала в создание новой модели и достижение высоких результатов. Это требует изменения роли менеджмента: от управления и контроля – к подходу на основе организационных ценностей, создания условий для успешной работы сотрудников.

Пятое – устойчивое совершенство как способ ведения ответственного бизнеса, обеспечивающего долгосрочное конкурентное преимущество. Стратегия колледжа в области устойчивого развития реализуется в рамках концепции устойчивого развития северных территорий, включающей три составляющие устойчивости:

- устойчивое общество как совокупность наций и народов с разнообразием национальных традиций, верований, истории и культуры, совместно проживающих в экстремальных природно-климатических условиях Севера;
- устойчивая окружающая среда как естественная природная система со сложными климатическими условиями, пространство сосуществования представителей живой и неживой природы;


- устойчивая экономика Севера как условие создания жизненного пространства для человека в экстремальных условиях, с высоким уровнем затрат для поддержания инфраструктуры, низкой транспортной доступностью, концентрацией экономики вокруг отдельных конгломераций.

Свидетельством устойчивого развития МРТК служат примеры позиционирования МРТК на российском и международном уровнях. Достижение устойчивого совершенства является для колледжа принципиально стратегическим подходом.

Заключение

Таким образом, в рамках данной публикации сделана попытка раскрыть роль модели делового совершенства как инструмента для формирования целостной модели управления и одновременно диагностического инструмента. Это дает возможность операционной оценки ключевых аспектов деятельности по критериям и стратегической оценки влияния изменений.

Главное преимущество, которое получил коллектив колледжа, – это осознание того, что модель и критерии премий – прежде всего гибкий инструмент, позволяющий диагностировать качество управления, углубленно оценивать и систематизировать все действия по улучшению качества.

Безусловно, победа в конкурсах – это признание лидерства Мирнинского регионального технического колледжа, которое формирует имидж учреждения как организации, стремящейся к улучшению качества образования. Это является основной характеристикой для всех заинтересованных сторон, которые получают подтверждение высокого качества работы МРТК и его надежности. 

УДК 622(050)

«ГОРНЫЙ ЖУРНАЛ» XIX – НАЧАЛА XX В. СКВОЗЬ ПРИЗМУ «ЮБИЛЕЙНЫХ» СТАТЕЙ

С. Д. БАТИЩЕВ, аспирант

Е. Г. НЕКЛЮДОВ, главный научный сотрудник, д-р ист. наук,
ntplant9@mail.ru

Институт истории и археологии УрО РАН, Екатеринбург, Россия

Введение

В 2025 г. будет отмечаться 200-летний юбилей одного из первых в России специализированного научного «Горного журнала», до настоящего времени сохраняющего роль ведущего периодического издания горнотехнического профиля. Рефлексия авторов журнала о его значимости для сообщества специалистов является любопытным феноменом, который можно проследить на примере «юбилейных» (коммеморативных) статей, вышедших к памятным датам истории издания.

Этот феномен можно теоретически обосновать с помощью концепта «культурная память», который позволяет увидеть ценность формирования в памяти общества некоего образа прошлого. Важной особенностью «культурной памяти» является то, что ей присуща своеобразная ритуальная коммуникация, при которой «обращение к прошлому – не что иное, как идентичность вспоминающей группы» [1, с. 55]. Для формирования идентичности какой-либо профессиональной группы необходимо создать нечто такое, чтобы объединяло ее представителей. Возможным вариантом является конструирование образа общего прошлого, которым может быть сопричастность к деятельности значимого для социальной группы периодического издания.

Можно сравнить «юбилейные» публикации и со своеобразными «местами памяти», которые «рождаются и живут благодаря чувству, что спонтанной памяти нет, а значит – нужно создавать архивы, нужно отмечать годовщины, организовывать празднования, производить ... речи» [2, с. 26]. С помощью таких «мест памяти» происходит закрепление образа прошлого, необходимого для сплочения какой-либо социальной или профессиональной группы.

На примерах некоторых «юбилейных» публикаций «Горного журнала» от начала до конца XX в. постараемся проследить, как за это дисперсное время происходила эволюция образа дореволюционного журнала в восприятии его авторов и сопричастных с его работой специалистов.

Последний юбилей в период имперской России (1900 г.)

Первым и, видимо, единственным коммеморативным досоветским текстом, опубликованным в «Горном журнале» в 1900 г., стал «очерк» под названием «Семидесятипятилетие Горного ученого комитета и «Горного журнала». Предваряя его, редактор

С использованием концепции «культурной памяти» в статье прослежено восприятие образа дореволюционного «Горного журнала» его авторами как отражение представлений профессионального сообщества российских горных специалистов. В основу анализа положены статьи, публиковавшиеся в журнале в юбилейные 1900, 1935, 1950, 1975 и 2000 гг. Авторы приходят к заключению, что, несмотря на кардинальные перемены в истории страны, «Горный журнал» оставался значимым «местом памяти» для этого сообщества в течение всего XX в. и способствовал формированию представления о неразрывной связи и единстве поколений горных инженеров России.

Ключевые слова: «Горный журнал», Горный ученый комитет, горное сообщество, коммеморация

DOI: 10.17580/gzh.2023.12.16

журнала Г. Г. Лебедев подчеркнул, что «как в жизни человека 75-летний юбилей службы составляет крайне редкое явление, так и непрерывное издание журнала в течение трех четвертей века может считаться явлением незаурядным». В связи с этим он и счел целесообразным опубликовать на страницах журнала доклад, подготовленный делопроизводителем Горного ученого комитета И. И. Поповым для организованного по случаю юбилея торжественного собрания 21 марта 1900 г.

Тогда после «благодарственного молебствия с провозглашением многолетия» правящему Императору Николаю II, а затем вечной памяти усопшим монархам министр земледелия и государственных имуществ А. С. Ермолов, в подчинении которого находилось горное ведомство, «приветствовал Комитет со знаменательным днем его существования и, отметив плодотворную деятельность Комитета, всегда помогавшего Правительству своими знаниями и опытностью при разрешении технических вопросов горного дела, высказал пожелание, чтобы Комитет и впредь стремился, как он это делал до настоящего времени, к упрочению русской горнопромышленности на научных основаниях» [3, с. 1]. От лица присутствовавших на собрании высших чинов горного ведомства председатель Комитета Н. А. Кулибин выразил благодарность министру и предоставил слово горному инженеру И. И. Попову, который и прочитал опубликованный в журнале доклад «Об учреждении Комитета и его деятельности в минувшие годы».

Углубившись в историю и опираясь на речь инициатора издания Е. В. Карнеева в день открытия Комитета в 1825 г. [4], докладчик напомнил, что изначально «Горный журнал» предназначался для распространения сведений и новых открытий по горному делу, а особенно «для облегчения способов чиновникам

© Батищев С. Д., Неклюдов Е. Г., 2023

Горной службы усовершенствовать свои познания успехами всей ученой Европы». Поскольку «в состав журнала должны были входить точные науки, изложение которых требует величайшей внимательности и точности», и был учрежден при Горном кадетском корпусе Ученый комитет, занимавшийся подготовкой и изданием журнала. Тогда он представлял собой «не узкое бюрократическое учреждение, но ученое общество, нечто вроде ученого собрания». Хотя впоследствии задачи Комитета были существенно расширены и изменен «порядок пополнения личного состава», отметил докладчик, его главной обязанностью по-прежнему оставалось издание «Горного журнала».

С позиций своего времени оценивая роль журнала, И. И. Попов констатировал, что «издание оказалось так хорошо поставленным и настолько привлекло внимание лиц, интересующихся горным делом, что в первый же год своего существования журнал имел свыше 1000 подписчиков. Это лучше всего показывает, насколько своевременно было возникновение журнала, до сих пор остающегося единственным солидным периодическим изданием на русском языке по горному делу». «В прежнее же время, когда в России никаких других технических журналов не выходило, а иностранные журналы были мало или вовсе не распространены, — подчеркнул он, — значение «Горного журнала» было еще больше, чем ныне; он был для русского горного деятеля единственным источником, из которого можно было почерпнуть сведения о положении техники на русских горных промыслах и заводах, а также об успехах естественных и технических наук за границей» [3, с. 7–8].

Директор Горного института Н. А. Иосса, выступивший на собрании с краткой приветственной речью, указал, что «успешная деятельность Комитета за три четверти века его существования много зависела от удачного назначения членов Комитета, благодаря которому Комитет совмещает в себе людей науки с опытными администраторами и практиками горного дела» [3, с. 9].

Отзывы о работе Горного ученого комитета и значении «Горного журнала» прозвучали в тот же год на другом торжественном собрании, посвященном 200-летию Горного ведомства в России (считалось, что оно берет начало от Приказа рудокопных дел, учрежденного Петром I в 1700 г.). Хотя произнесенные там речи не были опубликованы в журнале, они исходили от двух членов Комитета, и потому имеют значение в качестве не менее ценного свидетельства об этом печатном органе.

Известный горный деятель и историк А. М. Лоранский, вероятно, присутствовавший на описанном выше собрании, вслед за его участниками подчеркнул значение деятельности Комитета, «имевшего целью издание «Горного журнала» и рассмотрение разных проектов и предложений об изменениях и улучшениях по технической части». «Комитет, в состав которого входили все известные горные инженеры, — говорил он, — оказал, в течение своего 75-летнего существования, весьма важные услуги как горной технике, так и вообще горнозаводской промышленности в России» [5, с. 51].

Директор Геологического комитета академик А. П. Карпинский в своем выступлении отметил, что «лишь с основания «Горного журнала», существующего уже 3/4 века, на его страницы обильною струей потекли результаты геологических работ, из которых однако далеко не все достойные опубликования были напечатаны». Одна из причин этого заключалась, по его мнению, в том, что журнал «долгое время представлял единственное на русском языке издание, в котором могли найти себе место не только статьи по горнозаводскому делу, но и по другим имеющим к нему отношение наукам». «Для характеристики интереса и значения», какое имел «Горный журнал», выступающий указал, что там «печатались статьи и посторонних ученых, например известного химика Д. И. Соколова и нашего известного ученого Д. И. Менделеева». «В настоящее время, — констатировал знаменитый геолог, — «Горный журнал» конечно уже не может служить для столь обширных целей; специализируясь на горнозаводском деле, он дает место лишь исследованиям по практической геологии — решение вполне целесообразное в виду значительного уже количества других изданий, где могут помещаться статьи геологического содержания» [5, с. 61].

Таким образом, специалисты начала XX в. высоко оценивали «Горный журнал», как источник обширной и ценной информации по различным аспектам развития горнозаводской промышленности и многих сопряженных с ней наук, подчеркивали его значение для образования и просвещения отечественных горных инженеров. Первостепенная роль в столь значимых результатах отводилась редакции и издателю журнала — Горному ученому комитету, который составлялся из ученых, опытных администраторов и горных деятелей. Отмечалось также вполне закономерное сужение изначально обширной тематики «Горного журнала», произошедшее под влиянием развития в России за прошедшие годы научной и технической периодики.

Юбилей советской эпохи (1935, 1950, 1975 гг.)

Первой выявленной юбилейной публикацией советского времени стала небольшая статья А. С. Гринера, посвященная 110-летию «Горного журнала», который продолжал выходить и после революции. Настрой автора в 1935 г. существенно отличался от прежних оценок журнала. Делая краткий экскурс в историю дореволюционного издания, автор критиковал его за «отсутствие связи между отдельными материалами, отсутствие целеустремленности во всем содержании журнала, казенщину, накладывавшую свою печать на всю техническую периодику довоенного времени». Он полагал, что тогда журнал был всего лишь «сборником технических статей, случайно объединенных в выпуски с зачаточной и случайной хроникой и библиографией». «Все это в конечном итоге определяло место и значение «Горного журнала» как органа российского капитализма», — заключал А. С. Гринер, выдавая свои классовые воззрения, отразившие общее негативное отношение официальной идеологии того времени к имперской России [6, с. 8].

По мнению автора статьи, ситуация коренным образом изменилась лишь «в условиях власти рабочего класса, победоносно строящего социализм». Большую роль в этой трансформации сыграл профессор Е. С. Гендлер. Во время его редакторства за последние 4–5 лет «Горный журнал» «изжил аполитичность», которой, как писал А. С. Гринер, «до сих пор страдают многие из наших толстых журналов». «Нет почти ни одного номера, в котором редакция своевременно не откликнулась бы на злободневные хозяйственно-политические вопросы, — свидетельствовал он, — правильно ориентируя своих читателей при решении конкретных практических задач в области улучшения работы горной промышленности» [6, с. 8]. Именно такой вектор развития журнала и давал основание для продолжения его издания в советское время. При всем том, полагал автор, «должна расти и постоянно повышать свою квалификацию и улучшать свою работу и армия авторов и читателей журнала... строящих вместе с рабочим классом под руководством коммунистической партии и ее великого вождя т. Сталина бесклассовое общество» [6, с. 9].

Отражением эпохи стали и «юбилейные» публикации, вышедшие в 1950 г., когда отмечалось 125-летие «Горного журнала». Борьба с космополитизмом, характерная для тех лет, проявилась в замечаниях, высказанных в адрес дореволюционного издания в статье доцента Ленинградского горного института Т. С. Дубравы. По его мнению, «в те годы в «Горном журнале» иногда публиковались статьи, восхвалявшие без меры «достижения» иностранных ученых и замалчивавшие приоритет русских ученых». Также он упрекнул редакцию за большое число «официальных ведомственных материалов», которыми, как правило, начинались старые журнальные номера с целью предоставить подписчикам по всей стране информацию о текущей деятельности Горного ведомства. «При советской власти, — констатировал автор, — официальная часть постепенно сокращалась, и вскоре журнал перешел преимущественно на освещение важнейших научно-производственных проблем горной и горнозаводской промышленности и практической деятельности предприятий» [7, с. 5].

Однако наиболее заметными оказались отзывы о журнале, отразившие непредвзятый профессиональный подход специалистов — известных советских ученых П. И. Городецкого, В. И. Михеева, Н. Н. Стулова, О. Б. Бокия, Н. С. Грейвера в их совместной статье «Роль «Горного журнала» в развитии русской горной науки и техники». Отдав ритуальную дань эпохе и упомянув о том, что достоинством «Горного журнала» являлась публикация статей на русском языке, а также присутствовавшая там «критика иностранных работ», в первых же строках статьи авторы отметили энциклопедический характер дореволюционного журнала. Именно в этом, по их мнению, заключалась одна из его главных особенностей. Другая виделась им в тесной связи редакции журнала с Горным институтом (бывшим Горным кадетским корпусом), благодаря которой «во всех работах, помещенных в журнале, отразились характерные черты научной школы... института — фундаментальность и глубина научных работ и их тесная связь с практикой» [8, с. 7, 12].

Вслед за А. П. Карпинским авторы подчеркнули «огромное значение «Горного журнала» для развития отечественной геологической науки». Одно перечисление важнейших открытий, описанных на страницах журнала, по их оценке, «составило бы целую книгу». «Только за первые 25 лет существования журнала, — констатировали ученые, — в нем были даны описания более пятидесяти найденных в России минералов, причем все эти описания сопровождались полными данными химических анализов». Печатались также «результаты геологических работ, часто с важными теоретическими обобщениями», а «все важнейшие горнорудные и угольные районы в геологическом и горном отношении освещались по этапам их развития» [8, с. 9–11].

Статьи журнала по горнорудному делу, по мнению авторов, «носили преимущественно описательный характер, освещающая практику разработки различных месторождений». Нашло отражение в журнале и появление в России новых отраслей горной промышленности, в частности нефтяного дела. «Большим количеством рефератов и статей, освещающих опыт внедрения новых взрывчатых материалов в отечественной горной промышленности», откликнулся журнал и «на применение... взрывчатых веществ, основанных на нитроглицерине и нитро-клетчатке» [8, с. 13–14].

Химический раздел журнала, начатый капитальной статьей И. И. Варвинского «Взгляд на постепенное усовершенствование всеобщей химии», поразил авторов «чрезвычайным многообразием и свежестью материала». «Здесь, — поясняли они, — публиковались труды русских ученых, в том числе труды ученых лабораторий Департамента горных и соляных дел и Горного кадетского корпуса — первого в России исследовательского учреждения и основной базы развития отечественной горнозаводской и металлургической химии» [8, с. 20].

Эти «юбилейные» статьи свидетельствуют о том, что уже к концу сталинского периода истории редколлегия «Горного журнала» постепенно избавляется от идеологизированных представлений первых лет советской власти и предвзятого отношения к историческому наследию имперской России. Вероятно, причину этого следует искать в том, что в редакцию журнала пришли тогда ответственные ученые и практики горного дела, которые могли по достоинству оценить значение труда своих предшественников. «Горный журнал» в основных принципах организации работы возвращался к традициям, заложенным при его основании.

Подтверждением этого вектора отношения к дореволюционному «Горному журналу» может послужить статья ректора Московского горного института члена-корреспондента АН СССР В. В. Ржевского «Горный журнал» и горная наука», опубликованная в 1975 г. В связи с отмечавшимся тогда 150-летним юбилеем, известный ученый доказывал «тесное единство деятельности «Горного журнала» с развитием и становлением горной науки». «Интересные факты, находки, научные открытия, теоретическое обобщение производственного опыта и четкая

направленность любых научных достижений на пользу горному делу и народу — генеральная линия журнала со дня его основания и до наших дней», — писал он, подчеркивая тем самым органичную связь двух периодов истории журнала — дореволюционного и советского [9, с. 46].

На нескольких примерах автор сделал акцент на недооцененной предшественниками роли журнала как «пионера становления и развития горных наук и новых разделов горной науки». Так, со знанием дела утверждал он, «современная структура маркшейдерии началась с весьма обстоятельного и полного (111 стр.) обобщения практики» в опубликованной в 1847 г. статье «Маркшейдерское искусство» горного инженера П. А. Ольшева (в будущем заслуженного профессора Горного института, члена Горного ученого комитета). «Первое не только в нашей стране, но и за рубежом истинно научное и теоретическое обобщение «Производство массовых земляных работ вообще и разработок золотых россыпей в особенности с помощью экскаваторов» стало, — по его мнению, — «началом современной теории экскавации, теории обмена поездов, порядка передвижки путей, схем путевого развития на карьерах, процессов отвалообразования, организации производства и экономики механизированных открытых разработок». Этот «фундаментальный научный трактат» горного инженера С. А. Подъяконова был в 1910 г. опубликован в трех номерах «Горного журнала». Профессор Горного института И. А. Тиме в статьях 1891 г. «намечил программу современной гидромеханизации». В 1900 г. и в последующие годы, «когда только мечтали об электрификации и автоматизации горного производства в России», в «Горном журнале» вышли статьи инженера П. И. Шапирера по применению электричества в горном и горнозаводском деле, в которых «были заложены основы современной горной электротехники» [9, с. 46–47].

Неоспоримым, доказывал автор, являлся тот факт, что «зарождение, выход в свет всех важнейших обобщений опыта и научных положений, их распространение и широкое признание проходили именно через «Горный журнал», ибо творцы горной науки и техники были его постоянными читателями и корреспондентами». Эту роль журнала поддерживали члены редколлегии и ее актива, «где трудились выдающиеся горняки — ученые и инженеры». Среди них автор отметил такие знаменитые личности XIX и XX вв., как П. П. Аносов, Н. М. Барбот-де-Марни, Н. И. Кокшаров, В. А. Кулибин, Д. И. Менделеев, А. Г. Ферсман, В. А. Обручев, В. Е. Грум-Гржимайло, А. Д. Архангельский, И. М. Губкин и многие другие. Публикация научных работ в «Горном журнале», подчеркивалось в статье, «всегда означала тщательность проверки высказываний и новых положений, выдвигаемых авторами, полезность задуманных ими начинаний, общественное признание авторского труда авторитетным печатным органом» [9, с. 47–48].

Вслед за авторами дореволюционных юбилейных выступлений, В. В. Ржевский указал на закономерность постепенного сужения тематики журнала на горном деле и непосредственно связанных с ним отраслей, которая отразила прогресс

промышленности и науки. Углубляя наблюдение А. П. Карпинского, он показал, что постоянно увеличивавшийся объем информации привел к «отпочкованию» от «Горного журнала» новых периодических изданий. В таблице, приложенной к статье, автор перечислил 28 таких изданий, четыре из которых («Записки Минералогического общества», «Южно-Русский горный листок», «Горно-заводский листок», «Горно-заводское дело») выходили во второй половине XIX — начале XX в., а остальные издавались уже в советское время [8, с. 48].

Подтверждением и официальным признанием весомой роли «Горного журнала» стала статья одного из высших руководителей отрасли — министра цветной металлургии СССР П. Ф. Ломако, вышедшая в том же юбилейном 1975 году. В ней автор акцентировал внимание на весомом вкладе этого периодического издания в развитие горнорудной промышленности и цветной металлургии [10]. Другим таким знаком стало награждение редакции журнала орденом Трудового Красного Знамени.

Первый юбилей постсоветского времени (2000 г.)

Следующий юбилей журнала пришелся уже на постсоветское время: в 2000 г. отмечалось его 175-летие. Редакция отметила эту дату выходом трех коммеморативных статей, посвященных дореволюционной истории журнала. Такой исторический поворот, очевидно, не был случайным. Утвердившееся в профессиональном сообществе представление о первостепенной роли «Горного журнала» в развитии горной и смежных наук совершенно отчетливо было показано в публикациях второй половины XX в. и уже не требовало подтверждения. Начинаясь новый этап, когда с целью дальнейшего использования этого «места памяти» для консолидации горного сообщества в условиях обновляющейся России потребовалось обратиться к историческим сюжетам, связанным с организацией журнала и людьми, стоявшими у истоков его создания.

Эту задачу тогда выполнили профессор Санкт-Петербургского горного университета горный инженер И. Н. Белоглазов и историк Н. А. Кен. В их статье «Горное дело в России в эпоху Александра I» были показаны «предпосылки и условия появления первого русского периодического горного издания». Авторы отметили, что таковыми оказались изменения, произошедшие в начале XIX в. в сфере горного управления и образования. В 1806 г. был подготовлен первый в России кодекс горнозаводского законодательства — Проект горного положения, создан Департамент горных и соляных дел, произошла реорганизация Горного училища в Горный кадетский корпус. Эти институциональные новации были призваны помочь горнозаводской промышленности преодолеть наметившуюся стагнацию. Тогда же «для передовой части русского общества, — констатировали авторы, — стало совершенно очевидным, что один только опыт разработки полезных ископаемых при существующем уровне техники не может обеспечить дальнейшего развития промышленности, необходимо было обобщение накопленного опыта и теоретическое обоснование новых технических методов и средств».

Для этого и потребовалась отраслевая научная периодика, тем более что «все чаще слышались жалобы на отсутствие горнотехнической литературы» [11, с. 75–76].

Отдельную статью эти же авторы посвятили министру финансов России Е. Ф. Канкрину, одному из инициаторов создания «Горного журнала». Они утверждали, что его интерес к горному делу был вызван не только высокой должностью, но имел семейные корни и личные интересы министра. Его дед был горным чиновником, организовавшим работу «рудных заводов» в Германии, а отец — известным минералогом, действительным членом Гессенской академии наук и Берлинского общества естествоиспытателей. После переселения в Россию он работал директором Старорусского солеваренного завода, стал членом Берг-коллегии и почетным членом Горного департамента. Получив юридическое и экономическое образование в Германии, Е. Ф. Канкрин помогал отцу по управлению солеварнями и даже назначался советником соляного отделения Экспедиции государственного хозяйства. Во время Отечественной войны 1812 г. и заграничных походов он был уже генерал-интендантом русской армии. Широкою известность как экономисту будущему министру принесло сочинение «Мировое богатство, национальное богатство и государственное хозяйство». Во время его управления Министерством финансов (1823–1844 гг.) была осуществлена реорганизация Горного института, улучшены казенные горные промыслы, заведено правильное лесное хозяйство на Урале. Его личной заслугой было образование профессиональной корпорации горных специалистов — Корпуса горных инженеров, а также организация экспедиции знаменитого ученого А. Гумбольдта в 1829 г. на Урал и Алтай. Кроме «Горного журнала» при нем был учрежден «Лесной журнал» и издавалась «Экономическая газета», где министр анонимно печатал и собственные статьи. Для «Горного журнала» Е. Ф. Канкрин подготовил публикации о золотых приисках Восточной Сибири. Как писали авторы, «министр установил связи по вопросам горного дела с иностранными учеными обществами» и «по его инициативе появлялись на русском языке извлечения из лучших статей иностранных ученых; он не скупился в средствах для поощрения иностранных изданий по горному делу и содержал агентов за границей, чтобы следить за успехами в промышленности» [12, с. 74].

Статья тех же авторов «Горный журнал» и XIX век» развивала предыдущие исследования и была посвящена уже непосредственно юбилейному изданию. Внимание авторов привлекли изменения в организации и функциях Горного ученого комитета, прослеженные еще в упомянутом выше докладе И. И. Попова. Авторы представили сведения о тираже, определили особенности выхода журнала, когда по запросу читателей дополнительно печатались отдельные номера за предыдущие годы, описали изменения во внешнем облике журнала за XIX столетие. Новыми были сведения о трех редакторах, руководивших изданием журнала в последней трети XIX в.: химике-технологе К. И. Лисенко, металлурге А. В. Добронизском и минералогe Г. Г. Лебедеве.


Авторы отметили, что «горно-техническая печать возникла в России раньше, чем в других странах» и, проследив динамику публикации статей по отдельным годам и тематическим разделам журнала, пришли к заключению, что уже в 1830-е годы «журнал издавался ежемесячно тиражом в 1200 экземпляров и пользовался заслуженным успехом», а некоторые его статьи «переводились за рубежом» [13, с. 91].

Итогом исследования истории «Горного журнала» стала изданная в том же 2000 г. книга И. Н. Белоглазова, Н. А. Кен и А. Г. Воробьева «На пользу Отечеству» [14]. Она стала первым научным трудом, содержащим достоверную информацию обо всем историческом пути журнала, пройденном к тому времени. «За свою 175-летнюю историю «Горный журнал» был современником многих эпохальных событий, — констатировали авторы. — Он начал свое существование незадолго до восстания декабристов, был свидетелем расцвета царского дома Романовых и его гибели. Он выдержал две революции. Вместе со всем народом пережил период сталинских репрессий (исследователям еще предстоит вернуть читателям «Горного журнала» ряд статей, информация о которых была вымарана тушью из всех указателей за 1930-е годы). В 1991 г., вместе со всей страной он вступил в новый этап своего существования и с честью выдержал все экономические трудности и остался верен своим историческим традициям, сохранив своих подписчиков, свой профиль, актуальность материала статей, их научность и в то же время доступность широкому кругу инженеров и практиков» [14, с. 93–94]. Тем самым авторы в очередной раз подчеркнули преемственность современного, советского и дореволюционного периодов истории «Горного журнала», не утратившего роли ведущего научного издания горного профиля в России. Именно такое представление способствует созданию образа общего прошлого для всего сообщества горных специалистов.

Заключение

Таким образом, с помощью «юбилейных» коммеморативных публикаций можно проследить, как происходило формирование отношения профессионального горного сообщества к такому важному для него «месту памяти», как «Горный журнал». Заметно, что реальная оценка вклада этого научно-технического издания, подтвержденная убедительными публикациями как в досоветский, так и в поздне- и постсоветский периоды истории России, опровергала предвзятые и негативные представления 1930-х годов. Их несостоятельность стала очевидна уже в 1950-е годы, когда специалисты, вопреки господствовавшей идеологии, стали возвращаться к объективно высокой оценке роли дореволюционного издания и деятельности его редакции. Профессиональное сообщество не поддавалось влиянию пропаганды и тем самым протянуло «связующую нить» с горным сообществом имперской России. Об этом же свидетельствует и само 200-летнее продолжающееся издание «Горного журнала», которое подтверждает его непреходящее значение для развития горной науки и техники с первых и до последних лет издания.

Библиографический список

1. Ассман Я. Культурная память: Письмо и память о прошлом и политическая идентичность в высоких культурах древности. – М.: Языки славянской культуры, 2004. – 363 с.
2. Нора П., Озуф М., Пюимез Ж., Винок М. Между памятью и историей. Проблематика мест памяти. Франция – память. – СПб., 1999. С. 17–50.
3. Попов И. И. Семидесятилетие Горного ученого комитета и «Горного журнала» // Горный журнал. 1900. № 7. С. 1–11.
4. Докладная записка, поднесенная на Высочайшее Его Императорского Величества благоусмотрение Г. Министром Финансов, об издании Горного журнала // Горный журнал. 1825. Кн. I. С. IV.
5. Денисов С. Н. (сост.) Описание торжественного празднования двухсотлетия существования Горного ведомства. – СПб.: Типография М. Меркушева. 1901. – 192 с.
6. Гринер А. С. К 110-летию «Горного журнала» и 10-летию юбилею редактора проф. Е. С. Гендлера // Горный журнал. 1935. № 6. С. 7–9.
7. Дубрава Т. С. Стодвадцатипятилетие Горного журнала // Горный журнал. 1950. № 6. С. 4–6.
8. Городецкий П. И., Михеев В. И., Стулов Н. Н., Бокий О. Б., Грейвер Н. С. Роль Горного журнала в развитии русской горной науки и техники // Горный журнал. 1950. № 6. С. 7–20.
9. Ржевский В. В. «Горный журнал» и горная наука // Горный журнал. 1975. № 7. С. 46–50.
10. Ломако П. Ф. Вклад «Горного журнала» в развитие горнорудной промышленности цветной металлургии // Горный журнал. 1975. № 7. С. 17–23.
11. Белоглазов И. Н., Кен Н. А. Горное дело в России в эпоху Александра I. Предпосылки и условия появления первого русского периодического горного издания // Горный журнал. 2000. № 4. С. 72–78.
12. Белоглазов И. Н., Кен Н. А., Граф Е. Ф. Канкрин. Министр, писатель, горняк (об одном из инициаторов создания «Горного журнала») // Горный журнал. 2000. № 3. С. 70–74.
13. Белоглазов И. Н., Кен Н. А. «Горный журнал» и XIX век // Горный журнал. 2000. № 5. С. 89–95.
14. Белоглазов И. Н., Кен Н. А., Воробьев А. Г. На пользу Отечеству. – М.: Издательский дом «Руда и Металлы», 2000. – 152 с. 

«GORNYI ZHURNAL», 2023, № 12, pp. 112–117

DOI: 10.17580/gzh.2023.12.16

Gornyi Zhurnal in the 19th-early 20th century through a limbeck of jubilee publications

Information about authors

S. D. Batishchev¹, Postgraduate StudentE. G. Neklyudov¹, Chief Researcher, Doctor of Historical Sciences, ntplant9@mail.ru¹Institute of History and Archeology, Ural Branch, Russian Academy of Sciences, Yekaterinburg, Russia

Abstract

Using the concepts of *Cultural Memory* and *Sites of Memory*, this article retraces the perception of the pre-revolutionary image of *Gornyi Zhurnal* by its authors as a reflection of the vision of a professional community represented by Russian specialists in mineral mining. The review uses the commemorative publications of the Journal toward its 75th anniversary in the time of the Russian Empire (1900), as well as toward the anniversaries in the Soviet period (1935, 1950, 1975) and the 175th anniversary of the Journal in post-Soviet Russia (2000). Emphasis is laid on the different appraisals of this scientific and technical periodical, which first came out in 1825, and its editorial board represented by the Academic Mining Committee composed of well-known scientists, expert managers and leading mining engineers. It is shown that preconceived and negatory views of the Stalin era were overcome already by the 1950s when specialists, contrary to the dominant ideology, restored the objectively high opinion on the pre-revolutionary edition and its editorial staff activity. Also, it is described how the scope of the Journal was expanded with the subjects which attracted attention of the authors of the anniversary publications, starting from the analysis of contribution made by the Journal to cultivate mining art and allied sciences and finishing with the recreation of the Journal history and biographies of its founders and editors. The authors of this article come to a conclusion that, despite the profound changes in the history of the homeland, *Gornyi Zhurnal* remained the site of memory for the mining community for the whole 20th century and promoted the idea of inextricable connection and solidarity of generations of mining engineers in Russia.

Keywords: *Gornyi Zhurnal*, Mining Academic Committee, mining community, commemoration

References

1. Assman Ya. Cultural memory : Writing and memory of the past and political identity in ancient cultures. Moscow : Yazyki slavyanskoykultury, 2004. 363 p.
2. Nora P., Ozouf M., de Puymezh G., Winok M. Between memory and history. Problems of sites of memory. France—Memory : French—Russian translation. Saint-Petersburg : Izdatelstvo Sankt-Peterburgskogo universiteta, 1999. pp. 17–50.
3. Popov I. I. 75 years of the Mining Academic Committee and *Gornyi Zhurnal*. *Gornyi Zhurnal*. 1900. No. 7. pp. 1–11.
4. Memorandum presented for the pleasure of His Most Gracious Imperial Majesty by the Minister of Finance about the *Gornyi Zhurnal* publication. *Gornyi Zhurnal*. 1825. Book I. p. IV.
5. Denisov S. N. Description of the Mining Department's 200th anniversary gala celebration. Saint-Petersburg : Tipografiya M. Merkusheva, 1901. 192 p.
6. Griner A. S. Toward the *Gornyi Zhurnal's* 110th anniversary and 10 years into its editorship by Professor E. S. Gendler. *Gornyi Zhurnal*. 1935. No. 6. pp. 7–9.
7. Dubrava T. S. *Gornyi Zhurnal's* 125th anniversary. *Gornyi Zhurnal*. 1950. No. 6. pp. 4–6.
8. Gorodetskiy P. I., Mikheev V. I., Stulov N. N., Boki O. B., Greyver N. S. Role of *Gornyi Zhurnal* in promotion of Russian mining science and technology. *Gornyi Zhurnal*. 1950. No. 6. pp. 7–20.
9. Rzevskiy V. V. *Gornyi Zhurnal* and mining science. *Gornyi Zhurnal*. 1975. No. 7. pp. 46–50.
10. Lomako P. F. Contribution of *Gornyi Zhurnal* into advancement of nonferrous metal mining industry. *Gornyi Zhurnal*. 1975. No. 7. pp. 17–23.
11. Beloglazov I. N., Ken N. A. Mining art in Russia in the era of Alexander I. Prerequisites and conditions for the first Russian mining periodicals to come out. *Gornyi Zhurnal*. 2000. No. 4. pp. 72–78.
12. Beloglazov I. N., Ken N. A., Graf E. F. Kankrin. Minister, writer, miner (about one of originators of *Gornyi Zhurnal*). *Gornyi Zhurnal*. 2000. No. 3. pp. 70–74.
13. Beloglazov I. N., Ken N. A. *Gornyi Zhurnal* and the 20th century. *Gornyi Zhurnal*. 2000. No. 5. pp. 89–95.
14. Beloglazov I. N., Ken N. A., Vorobev A. G. For the good of the Motherland. Moscow : Ruda i Metally, 2000. 152 p.

ИНЖЕНЕР, ОРГАНИЗАТОР, РУКОВОДИТЕЛЬ



Сазонов Георгий Тихонович – председатель правления, президент АО «Механобр инжиниринг», председатель Совета директоров АО «Институт Механобр» с 1991 г.

Родился 24 июля 1937 г. в Ленинграде. В 1960 г. окончил Ленинградский институт водного транспорта, в 1968 г. – аспирантуру при ВНИИ гидротехники им. Б. Е. Веденеева. С 1961 по 1965 г. работал во Всесоюзном научно-исследовательском и проектном институте механизации и обработки полезных ископаемых (Механобр) в должности инженера, затем – старшего инженера сантехнического отдела. С 1965 по 1967 г. трудился в Кировском Строительном управлении треста «Севэкскавация» (Мурманская обл.) в должности старшего прораба. В 1967–1991 гг. Г. Т. Сазонов – главный специалист сантехнического отдела, начальник гидротехнического отдела, заместитель главного инженера по проектной части, главный инженер института «Механобр»; основоположник школы промышленной гидротехники на горно-металлургических предприятиях страны; автор открытия (явление возникновения гравитационно-газлифтного потока – фонтана) и научной гипотезы о механизме квантования частот обращения тел на орбитальных системах.

В 1992–2000 гг. под руководством Георгия Тихоновича обосновано техническое перевооружение и технологическое развитие ведущих горно-обогатительных комбинатов, выполнен ряд проектов обогатительных фабрик малой производительности (150–400 тыс. т руды в год) с применением мобильных модульных комплексов, разработаны оптимальные решения по минимизации затрат на строительство и проект медной обогатительной фабрики на Алмалыкском ГМК.

Г. Т. Сазонов являлся организатором Международного симпозиума «Восток-Запад» – новые технологии в горнорудной промышленности» (2001–2006 гг.), сопредседателем правления Ленинградской ассоциации проектных организаций, членом Научного совета по обогащению полезных ископаемых РАН, председателем редакционного совета журнала «Обогащение руд», действительным членом РАЕН, Санкт-Петербургской инженерной академии, Академии изобретательства. Георгий Тихонович Сазонов награжден орденом «Знак Почета» (1988 г.), медалью РАЕН им. П. Л. Капицы (1995 г.), почетным знаком «Лидер российской экономики» (2003 г.), орденом «Слава России» (2005 г.).

Есть такая профессия – инженер. Профессия редкая. Ее путают с записью в дипломе, ставят в начале цепочки «инженер – кандидат наук – доктор наук». Но это совсем другое. Ученый изучает, как устроен мир. Инженер влияет на устройство мира лично и с коллегами. И в своем истинном смысле слово «инженер» звучит гордо. Так мы говорим про Доливо-Добровольского, Шухова, Термена, Рамзина, Никитина – инженеры... И академик С. П. Королев прежде всего – инженер.

Чтобы отличить настоящего инженера от номинального, в СССР применяли сочетание «крупный инженер». Оно как раз про Георгия Тихоновича Сазонова.

Много лет Георгий Тихонович руководил проектной частью института «Механобр», был председателем Совета директоров Механобр инжиниринга.

За эти годы было спроектировано и построено множество рудообогатительных фабрик. Фабрики, будучи крупными объектами, становятся частью природной среды, изменяют ее. Особенно это касается гидротехнических сооружений – хвостохранилищ, водонакопителей, мощных трубопроводов. Георгий Тихонович по своей личной специализации был гидротехником. Гидротехнические сооружения – особо опасные объекты. В отличие от обычных промышленных зданий и сооружений, они требуют участия проектировщиков на весь период эксплуатации – мониторинг, наращивание и укрепление дамб и т. п. При этом «менять коней на переправе» опасно, данными объектами занимаются те, кто их проектировал изначально. Благодаря высококвалифицированной работе гидротехников Механобра и лично Г. Т. Сазонова была обеспечена надежность этих объектов. Большинство проектных организаций, занимавшихся обогащением руд, не имели в своем составе гидротехнических отделов. А Механобр имел и имеет, и это – один из факторов, который помог выжить компании «Механобр инжиниринг» в тяжелое постперестроечное время, когда стало мало заказов на проектирование новых фабрик, и появились западные конкуренты.



Но, конечно, Георгий Тихонович не замыкался на гидротехнике. Как руководитель проектной части, он вникал во все — от генерального плана, зданий и сооружений, инженерных сетей и транспорта до технологии, обогащательного оборудования и автоматизации. Настоящий инженер тот, кто знает и чувствует создаваемый им и коллегами объект и в целом, и в деталях. Именно таким универсалом стал Г. Т. Сазонов, выросший от инженера сантехнического отдела до главного инженера института «Механобр».

Как руководитель Г. Т. Сазонов уделял большое внимание вопросам стратегии развития компании «Механобр инжиниринг», организации проектной и исследовательской работы. Эта важнейшая сторона его деятельности была остро необходима, поскольку из государственной организации, финансируемой МЦМ СССР и другими ведомствами, Механобр инжиниринг стал частной компанией, вынужденной жить в конкурентных рыночных условиях. Георгий Тихонович вместе со своим сыном Константином даже написали солидный труд, посвященный совершенствованию стратегического управления развитием Механобр инжиниринга.

Другой важнейшей задачей, с которой блестяще справлялся Георгий Тихонович, было поддержание в организации правильной атмосферы — деловой, творческой, благожелательной и уважительной к сотрудникам, ориентирующей их на расширение и углубление своих знаний. Георгий Тихонович говорил: «Наш основной принцип: работать и учиться самому и не мешать работать и учиться другим». Учитывая хорошо известный факт, что грамотного проектировщика, сразу готового ко всей полноте работы, в институте подготовить невозможно, нужен практический опыт. По инициативе Георгия Тихоновича в Механобр инжиниринге была создана Высшая школа проектирования и эксплуатации обогащательных фабрик, которую он сам и возглавил. Кстати сказать, поскольку эта школа подразумевала передачу молодым специалистам многолетнего наработанного опыта Механобра, Георгий Тихонович считал ее предназначенной исключительно «для служебного пользования» и за рамки организации информацию не распространял.

Успешная деятельность Георгия Тихоновича как руководителя, помимо его высокой квалификации, во многом определялась особенностями его личности, его характера. Невозможно представить себе Г. Т. Сазонова суетящимся, раздраженным и срывающимся на нервах. Конечно, он не был равнодушным и «толстошкурый» и принимал все достаточно близко к сердцу. Но его выручали мудрость и присущая ему здоровая и достаточно оптимистичная ирония. Георгий Тихонович как-то признался, что его любимые поговорки — «нет худа без добра» и «лучшее — враг хорошего». Георгий Тихонович имел особенную, едва заметную улыбку, главная часть его улыбки была в выражении глаз — добром и внимательном. Внешне его образ был как бы простоват, но с огромной «подводной частью», которая ощущалась не в первую секунду, но довольно быстро. За неторопливой речью, ироничными, иногда парадоксальными формулировками прочитывался огромный интеллект, склонность к философскому восприятию мира, мощное чувство юмора. Георгия Тихоновича отличала размеренность, устойчивость скромных привычек. В частности, его кабинет в Механобр инжиниринге, вопреки новым традициям коммерческих организаций, оставался все таким же, каким был при советской власти, с мебелью 1970-х годов.

Георгий Тихонович с огромным уважением относился к своей организации, высоко ценил ее достижения и более чем 90-летний опыт. В одном из интервью он сказал: «Отличительная черта деятельности ЗАО «Механобр инжиниринг» — ее уникальность, а залогом его успешной работы на рынке является его коллектив».

Много лет Г. Т. Сазонов возглавлял редакционный совет журнала «Обогащение руд». Заседания совета проводил кратко, не растекаясь мыслью по древу. Стиль его выступлений был на первый взгляд простовато-официальный, но никогда не скучный; в него, как в оправу, Георгий Тихонович вставлял, соблюдая меру, ироничные и остроумные, намеренно приглушенные по форме замечания. Докладывая мнения рецензентов, он зачитывал наиболее интересные или яркие формулировки, в ряде случаев не менее интересно или с юмором комментируя их. К авторам он проявлял заботу, но слабые статьи не пропускал.

Возраст Георгия Тихоновича был незаметен. Он был нетороплив, однако чувствовалась спокойная, но полноводная энергия. Ему было уже хорошо за семьдесят, но полностью седыми были только виски. Его уход стал неожиданностью и огромной потерей как для коллектива Механобр инжиниринга, так и для всех коллег из других организаций и вообще многих людей.



*Д. В. Шехирев,
НИТУ МИСИС*

В августе 1967 г. я познакомился с Сазоновым. В наш сантехнический отдел пришел новый главный конструктор, который ранее работал в Механобре, но после трех лет работы уехал в г. Апатиты, чтобы принять участие в строительстве гидротехнических сооружений хвостохранилища горно-обогатительного комбината «Апатиты». Как рассказывали, Георгий Тихонович работал на строительстве дамбы и водозаборных сооружений апатитонелефинового обогатительной фабрики.

Одной из первых проектных работ Георгий Тихоновича после возвращения в гидротехническую группу сантехнического отдела была разработка технико-экономического обоснования строительства сооружений хвостового хозяйства Удоканского горно-металлургического комбината. Работа выполнялась, в том числе, и с моим участием. Сегодня, т. е. спустя пятьдесят лет после начала их проектирования, эти сооружения запускаются в работу.

Многие в сантехническом отделе ранее были знакомы с Сазоновым, а те, кто видел его впервые, испытывали уважительное чувство, которое возникало в результате очевидной и ярко выраженной логики и строгости построения речи, свидетельствующей об обоснованности подаваемой мысли. Георгий Тихонович был деликатен в деловых отношениях, без нарочитого панибратства. При создании гидротехнического отдела руководство Министерства цветной металлургии, учитывая положительные деловые качества Сазонова, приняло решение о назначении его начальником отдела. Большинство трудового коллектива, отнеслось к этому назначению положительно.

Под руководством Сазонова, как начальника отдела, а затем руководителя проектной части института, началась кропотливая и неуклонная работа по расширению и укреплению гидротехнического отдела и гидротехнических сооружений горной промышленности Советского Союза. В 1960–1970-х годах в сантехнический отдел, а затем в гидротехнический отдел, при его инициативе и содействии, приходит большая группа молодых специалистов из Ленинградского политехнического института и Института водного транспорта, которые становятся трудовой и творческой основой отдела на последующие десятилетия.

При несомненной помощи и доверии Сазонова молодые специалисты А. М. Бабич, В. И. Кибирев, В. Н. Шевков, Н. А. Филатова, Н. Н. Смирнова начинают руководить работами по созданию проектов, а Николай Валерианович Тимофеев в 1976 г. почти на три будущих десятилетия становится бессменным руководителем отдела.

По предложению Сазонова, с целью повышения уровня безопасной работы хвостохранилищ, Минцветмет СССР в 1973 г. присвоил сотрудникам гидротехнического отдела Механобра статус инспекторов по надзору за эксплуатацией хвостовых хозяйств отрасли. Созданная служба инспекторов начинает систематическую работу

со специалистами и руководством комбинатов по решению проблем в эксплуатации хвостохранилищ, с выдачей мероприятий по повышению безопасности и контролем выполнения, вплоть до сообщений научно-техническому управлению Минцветмета СССР о состоянии хвостовых хозяйств. Это была прорывная идея и инициатива, позволившая повысить внимание руководства предприятий к статусу хвостохранилищ горно-обогатительных фабрик, а также реально поднять уровень их безопасности.

**Г. Т. Сазонов**

Под руководством научно-технического управления Министерства и при участии Сазонова осуществляется ежегодно планируемая работа по созданию инновационных технологий в области оборотного водоснабжения, гидротранспортирования и складирования хвостов. Сазонов становится постоянным руководителем Комиссии по планированию научно-исследовательских работ и принятию отчетов о работе отраслевых лабораторий, с выпуском трудов о конкретных результатах работы. При его руководящем участии выполняется планирование научно-технического и технологического развития техники и технологии хвостового хозяйства.

Организация и руководство научно-техническим развитием работ гидротехников Механобра осуществлялись многими талантливейшими специалистами института. Однако среди них в первую очередь следует назвать Георгия Тихоновича Сазонова, который с момента создания в 1968 г. гидротехнического отдела стал первым начальником отдела, затем с 1970 и до 2015 г. был уже в должности руководителя проектных подразделений Механобра и впоследствии в АО «Механобр инжиниринг» возглавлял и направлял линию развития работ по созданию современного хвостохранилища.

Мощнейший организаторский талант, трудолюбие и воля Сазонова позволили обосновать на всех уровнях принятие решения необходимости привлечения специалистов ряда научных институтов, таких как ВНИИ гидротехники имени Б. Е. Веденеева, Ленинградский политехнический институт, в которых после необходимых решений в Совете Министров СССР была организована лаборатория механики грунтов и устойчивости хвостохранилищ, а в Ленинградском горном институте создана лаборатория гидротранспорта хвостовых пульп.

На моих глазах в 70-х годах прошлого века возникла сердечная дружба Георгия Тихоновича со Станиславом Довноровичем, одним из руководителей строительства

сооружений крупнейшего польского горно-обогатительного предприятия «Купрум».

С 2001 по 2010 г. при заинтересованной поддержке Г. Т. Сазонова создан и ежегодно проводился международный форум «Восток–Запад», с участием в нем представителей комбинатов, проектных и научно-исследовательских институтов, в первую очередь России и Польши, а также ряда стран Европы. Георгий Тихонович лично участвовал в первых семи форумах, проходящих как в Механобре, так и в г. Люблине (Польша).

Оценивая итоги прошедших форумов, следует отметить, что при доверии Г. Т. Сазонова, как руководителя, удалось создать творческий контакт специалистов горной промышленности разных стран, определить основные направления развития отрасли, обсудить вопросы модернизации горных предприятий, познакомиться с новейшим горным оборудованием и технологиями и рассмотреть методы охраны окружающей среды.

Георгий Тихонович посещал форумы, проходящие в Польше, вместе с женой Надеждой Васильевной.

Между мной и Сазоновым складывались и товарищеские контакты.

Мы вместе ходили на дни рождения наших специалистов, вместе сидели за праздничными столами в отделах института на Первое мая, Седьмое ноября и Новый год.

Запомнилось, как на пятидесятилетие, Великой Октябрьской революции в 1967 г. я пришел на стартовую позицию нашей праздничной демонстрации, расположенную во дворе Механобра, с моей женой Галей. В течение всей демонстрации, до и после Дворцовой площади, мы шли с рассказами и шутками и ощущали дружеское внимание и расположение Георгия Тихоновича. Такое внимание и расположение, доверие от Георгия Тихоновича я ощущал все последующие сорок восемь лет совместной работы.

В нашем отделе и в институте было очевидное уважительное отношение Георгия Тихоновича к специалистам института и общества, а они отвечали ему добрым чувством.

Были тяжелые моменты в нашей работе. Драматическая ситуация сложилась, например, когда в 1977 г. Георгию Тихоновичу надо было объясняться на совещании в Министерстве цветной металлургии перед министром отрасли П. Ф. Ломако об аварии на Джезказганском хвостохранилище, которое не только было запроектировано Механобром, но и авторский надзор выполняли тоже мы, и я в частности. При подготовке к этому совещанию я был вместе с Сазоновым в Москве. Мы жили в гостинице, в соседних номерах, и я вечерами видел, как по-человечески тяжело было Сазонову, который возвращался вечером из министерства полностью опустошенным, не имея сил на ужин. Закончилось рассмотрение этого вопроса принятием министерской коллегией позиции и предложений Механобра.



Г. Т. Сазонов (в середине) и С. Довнорович (первый слева) на пятом форуме «Восток–Запад». 2005 г.



Г. Т. Сазонов (первый слева) с женой Надеждой Васильевной (вторая справа) среди российских участников форума в Польше. 2005 г.

Большой талант Сазонова и, как бы сейчас сказали, харизма проявлялась в моменты работы по поиску решений. Почти всегда этот поиск выполнялся со сбором на совещания всех вовлеченных в работу по данному проекту. Совещания частенько начинались с самого утра и могли закончиться в семь-восемь часов вечера. Сазонов не торопился с принятием решения. Раз за разом обсуждались детали, возвращались к началу, искали обоснования и возможные решения. Со стороны могло показаться, что идет повтор, но нет, на новом круге интеллектуального

поиска возникали детали, вслед за которыми происходило появление чего-то нового, но почти всегда верного.

В конце 80-х годов прошлого века, практика проектирования хвостовых хозяйств в Механобре, благодаря результатам воплощенных в жизнь планов Сазонова, привела к старту прорывных решений, например в области программного обеспечения сложнейших расчетов надежности хвостохранилища и ряда других направлений проектирования, строительства и эксплуатации, которые могли поставить наши компетенции на одно из первых мест в мире. Но не сложилось. Страшная сила «демократии» погрузила наш труд в рутину на несколько десятилетий.

Встреча перестройки проходила в институте с энтузиазмом, но Сазонов как бы несколько ушел в себя. Вел работу, не видимую со стороны. Это был период начала новой жизни, и эта жизнь началась не очень плохо для Механобра, в чем была немалая заслуга Георгия Тихоновича. Проектная часть института была сохранена со всеми сотрудниками без исключения.

В 1995 г. в нашей организации стало не хватать денег на выплату зарплаты и в первую очередь в гидротехническом отделе, который имеет специализацию, не профильную для общества. Несколько месяцев мы оставались без денег. В этот период Сазонов предложил и провел судьбоносное решение для нашего отдела. Он, как президент общества, заключил с каждым сотрудником отдела договоры о свободе поиска работы и, что самое главное, о внутренней свободе отдела по распределению зарплаты из части заработанного, оставшейся после выплаты затрат обществу и налогов государству. Это решение привело к многократному росту объемов выполняемых работ, росту производительности, квалификации и численности отдела. Такая система трудовых взаимоотношений просуществовала до 2022 г.

Однако были у нас и разночтения и противоречия, причем по серьезным организационным вопросам. Одно из противоречий заключалось в том, что после создания по инициативе Г. Т. Сазонова Акционерного общества «Механобр инжиниринг», в структуре подразделений было создано бюро главных инженеров, в которое были включены специалисты, исполнявшие обязанности главных инженеров проектов, которые ранее на протяжении десятилетий работали в составе технологических отделов, непосредственно руководя группами специалистов, проектирующих технологические процессы обогащения руд.

На мой взгляд, такое выделение руководителей проектов в отдельное подразделение разорвало прямые связи с разработчиками в отделах, приводя не только к увеличению



Г. Т. Сазонов на VIII форуме «Восток-Запад»

административного ресурса, но и к снижению квалификации руководителя проекта, уменьшению оперативных связей исполнителей с руководителем проектов. Такую точку зрения я неоднократно высказывал Георгию Тихоновичу, в том числе на совещаниях, что привело его в нулевых годах к прямому указанию мне о неверности предложения по возврату к старой структурной организационной схеме. Дискуссию по этому вопросу пришлось прекратить. Следует отметить, что данное противоречие никак не повлияло на наши доверительные и теплые отношения.

Второе, если можно так назвать, разночтение заключалось в моем непонимании фактически сложившегося в конце 1980 – начале 1990-х годов непротивления разрушению партийной организации у нас в стране и в организации в частности. С Георгием Тихоновичем я, как руководитель партийной организации проектной части, обсуждал необходимость активизации партийной работы в обсуждении проходящих событий в стране, однако в ответ прозвучала тишина. Правильность тех решений, возможно, будет оценена в скором настоящем или в более дальнем будущем.

Заключая мои краткие воспоминания, следует сказать, что Георгий Тихонович был большим человеком и организатором, посвятившим свою трудовую жизнь становлению и развитию горной промышленности Родины.

Его жизнь достойна монографии, которая, несомненно, представила бы интереснейшую историю жизни талантливого специалиста, а также историю трудовых отношений, историю науки, проектирования, строительства и эксплуатации обогатительных предприятий Советского Союза и России в последние 80 лет.

*В. И. Кибирев,
АО «Механобр инжиниринг», Санкт-Петербург*

Я пришел на работу в институт «Механобр» в 1972 г. по распределению после окончания Ленинградского политехнического института им М. И. Калинина. Поскольку я закончил электромеханический факультет института по специальности «автоматизация промышленных установок», меня направили в электротехнический отдел, в котором я не захотел работать, так как мне интересна была научная деятельность. После коротких обсуждений я был принят в отдел АСУ (начальник отдела Владимир Станиславович Процудо), в лабораторию управления процессами обогащения (начальник лаборатории Владимир Иосифович Браун, в то время только-только защитивший кандидатскую диссертацию и ставший для нас, молодых специалистов, примером на многие годы). В те годы в институте царил очень теплая, дружеская атмосфера, что связано с объемными работами по проектированию и строительству целого ряда промышленных предприятий цветной и черной металлургии. Для работ по вводу в эксплуатацию проектируемых объектов на строящиеся объекты выезжали целые лаборатории исследователей и группы проектировщиков, в институте обстановка была такая, как после оконченного похода с хорошей компанией. В курилках говорили о результатах работы на объектах, о предстоящих командировках и интересных направлениях исследований. Были изменения и в руководстве, и в организационной структуре. Так в 1971 г. группа гидротехников, которую возглавлял Г. Т. Сазонов была преобразована в гидротехнический отдел, начальником которого стал Григорий Тихонович. Надо сказать, что Г. Т. Сазонов привлек внимание руководства института своим подходом к проектированию гидротехнических сооружений. Он впервые в истории Министерства цветной металлургии предложил создать систему мониторинга хвостохранилищ, а это, как известно, самые опасные сооружения в горнодобывающем и горноперерабатывающем секторе. Он также создал и школу гидротехников, привлекая для работы в институте «Механобр»

молодых специалистов гидротехнического факультета Политехнического института, а также Института инженеров речного транспорта. В том же 1972 г. Георгий Тихонович был назначен заместителем главного инженера института. Ему было в тот момент всего 36 лет. Это назначение, конечно, много значило для Г. Т. Сазонова, но может быть еще больше оно значило для многих специалистов института. В эти годы в институте работало около 2000 человек. Из них значительная часть — это специалисты общепромышленных специальностей, а институт, по сути, технологический. Решение поставить на должность нетехнолога говорит о том, что человек имеет незаурядные знания (главный инженер или его заместитель — это глубокие знания предметов). Да и для нас, молодых специалистов, это пример, что для социального лифта не обязательно быть по образованию технологом-металлургом или обогатителем. Можно быть специалистом общепромышленных специальностей и двигаться по служебной лестнице. Мне приходилось в этот период работы в институте часто общаться с Георгием Тихоновичем. Сначала у нас были очень короткие встречи, связанные с подписанием отчетов, которые выпускала наша лаборатория, при этом неизменная доброжелательность и улыбка сопровождала это короткое общение. У него в кабинете отсутствовала приемная, всегда можно было зайти, при этом с той же улыбкой приветствие и «заходите», «посидите», это если кто-то уже у него был. Он никогда не допускал, чтобы сотрудник, пришедший по делу, его ждал в коридоре. Он всегда брал телефонную трубку, т. е. всегда можно было дозвониться. С ним было комфортно работать как с руководителем. Это проявилось и в дальнейшем, когда нам пришлось вместе быть в командировке в г. Тырныаузе, где специалисты института «Механобр» выполняли пусконаладочные работы по запуску объектов реконструкции обогатительной фабрики, в частности корпуса самоизмельчения и обогатительной фабрики (ОФ). Министерство цветной металлургии



командировало Георгия Тихоновича сначала на 100 дней, а потом еще несколько раз по сто. И в этих условиях, когда срывались сроки по разным причинам, отсутствовали элементарные материалы или то или иное оборудование, неизменное спокойствие не покидало Георгия Тихоновича. Весь коллектив, а на этой площадке в определенные периоды было не менее 25–30 специалистов института, не покидали доброжелательные отношения, спокойное поведение и уверенность в том, что дело, которое нам поручено, будет сделано. В результате фабрику мы запустили, Георгий Тихонович сделал соответствующий доклад на коллегии Министерства, а наши встречи и взаимодействия прервались, я стал заниматься другими объектами до тех пор, пока не пришел 1984-й год. В этом и последующем годах время от времени всплывала тема сотрудничества с финской фирмой «Оутокумпу». Ее сотрудники часто были представлены на конгрессах, выставках, посвященных обогащательной отрасли. Конечно, нам, специалистам СССР, было всегда интересно, как решаются аналогичные нашим задачи за рубежом. Надо сказать, что «Оутокумпу» была общепризнанным мировым лидером в области изготовления обогащательного оборудования и в области знаний и опыта строительства обогащательных предприятий в мире. Конечно, в первую очередь финские специалисты запроектировали и построили обогащательные комбинаты в собственной стране. Эти предприятия работали по самым современным технологиям, с самыми современными реагентами, с самым современным оборудованием и получали самые высокие технологические показатели. Вот эти самые специалисты начали время от времени посещать институт «Механобр», конечно, с целью предложить использовать опыт Финляндии при проектировании обогащательных фабрик в СССР. В этот период времени уже многие фабрики нуждались в реконструкции, и Министерство цветной металлургии поставило перед руководством института вопрос: а если мы купим самую современную технологию и самые современные флотомашин, можем ли рассчитывать на получение самой высокой производительности труда в стране? И если да, то, на каком предприятии надо начинать работы по проектированию реконструкции? В результате долгих дебатов на эту тему было принято решение, что в первую очередь будем реконструировать ОФ № 1 комбината «Печенганикель», а во вторую — завершать начатое строительство АНОФ-3 объединения «Апатит». В этой «карусели», конечно, всегда присутствовали Георгий Тихонович, ГИПы Леонов Борис Павлович, Юлий Владимирович Видревич и приглашенные специалисты. В эту группу входил и я, так как много лет занимался автоматизацией части технологии ОФ № 1 комбината «Печенганикель» и АНОФ-3. Можно представить,

сколько было совещаний разного рода в Ленинграде в институте и в Москве в представительстве «Оутокумпу» по поводу проекта, который должен соответствовать самым современным требованиям, оборудования, которое должно быть самым крупным, самым автоматизированным, обеспечивающим самую высокую производительность труда на одного работающего и т. п. Несмотря на все эти самые-самые, Георгий Тихонович, не изменяя себе, спокойно разводил эмоциональных специалистов, которые предлагали самые невероятные идеи за деньги Министерства. Ведь на самом деле необходимо было принять решение о приобретении и при этом нести ответственность за результат траты огромных по тем временам инвалютных средств. И это в двойном размере (предприятий два). Честно говоря, это была непростая задача. Но надо сказать, что, пройдя эту дорогу, Георгий Тихонович почувствовал свои новые возможности и по окончании, причем успешном окончании двух проектов, он начал новый — по созданию первого совместного предприятия (СП) института «Механобр» и финского концерна «Оутокумпу». Было создано СП «Минерал процессинг Инжинирс», и Георгий Тихонович стал его генеральным директором, совмещая эту работу с должностью главного инженера института. Конечно, на помощь Георгию Тихоновичу по его приглашению пришли многие сотрудники института, в том числе и я. Так получилось, что первым контрактом новоиспеченной фирмы был контракт по автоматизации обогащательной фабрики ГОКа «Эрдэнэт», где я в то время уже старший научный сотрудник работал по тематике института «Механобр». Конечно, первый контракт ждали все: и вновь принятые сотрудники в никому не известное СП, и директор института «Механобр» (Владимир Иванович Ревнивцев), и руководители фирмы «Оутокумпу» в Хельсинки. Георгий Тихонович был мне, конечно, признателен за этот контракт, а я был горд и сейчас горжусь тем, что первый контракт мой. В результате всех пересечений на разных объектах у нас с Георгием Тихоновичем сложились вполне дружеские отношения: мы могли положиться друг на друга, поэтому, когда первый директор АО «Механобр инжиниринг» Александр Оскарович Ядрышников предложил мою кандидатуру на должность исполнительного директора, Георгий Тихонович дал согласие — это было в 1995 г. С тех пор мы уже, можно сказать, не расставались, так как виделись и общались еженедельно, ведь он был председателем Совета директоров АО «Механобр инжиниринг», а я, соответственно, исполнительным директором, всегда приглашаемым на заседания Совета директоров.

*Е. М. Шендерович,
РТ-Инжиниринг, Санкт-Петербург*

ПАМЯТИ ОПАРИНА ВИКТОРА НИКОЛАЕВИЧА



Извещаем горно-техническую общественность, что 24 ноября 2023 г. на 72-м году ушел из жизни Виктор Николаевич Опарин – выдающийся ученый в области механики и геофизики горных пород, действительный член Академии горных наук, иностранный член Академии инженерных наук Сербии, член-корреспондент РАН, доктор

физико-математических наук, профессор.

Виктор Николаевич родился 10.12.1951 г. в пос. Могзон Читинской области. В 1974 г. окончил геолого-геофизический факультет Новосибирского государственного университета с присвоением квалификации «инженер геолог-геофизик».

В Институте горного дела СО РАН Виктор Николаевич прошел путь от младшего научного сотрудника (1978–1980 гг.) до директора Института (2003–2013 гг.).

Важнейшие результаты научных исследований В. Н. Опарина связаны с разработкой теоретических основ геомеханической интерпретации геофизических данных, созданием комплексов измерительных приборов диагностики напряженно-деформированного состояния массивов горных пород и контроля геомеханических процессов. Им сделан в соавторстве ряд научных открытий принципиальной значимости в решении проблемы освоения больших глубин для сложных горно-геологических условий: явление зональной дезинтеграции горных пород вокруг подземных выработок; явление знакопеременной реакции горных пород на динамические воздействия от землетрясений, горных ударов и взрывов; эффект самоорганизации геоматериалов с образованием ячеистых структур в виде пассивного ядра и активной несущей оболочки; эффект аномально низкого трения в геосредах.

В. Н. Опарин основал Сибирскую научную школу по нелинейной геомеханике, получившую в 2008 г. государственную поддержку. Большое внимание уделял подготовке научных и инженерных кадров. Им созданы базовая для ИГД СО РАН кафедра геомеханики при Новосибирском государственном университете, которую он возглавил; филиал Института горного дела СО РАН при Читинском государственном университете; Горный научно-образовательный центр ИГД СО РАН, научное руководство которым осуществлял Виктор Николаевич. Он подготовил 4 докторов и 7 кандидатов наук.

В последнее десятилетие В. Н. Опарин являлся научным координатором ряда крупных междисциплинарных и комплексных интеграционных проектов Сибирского отделения РАН, объединявших большие коллективы исследователей из более десятка академических институтов СО РАН, УрО РАН, ДВО РАН, КНЦ РАН, НАН Киргизии, отраслевых НИИ и ведущих вузов Сибири.

Виктор Николаевич Опарин – один из основных инициаторов и разработчиков Технологической платформы России «Твердые полезные ископаемые» и член ее Наблюдательного совета. Он принимал активное участие в разработке перспективных программ СО РАН научного и технологического обеспечения

социально-экономического развития Кемеровской области и Забайкальского края, а также «Стратегии развития Сибирского отделения Российской Академии наук до 2025 г.».

В разные годы В. Н. Опарин был членом Президиума СО РАН, заместителем председателя Научного совета РАН по проблемам горных наук, членом Бюро Объединенного ученого совета СО РАН по наукам о Земле, председателем Ученого и Диссертационного докторского советов ИГД СО РАН; председателем подсекции по физико-техническим наукам НИСО СО РАН, главным редактором научного журнала «Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых», представляющего весь спектр теоретических и прикладных исследований по горным наукам.

По результатам выполненных научных исследований, технических и технологических разработок В. Н. Опариным лично и в соавторстве опубликовано более 400 научных работ.

В. Н. Опарин возглавлял оргкомитеты ежегодно проводимых ИГД СО РАН в Новосибирском Академгородке международных конференций: «Геодинамика и напряженное состояние недр Земли», а также «Фундаментальные проблемы формирования техногенной геосреды». В 2011 г. Виктором Николаевичем Опариным совместно с выдающимися китайскими учеными основана Китайско-Российская конференция «Нелинейные геомеханико-геодинамические процессы при отработке месторождений полезных ископаемых на больших глубинах», ежегодно приводящаяся в РФ и КНР.

Научные достижения и прикладные разработки В. Н. Опарина отмечены многочисленными российскими и зарубежными наградами, среди которых диплом «Человек года – 1998» Американского биографического института, медаль Ордена «За заслуги перед Отечеством» II степени, золотая медаль им. акад. Ж. С. Ержанова (НАН Казахстана), серебряная медаль им. П. Л. Капицы, медаль «За особые Заслуги перед Кузбассом» III степени, Почетные грамоты Правительства Российской Федерации, РАН и СО РАН; Почетный знак «Ученый года – 2011» и др.

Виктор Николаевич Опарин – выдающийся ученый в области горных наук, обогативший трудами первостепенной значимости фундаментальные основы безопасной отработки месторождений полезных ископаемых в условиях больших глубин. Полученные им теоретические и экспериментальные результаты в области нелинейной геомеханики во многом определяют современные направления развития этой ныне бурно развивающейся в России и за рубежом отрасли знаний – естественно-научной базы для геотехнологий будущего.

Светлая память о талантливом ученом, мудром учителе, незаурядной личности сохранится в сердцах всех, кто его знал, в его многочисленных трудах и в работах его учеников. Выражаем свои соболезнования родным и близким Виктора Николаевича.

*Президиум СО РАН
Объединенный ученый совет СО РАН наук о Земле
Коллектив Института горного дела им. Н. А. Чинакала СО РАН,
редколлегия и редакция «Горного журнала»*

Автор и название статьи № Стр.

НАУКА И ПРОМЫШЛЕННОСТЬ

Захаров В. Н., Каплунов Д. Р., Федотенко В. С. Принципы и направления цифровизации горнотехнических систем комплексного освоения недр	2	4
Микешин М. И. «Зоны обмена» и технические науки	6	51

ИЗ ОПЫТА РАБОТЫ ГОРНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ И ОРГАНИЗАЦИЙОАО «БЕЛАРУСЬКАЛИЙ»

Головатый И. И. ОАО «Беларуськалий» – современное горнодобывающее и градообразующее предприятие	8	14
Андрейко С. С., Чайковский И. И., Гетманов В. Н., Чаянов А. Б. Исследование форм полостей и локализации газово-жидких включений в соляных породах Старобинского месторождения калийных солей	8	18
Литвиновская Н. А., Папулов А. С., Петровский А. Б., Подлесный И. А. Оценка газодинамической опасности пород кровли подготовительных выработок при их проходке на Третьем калийном пласте	8	24
Нестеров Е. А., Бобров Д. А., Барбиков Д. В., Петровский Ю. Б. Газоносность и газодинамические характеристики пород сильвинитового пласта IV-п Петриковского месторождения калийных солей	8	29
Головатый И. И., Левин Л. Ю., Семин М. А., Пугин А. В. Реализация принципов замораживания «по требованию» при строительстве стволов Дарасинского рудника	8	34
Барях А. А., Девятков С. Ю., Денкевич Э. Т., Михайлов В. О., Тимошкина Е. П. Геомеханическое сопровождение спутникового радарного мониторинга оседаний подработанных территорий	8	40
Гришин Е. Л., Бородавкин Д. А., Петровский А. Б., Долгих А. С. Факторы проветривания рабочих зон рудников ОАО «Беларуськалий»	8	50
Андрейко С. С., Иванов О. В., Подлесный И. А., Сиренко Ю. Г. Предотвращение «запоздалых» обрушений пород кровли подготовительных горных выработок на II калийном пласте рудника Третьего Рудоуправления ОАО «Беларуськалий»	8	57
Антоний (Доронин А.) Солигорский светоч	8	63

БЕЛГОРОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

Тюпин В. Н. Обоснование формул для оценки критической глубины месторождений по условию удароопасности	12	4
Тюпин В. Н. Изменение напряженно-деформированного состояния призабойного массива горных пород после взрывания проходческих шпуров	12	10
Косинова И. И., Игнатенко И. М., Курышев А. А., Бударина В. А. Особенности трансформации эколого-гидрогеохимической обстановки территорий в пределах зон влияния Стойленского горнодобывающего комплекса	12	14

ГОРНЫЙ ИНСТИТУТ УРАЛЬСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ РАН

Корчагин П. А., Черных А. В. Егошиха – настоящий горный городок (к 300-летию юбилею города Перми)	11	4
Барях А. А., Евсеев А. В., Глебова П. А., Васильева Е. Л. Прогноз оседаний земной поверхности по данным измерений деформаций горных выработок	11	10
Морозов И. А., Токсаров В. Н., Поляков И. В., Паньков И. Л. Проявления горного давления в условиях глубокого калийного рудника	11	15
Андрейко С. С., Иванов О. В., Литвиновская Н. А., Лукьянец Е. В. Предотвращение газодинамических явлений при последовательной отработке сильвинитовых пластов KpII и АБ в условиях Верхнекамского месторождения калийно-магниевого солей	11	20
Санфиоров И. А., Чугаев А. В., Трапезникова А. Б., Тезиков А. Д. Направления развития сейсморазведочного мониторинга водозащитной толщи действующих соляных рудников	11	27
Бычков С. Г., Симанов А. А., Хохлова В. В. Гравитационные поля аварийных участков рудников Верхнекамского месторождения калийных солей	11	32
Ярославцев А. Г., Тарантин М. В., Жикин А. А. Учет направленности источников сейсмических колебаний при решении горно-геологических задач	11	37
Исаевич А. Г., Суханов А. Е., Желнин М. С., Поляков И. В. Оценка эффективности различных вариантов проветривания тупикового комбайнового забоя по пылевому фактору в условиях глубокого калийного рудника	11	43
Попов М. Д., Гришин Е. Л., Жихарев С. Я., Шалимов А. В. Оценка рисков последовательного проветривания при вскрытии месторождения наклонными съездами	11	49
Зайцев А. В., Левин Л. Ю., Паршаков О. С. Особенности проектирования вентиляции и кондиционирования воздуха глубоких рудников	11	57
Семин М. А., Бублик С. А., Зайцев А. В., Мальцев С. В. Оценка аэродинамического влияния движущейся клетки на работу главного вентилятора	11	64
Жихарев С. Я., Цыганков В. Д., Родионов В. А., Исаевич А. Г. Оптимизация процессов пылеподавления при ведении подземных горных работ на основе данных натуральных экспериментов и моделирования в программе ANSYS Fluent	11	70
Жихарев С. Я., Родионов В. А., Кормициков Д. С., Никашин В. А. Методологический подход к контролю состава рудничной атмосферы и определению безопасных условий ведения подземных горных работ	11	75
Кашников А. В., Круглов Ю. В. Применение плавающего коэффициента рециркуляции при построении систем автоматического управления проветриванием рудников	11	80
Иванов О. В., Нестерова С. Ю., Лядов В. О., Лукьянец Е. В. Региональное прогнозирование опасных по газодинамическим явлениям зон в условиях шахтного поля рудника Талицкого ГОКа	11	84
Андрейко С. С., Чайковский И. И., Нестеров Е. А., Папулов А. С. Экспериментальные исследования газоносности пластов сильвинит-карналлитового состава в условиях Верхнекамского месторождения калийно-магниевого солей	11	89
Нестеров Е. А., Бобров Д. А., Папулов А. С., Лядов В. О. Обоснование параметров профилактического дегазационного бурения в юго-восточной части шахтного поля рудника ООО «ЕвроХим – Усольский калийный комбинат»	11	94
Лепихин А. П., Богомолов А. В., Ляхин Ю. С., Лучников А. И. Обеспечение устойчивого водопользования в зонах активного техногенеза (на примере ВКМКС)	11	97

Сметанников А. Ф., Оносов Д. В., Коротченкова О. В., Оносова Е. Ф. Декремнизация кварц-лейкокситового концентрата – промежуточного продукта переработки нефтетитановых руд	11	103
Чайковский И. И., Иванов О. В., Папулов А. С. Состав и природа связанных и свободных газов Верхнекамского месторождения солей	11	108
Закиров Д. Г., Файзрахманов Р. А., Рюмкин А. А., Григорьев Ю. В. Снижение энергоёмкости, повышение энергетической эффективности, экологизация горнорудных предприятий: системный подход к решению комплексной задачи	11	112

ЗАПОЛЯРНЫЙ ФИЛИАЛ ПАО «ГМК «НОРИЛЬСКИЙ НИКЕЛЬ»

Былков А. В., Горбачев С. А., Румянцев А. Е., Головченко Ю. Ю. Геотехническое обоснование изменения направления отработки запасов богатых руд рудника «Таймырский»	6	5
Солуянов Н. О., Цымбалов А. А., Кузьмин С. В., Давыдов А. А. Анализ исходных данных при построении геомеханической модели шахты «Глубокая» рудника «Скалистый» в контуре залежи богатых руд С-Б Октябрьского месторождения	6	12
Дарбинян Т. П., Цымбалов А. А., Зубов В. П., Колганов А. В. Влияние трещиноватости горного массива на разубоживание медно-никелевых вкрапленных руд при их добыче на руднике «Октябрьский».	6	19
Марысюк В. П., Шиленко С. Ю., Кибров И. С., Ханина И. А. Численное моделирование при оценке состояния бетонной крепи и закрепного пространства методом георадиолокации	6	26
Дарбинян Т. П., Былков А. В., Кузьмин С. В., Шнайдер И. В. Выявление водообильных зон в окрестностях выработок на руднике «Таймырский»	6	32
Герасименко О. С., Балясникова О. В. Нормирование труда как основа эффективного управления ресурсами	6	40

АО «КОЛЬСКАЯ ГМК»

Козырев С. А., Сафонов Н. В., Матвеев В. А. Совершенствование технологии ведения взрывных работ на руднике «Северный» АО «Кольская ГМК» при использовании эмульсионных взрывчатых веществ	8	5
--	---	---

НАВОЙСКИЙ ГОРНО-МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИЙ КОМБИНАТ

Джулибеков Н., Костаев У. Навойский горно-металлургический комбинат: 65 лет по пути устойчивого развития	8	68
---	---	----

АО «НПО «РИВС»

Санакулов К. С., Эргашев У. А., Зимица А. А., Поперечникова О. Ю. Применение комбинированных технологий для рациональной переработки особо упорных золотосульфидных руд.	10	4
Залесов М. В., Петров Г. В. Цианирование окисленной золотомедьсодержащей руды	10	8
Давлетбаева Э. Б., Муталов М. Р., Назаров Ю. П. Разработка технологии обогащения бериллийсодержащей руды и ее испытание в полупромышленных условиях	10	15
Матвеева Т. Н., Громова Н. К., Ланцова Л. Б., Поперечникова О. Ю. Разработка и испытание селективных реагентов для флотации комплексных золотосодержащих руд.	10	21
Самуков А. Д., Герасименко С. И. Моделирование процесса самоизмельчения железосодержащих руд с додробливанием критических классов крупности	10	25
Бодузн А. Я., Фокина С. Б., Фёдоров А. Т., Петров Г. В. Совершенствование технологии сорбционного концентрирования платиновых металлов из хлоридных растворов гидрометаллургической переработки малосульфидных флотационных концентратов	10	34
Бодузн А. Я. Гидрометаллургические технологии переработки низкосортных и некондиционных медных концентратов	10	41
Герасименко Л. А., Логовская Г. В. Особенности технологии переработки забалансовой руды Кальмакырского месторождения	10	50
Лукьянов К. В., Шамигулов О. Ю., Иванов Е. А. Сравнительная характеристика применения пневматических и пневмомеханических флотационных машин при переработке медно-золотых руд	10	57
Каменецкий А. А., Сбежнев Р. В., Седов А. В. Разработка и промышленные испытания пульпового гранулометра	10	62
Бондаренко А. В., Полищук А. М., Андреев И. В., Шаловалов Е. В. Опыт разработки, внедрения и развития автоматической системы опробования пульповых продуктов обогащения руд	10	66
Антонов В. В. Создание, интеграция и использование цифровых двойников предприятий.	10	75
Голованов А. В., Шестаков К. И., Кутлин Б. А., Поперечникова О. Ю. Основные технические решения по строительству отдельно стоящего корпуса дообогащения железорудного концентрата	10	79
Голованов А. В., Ропейко С. А., Исмаилов Р. И., Голеньков Д. Н. Проект реконструкции системы сгущения и оборотного водоснабжения АО «Лебединский ГОК»	10	82
Юрлова Н. А., Иванова А. Ю., Максакова И. Б. Разработка методик измерений аминокислотсодержащих флотореагентов для производственно-экологического и технологического контроля	10	86

ООО «НТЦ «БАКОР»

Андреев М. А., Бернт Д. Д., Пахнина С. Ю., Красный А. Б. Высокоэффективное оборудование производства Вологодского машиностроительного завода «Бакор» для импортозамещения в горнодобывающей промышленности	2	9
---	---	---

ПАО «ПРИАРГУНСКОЕ ПРОИЗВОДСТВЕННОЕ ГОРНО-ХИМИЧЕСКОЕ ОБЪЕДИНЕНИЕ»

Киселёв И. А. ПАО «ППГХО»: 55 лет созидательного труда	7	6
Лизункин В. М., Бодров А. С., Лизункин М. В., Сосновская Е. Л. Геомеханическая оценка напряженно-деформированного состояния массива вмещающих пород при заполнении выработанного пространства продуктами гидрометаллургической переработки урановых руд	7	11
Июффе А. М., Величко Д. В., Селезнев А. В., Миронова Е. С. Геомеханическое сопровождение проектных работ по руднику № 6 ПАО «ППГХО»	7	16
Бабелло В. А. Оценка прочностных свойств пород бортов Уртуйского разреза	7	24
Июффе А. М., Величко Д. В., Селезнев А. В., Миронова Е. С. Корректировка параметров откосов разреза «Уртуйский» для обеспечения их устойчивости на основе методов численного моделирования	7	29

Овсейчук В. А., Авдеев П. Б. Совершенствование экономико-математической модели оценки урановых месторождений	7	37
Лизункин М. В., Лизункин В. М., Бабелло В. А. Перспективные технологии разработки маломощных крутопадающих сложноструктурных месторождений Стрельцовского рудного поля	7	41
Пирогов Г. Г., Подопригора В. Е. Комплексно-механизированная разработка рудных тел с магазинированием руды.	7	46
Тюкавкин Д. А., Рогозников С. А. Совершенствование системы разработки пластообразных рудных тел на месторождениях ПАО «ППГХО»	7	49
Яковлев М. В., Большухин В. Ю. Применение методов грануляции в технологии кучного выщелачивания урана из руд	7	53
Бейдин А. В., Морозов А. А., Якимов А. А. Повышение эффективности выщелачивания бедных урановых руд.	7	59
Татарников А. В., Андреева С. И., Мешков Е. Ю., Соловьев А. А. Изучение устойчивости анионитов в пульвовом процессе сернокислотного сорбционного выщелачивания урановых руд ПАО «ППГХО»	7	65
Бодров А. С. Исследования фильтрационных характеристик образцов закладочного массива, приготовленного с использованием хвостов переработки урановых руд	7	74
Бахарева Л. И., Середина М. Н., Наговицын О. В. Применение современных цифровых технологий инженерного обеспечения горных работ в ПАО «ППГХО им. Е. П. Славского»	7	79
Карамушка В. П., Савельев Д. С. Обеспечение экологической безопасности при переработке карбонатных руд месторождения Аргунское ПАО «ППГХО»	7	85
САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМПЕРАТРИЦЫ ЕКАТЕРИНЫ II		
Шабаров А. Н., Куранов А. Д. Основные направления развития горнодобывающей отрасли в усложняющихся горнотехнических условиях ведения горных работ	5	5
Ильиных М. Д., Коршунов В. А., Поспехов Г. Б., Шоков А. Н. Комплексные экспериментальные исследования механических свойств горных пород: проблемы и пути их решения	5	11
Кутепов Ю. И., Кутепова Н. А., Поспехов Г. Б., Васильева А. Д. Инженерно-геологические особенности формирования техногенных массивов из различных видов фосфогипса	5	19
Морозов К. В., Демёкин Д. Н., Котлов С. Н., Абашин В. И. Шахтные экспериментальные исследования фильтрационных свойств горных пород на глубоких горизонтах месторождений калийных солей для создания водозащитных перемычек	5	25
Багаутдинов И. И., Зуев Б. Ю., Стрешнев А. А. Оценка эффективности бурения разгрузочных скважин для приведения выработок в неудоропасное состояние методами численного и физического моделирования	5	33
Абраштитов А. Ю., Шабаров А. Н., Корчак П. А., Куранов А. Д. Опыт взаимодействия с горным предприятием при решении проблем геодинамической безопасности	5	40
Цирель С. В., Павлович А. А., Мельников Н. Я. Обоснование параметров бортов карьеров при крутопадающем залегании слоев	5	49
Павлович А. А., Хорева А. Ю. Определение прочностных свойств отвальной массы для оценки устойчивости откосов отвалов	5	55
Кутепов Ю. Ю., Карасев М. А. Изучение и прогноз уплотнения фосфогипса в отвалах для обоснования их вместимости	5	61
Кутепов Ю. И., Кутепова Н. А., Пономаренко М. Р., Кутепов Ю. Ю. Геомеханический мониторинг устойчивости бортов разрезов и отвалов при разработке угольных месторождений	5	69
Зуев Б. Ю., Истомина Р. С., Обожица Е. П. Физическое моделирование нелинейных геомеханических процессов при разработке калийных месторождений	5	75
Вильнер М. А., Стрешнев А. А., Онуприенко В. С. Комплексное исследование напряженно-деформированного состояния целиков при отработке апатит-нефелиновых месторождений системой подэтажного обрушения	5	80
Беляков Н. А., Морозов К. В., Емельянов И. А. Методика обработки данных полевых испытаний по оценке естественного напряженного состояния горного массива методом кольцевой разгрузки	5	89
Жерлыгина Е. С., Мустафин М. Г., Васильев Б. Ю., Николаев Р. В. Методика определения линейных параметров процессов сдвижений по цифровым моделям рельефа при разработке Хибинских месторождений апатит-нефелиновых руд	5	97
Гриценко К. И., Лесничий Л. И. Прогноз сезонных и годовых изменений водопритоков к карьерам с использованием модели склонового стока со сосредоточенными параметрами	5	104
Котлов С. Н., Целищев Н. А., Сотник Е. А., Гилязов Д. Х. Геолого-гидрогеологические факторы формирования водопритоков в горные выработки Яковлевского рудника	5	108
Сучилин А. В., Андреев А. А., Васильев Д. А., Раков И. В. Выбор технологии отработки на шахте «Ангидрит»	5	114
Казанин О. И. Перспективные направления развития технологий подземной угледобычи в РФ	9	4
Илюхин Д. А., Маринин М. А., Рахманов Р. А. Исследование параметров развала взорванной горной массы фотограмметрическим методом съемки	9	12
Зацепин М. А., Господариков А. П. О некоторых подходах к численному моделированию динамического разрушения массива горных пород при ведении буровзрывных работ	9	21
Маринин М. А., Маринина О. А., Рахманов Р. А. Методический подход к оценке влияния гранулометрического состава взорванной горной массы на стоимость горных работ	9	28
Родионов В. А., Серегин А. С., Иконников Д. А. Мультипликативный метод оценки взрывопожароопасных свойств рудничной атмосферы при поступлении в воздушную среду углеводородных газов	9	35
Гендлер С. Г., Прохорова Е. А. Методические основы выбора приоритетных направлений управления охраной труда при подземной добыче угля на основе анализа динамики интегрального риска травматизма и профессиональной заболеваемости	9	41
Кабанов Е. И. Анализ риска аварий на угольных шахтах с учетом человеческого фактора	9	48
Смирнов Ю. Д., Матвеева В. А., Яковлев Н. М., Сахабутдинова Э. Р. Анализ и оценка современных технологий очистки сточных вод на гальваническом производстве	9	55
Стриженов А. В., Иванов А. В., Ванг Хетанг. Оценка эффективности использования водных растворов поливинилацетата и полиэтиленгликоля для пылеподавления на объектах ведения открытых горных работ	9	61
Пашкевич М. А., Дука А. А. Оценка экологического состояния почвенно-растительного покрова, загрязненного угольной пылью	9	68
Рудзиш Э. Р., Петрова Т. А. Перспективы использования нетрадиционных мелиорантов для формирования растительного покрова на рекультивируемых территориях	9	75

Петров Д. С., Данилов А. С. Гидрохимическая характеристика и экологическое состояние водных экосистем в зоне влияния предприятия по производству минеральных удобрений	9	83
Облова И. С., Гагарина О. Ю. Мария Келль – продолжатель знаменитой династии ученых	9	89
Цинкобурова М. Г. Старинные рудные промыслы на территории Предглинтовой низменности и Ижорской возвышенности (северо-запад России) по данным историко-географического анализа	9	95

Шкуратский Д. Н., Скопинов М. В., Смирнов Э. В., Барях А. А. Ликвидация потенциально опасных участков на калийных рудниках	3	5
---	---	---

ГЕОЛОГИЯ, ПОИСК И РАЗВЕДКА ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Гладышев А. В., Солодов И. Н. Оценка остаточных запасов урана в обрабатываемых скважинным подземным выщелачиванием урановых рудных залежах ядерно-геофизическими методами каротажа	4	4
Досетова Г. Ж., Кряжева Т. В., Ичева Ю. Б., Садчиков А. В. Тектоника и геодинамика Улуту-Арганатинской структурно-формационной зоны	8	73
Ермошкин Д. Н., Назаралиев Б. А., Яровой Н. В., Джуманбаев В. В. Фрактальность блоков рудолокализирующих и рудоконтролирующих сдвиговых зон золоторудного месторождения Джамгыр	3	26
Ильинов М. Д., Петров Д. Н., Колонтаевский Е. В., Страупник И. А. Исследование возможности применения акрилатов в качестве заполнителя кейлькранца при разработке соляных толщ на больших глубинах	8	77
Мынбаев М. Б., Кряжева Т. В., Досетова Г. Ж., Портнов В. С. Минералого-петрографическая характеристика отложений силура Западных Мугоджар	6	58
Назаралиев Б. А., Яровой Н. В., Межеловский В. И., Коробовский Н. В. Параметры фрактальности, самоподобие рудной системы и слагающих ее подсистем	3	32
Сенин Б. В., Керимов В. Ю., Мустаев Р. Н., Мамедов Р. А. Строение и эволюция структурно-геодинамических систем Восточной Арктики	12	22
Сурнев В. Б., Валиев Н. Г., Пяткова В. Б. Унифицированный подход к математическому моделированию линейных параметрических систем с сосредоточенными и распределенными параметрами, находящимися под внешним воздействием	3	13

СЫРЬЕВАЯ БАЗА

Горбачева В. Д., Чмыхалова С. В. Оценка качества медно-никелевых руд Талнахского месторождения	6	68
Лаломов А. В., Григорьева А. В., Милаш А. В., Черешинский А. В. Титаноносные туфопесчаники ястребовской свиты юго-востока Воронежской антеклизы как возможная альтернатива ильменитовому сырью Иршинского месторождения (Украина)	2	15
Малков А. В., Фисун Н. В., Фисун О. Н. Обоснование расчетной схемы запасов подземных вод при эксплуатации водозаборов в слоистых толщах	2	20
Оганесян А. Г., Багдасарян А. Т., Атоян Р. Л. Техничко-экономическое обоснование максимально допустимого интервала некондиционных руд, включаемых в подсчет запасов	3	37
Пуненков С. Е., Козлов Ю. С., Пуненков Н. С. Современное состояние хризотил-асбестовой промышленности	4	9
Тараскин Е. Н., Терентьев С. Э., Подойницын С. П., Андреев Д. В. Нефтетитановый потенциал Ярегского месторождения. Ч. 1. Освоение запасов тяжелой нефти	12	29

МАРКШЕЙДЕРСКОЕ ДЕЛО

Курбатова В. В., Волин А. М., Ломакина Н. Е., Гарифулина И. Ю. Обоснование рационального применения беспилотных летательных аппаратов при маркшейдерском обслуживании открытых горных работ на руднике «Дукат»	4	16
---	---	----

ФИЗИКА ГОРНЫХ ПОРОД И ПРОЦЕССОВГЕОТЕХНИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ В ГОРНОМ ДЕЛЕ: ЗАДАЧИ, МЕТОДЫ И СОВРЕМЕННАЯ ПРАКТИКА

Лушников В. Н., Селиванов Д. А., Бережной В. П. Надежность прогнозирования геотехнических рисков при ведении открытых горных работ	1	4
Галченко Ю. П. Геомеханика экологического кризиса	1	13
Панкратенко А. Н., Машин А. Н., Насонов А. А., Парин Д. С. Особенности оценки технического состояния шахтных стволов с большим сроком эксплуатации	1	20
Господариков А. П., Киркин А. П., Трофимов А. В., Ковалевский В. Н. Определение физико-механических свойств горных пород при применении противоударных разгрузочных мероприятий	1	26
Гречишкин П. В., Малова С. А. Природа и механизм выбросов газа и породы	1	35
Васичев С. Ю., Щукин С. А., Кудря А. О., Нуршайыкова Г. Т. Устойчивость выработок для выпуска руды при разработке по системе этажного принудительного обрушения	1	40
Васичев С. Ю., Конурин А. И., Неверов С. А., Неверов А. А. Исследование показателей извлечения руды при системе подэтажного обрушения с торцовым выпуском на больших глубинах	1	47
Лейзер В. И. Система ориентированного нагружения и разрыва стенок скважины для оценки напряжений в массиве горных пород	1	54
Еременко В. А., Хажылай Ч. В., Умаров А. Р., Лагутин Д. В. Количественная оценка напряженно-деформированного состояния горного массива Северомуйского тоннеля	1	58
Федотов Г. С., Курцев Б. В., Янбеков А. М., Умаров А. Р. Создание блочной геомеханической модели района Северомуйского тоннеля в ГГИС Micromine Origin & Beyond	1	64
Акматав Д. Ж., Маневич А. И., Татаринов В. Н., Шевчук Р. В. Трехмерная структурно-тектоническая модель Енисейского участка (Нижнеканский массив)	1	69
Рассказов И. Ю., Батугин А. С., Федотова Ю. В., Потапчук М. И. Оценка склонности месторождения к проявлению горно-тектонических ударов (на примере месторождения Южное)	1	74

Козырев А. А., Журавлева О. Г., Жукова С. А. Пространственно-временные вариации сейсмичности в районе Саамского разлома (Хибинский массив, Кольский полуостров)	1	79
Шадрин М. А., Сидоров Д. В., Корнаушенко А. П., Минзарипов Р. Г. Обоснование безопасных параметров междокамерных податливых целиков при применении технологической схемы со скважинной отбойкой руды и принудительной посадкой кровли в сложных удароопасных условиях шахт СУБРа	1	85
Марысюк В. П., Муштекенов Т. С., Трофимов А. В., Колганов А. В. Применение модифицированного метода Мэтьюза–Потвина при геотехническом обосновании параметров очистных камер с учетом эквивалентного линейного перебора сечения	1	92
Дарбинян Т. П., Муштекенов Т. С., Румянцев А. Е., Головченко Ю. Ю. Адаптация геометрии сложных геологических структур вкрапленных руд для построения конечно-элементной модели напряженно-деформированного состояния залежей рудника «Комсомольский»	1	97
Дарбинян Т. П., Уваров И. И., Федосеев А. В., Трофимов А. В. Оценка сейсмического воздействия взрывных работ на поверхностные охранные объекты карьера рудника «Заполярный» ООО «Медвежий ручей»	1	102
Марысюк В. П., Шиленко С. Ю., Андреев А. А., Шабаров А. Н. Методика расчета межскважинных целиков для формирования защитных зон в условиях удароопасных месторождений Талнаха	1	106
Дарбинян Т. П., Муштекенов Т. С., Цымбалов А. А., Плешко М. С. Оценка напряженно-деформированного состояния породного массива и крепи сверхглубоких выработок рудника «Скалистый» с учетом технологического фактора	1	113
Ильясов Б. Т., Кульсаитов Р. В., Неугомонов С. С., Солюянов Н. О. Оценка устойчивости закрепленной выработки на основе численного моделирования методом конечно-дискретных элементов	1	118
Пацкевич П. Г., Айябиндер И. И., Григорьев Н. В., Красюкова Е. В. Учет состояния и строения массива при выборе способов поддержания подземных горных выработок в условиях разработки жильных месторождений Крайнего Севера	1	124
Разумов Е. А., Калинин С. И., Петрова О. А. Методика оценки комплексного влияния анкеров разных типов на напряженно-деформированное состояние пород кровли подготовительных выработок	1	130
Вьюников А. А., Ворожцов С. Г., Пуль Э. К., Ковешников П. Ю. Способы профилактики внезапных выбросов породы и газа при ведении горных работ на сверхглубоких горизонтах подземного рудника «Интернациональный»	1	133
Ермошкин Д. Н., Ермошкин Н. Н., Курманалиев К. З., Мансуров В. А. Обоснование применения геотехнологий в неоднородной геомеханической среде золоторудного месторождения Джамгыр	1	138
Межеловский В. И., Джуманбаев В. В., Мансуров В. А., Курманалиев К. З. Геотехнические и горно-геологические условия разработки золоторудного месторождения Ширальджин	1	144

Гулевич О. А., Волкомирская Л. Б., Антипов В. В., Батралиев Р. Ш. Опытные георадиолокационные исследования в горных выработках при добыче сульфидных медно-никелевых руд	4	20
Дарбинян Т. П., Былков А. В., Цымбалов А. А., Плешко М. С. Исследование деформационных процессов в крепи приствольных выработок глубокого шахтного ствола рудника «Скалистый»	12	36
Зеленин Д. П., Ворошилин К. С. Базовые факторы, определяющие устойчивость стационарных бортов угольных разрезов	12	41
Семенова И. Э., Розанов И. Ю., Кулькова М. С. Комплексное исследование параметров обрушения подрабатанной толщи пород Ждановского месторождения	12	49

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И ГОРНО-СТРОИТЕЛЬНЫЕ РАБОТЫ

Овчинников Н. П., Зырянов И. В. К вопросу обоснования целесообразности строительства третьего трубопроводного става водоотливной установки рудника «Удачный»	8	96
Шендерович Е. М. Проблемы строительства и ввода в эксплуатацию крупных горно-перерабатывающих и горнодобывающих комплексов в современных условиях	8	100

ЭКОНОМИКА, ОРГАНИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ

Боярко Г. Ю. Артели старателей золотодобывающей отрасли России. Ч. 1. Трудовые артели	2	25
Боярко Г. Ю. Артели старателей золотодобывающей отрасли России. Ч. 2. Индустриальные артели	3	42
Плаkitкин Ю. А., Плаkitкина Л. С., Дьяченко К. И. Система мер государственного управления угольной отраслью с учетом санкционных ограничений и декарбонизации	12	55
Плаkitкина Л. С., Плаkitкин Ю. А., Дьяченко К. И. Особенности развития угольной отрасли в условиях санкционных ограничений и низкоуглеродного развития	8	89
Потравный И. М., Новоселов А. Л., Новоселова И. Ю., Пельменева А. А. Факторный анализ нефтегазовых проектов в арктических регионах с учетом риска	12	64
Шарф И. В., Чухарева Н. В. Действенность налога на дополнительный доход от добычи углеводородов	2	32

РАЗРАБОТКА МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Зубов В. П., Анисимов К. А. Ресурсосберегающая технология подземной отработки запасов алмазосодержащих кимберлитовых рудных тел ниже дна карьера под защитной подушкой	4	26
Умаров Ф. Я., Нутфуллоев Г. С., Катанов И. Б., Кобилов Ш. Б. Применение скважинных зарядов с кумулятивным эффектом на карьере «Ёшлик-1» Республики Узбекистан	12	69

ПЕРЕРАБОТКА И КОМПЛЕКСНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ

Иодис В. А. Лабораторный реактор для ультразвукового воздействия на пульпу кобальт-медно-никелевой руды	12	81
Коваленко Е. Г., Бабушкина А. Л., Чуть-Ды В. А. Применение многокомпонентных собирателей и выбор температурных режимов в пенной сепарации алмазосодержащих кимберлитов	12	75

ОБОРУДОВАНИЕ И МАТЕРИАЛЫ

Абдуазизов Н. А., Райханова Г. Е., Виноградов А. В., Жураев А. Ш. Влияние состояния рабочей жидкости гидросистем горных машин открытых разработок на эксплуатационную эффективность гидравлического оборудования.	12	88
Бабокин Г. И., Шпрехер Д. М., Колесников Е. Б., Овсянников Д. С. Ресурсосберегающая система управления электроприводом скребкового конвейера очистного забоя	2	44
Гладышев А. В. Аппаратура и метод прямого определения урана в рудах месторождений Хиагдинского рудного поля, обрабатываемых скважинным подземным выщелачиванием	2	39
Джураев Р. У., Райханова Г. Е., Губанов С. Г. Совершенствование конструкции режущих элементов ковша карьерных экскаваторов	3	49
Кондратенко А. С., Петреев А. М., Карпов В. Н. Определение параметров сжатого воздуха для ударного бурения грунтов обсадной трубой с пневмотранспортированием шлама	8	102
Прокопенко С. А., Лудзиш В. С., Равочкин Н. Н., Шадрин В. Г. Поиск инновационных решений по продлению эксплуатационного ресурса резцов шахтных комбайнов	6	73
Чибухчян С. С., Корчажкин М. Г., Чибухчян Г. С. Повышение надежности и эффективности работы машин в карьерах Республики Армения	4	45
Яблонов А. Л., Жуков Н. М. Обоснование угла установки фрезы профилировщика краев торфяных карт	3	55
Яблонов А. Л., Пашко П. Б. Разработка и испытание диспергатора с модуляцией потока для подготовки рабочих жидкостей механизированных крепей	4	38

ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ ХОЗЯЙСТВО

Ломаев С. С., Головин С. В., Косьянов В. А., Меркулов М. В. Связь расчетных электрических нагрузок и технологических параметров установок разведочного бурения	2	51
---	---	----

АВТОМАТИЗАЦИЯ

Мустафин М. Г., Кологривко А. А., Васильев Б. Ю. Анализ точности построения цифровых моделей рельефа на основе данных перидического воздушного лазерного сканирования горнопромышленного объекта	2	56
Низаметдинов Н. Ф., Низаметдинов Ф. К., Элиманов Д. К., Игемберлина М. Б. Система автоматизированного контроля состояния насыпных дамб хвостохранилищ обогатительных фабрик	2	63

ПРОМЫШЛЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ И ОХРАНА ТРУДА

Дырдин В. В., Шепелева С. А., Полыгалов Ю. И. Газовыделение при внезапных выбросах угля и газа	6	84
Кобылкин С. С., Каледина Н. О., Кобылкин А. С., Сенаторов В. А. Динамика выхлопных газов от дизельных машин в рудниках	12	94
Коробовский Н. В., Бабкин Е. А., Жаканов К. К., Плаксин Д. А. Оползень на месторождении Бель-Алма	4	51
Усенбеков М. С., Исабек Т. К., Жапарова С. Б., Алпысбаева Ж. Т. Исследование динамики газовыделения при отработке газообильных сближенных угольных пластов	3	60
Эпштейн С. А., Коссович Е. Л., Красилова В. А., Смирнов А. С. Методическое и инструментальное обеспечение количественной оценки содержания в углях взвешенной пыли	6	77

ОХРАНА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Литвиновская Н. А., Кривогино Д. Н., Крамчанинов С. В. Разработка технологии размещения твердых бытовых отходов в действующих соляных шахтах	3	67
Пестерев А. П., Чемезов Е. Н. Фоновая характеристика наземных экосистем Арктики	4	59
Санжанова С. С. Очистка рудничных дренажных вод Джидинского вольфрамо-молибденового месторождения природными сорбентами	4	65
Щипцов В. В., Тишков С. В., Волков А. Д. Современное состояние и перспективы развития хвостохранилища моногорода Арктической зоны (на примере АО «Карельский окатыш»)	2	68
Якуцени С. П., Федаш А. В., Борисов И. В., Чинь Куок Винь. Проблемы загрязнения окружающей среды нефтешламами	6	90

ПОДГОТОВКА КАДРОВ

Березовой В. В., Зырянов И. В., Янгутова Ю. Е. Деловое совершенство как основа устойчивого развития Мирнинского регионального технического колледжа	12	104
Такишов А. А. Комплексная научно-образовательная программа подготовки специалистов для горно-металлургической отрасли Ультауской области	2	74
Юшина Т. Ю., Петров И. М. Об истории создания и становления кафедры механической обработки (обогащения) полезных ископаемых Московской горной академии	4	71

ГОРНАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ СТРАН СНГ

Керимов В. Ю., Серикова У. С., Валиев Н. Г. Гейдар Алиев и нефтяная стратегия Азербайджана (К 100-летию со дня рождения выдающегося политического деятеля)	4	79
---	---	----

ЗА РУБЕЖОМ

Копрев И. 70 лет Горно-геологическому университету «Св. Иван Рильский» (1953–2023)	6	94
---	---	----

ИСТОРИЯ ГОРНОГО ДЕЛА. КУЛЬТУРА

Такишов А. А., Казанбаева З. З. Музей истории горного и плавильного дела им. Макена Торегельдина	4	83
---	---	----

К 200-ЛЕТИЮ «ГОРНОГО ЖУРНАЛА»

Батицев С. Д., Неклюдов Е. Г. «Горный журнал» XIX – начала XX в. сквозь призму «юбилейных» статей	12	112
--	----	-----

Воробьев С. А. Сырьевая безопасность России, ее интегрирующая роль и патриотическое трудовое мышление	7	90
Казачков А. Г., Мурзин В. Н., Петров И. М. Николай Ильич Трушков – горный инженер, педагог, профессор	2	78
Лейберов А. И. Жизнь, посвященная геологии (академик Д. С. Коржинский)	3	72
Шехириев Д. В., Кибирев В. И., Шендерович Е. М. Инженер, организатор, руководитель	12	118

К 30-ЛЕТИЮ АКАДЕМИИ ГОРНЫХ НАУК

Пивень Г. Ф., Титова А. В. Достижения и пути развития Академии горных наук	9	108
---	---	-----

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

Аренс В. Ж., Вылегжанин А. Н., Журавлева И. П. О горном законодательстве РФ	3	78
--	---	----

НОВАЯ ЛИТЕРАТУРА

Мясков А. В., Ерёменко В. А. О монографии К. Н. Трубецкого и Ю. П. Галченко «Природоподобная технология комплексного освоения недр – проблемы и перспективы»	4	70
Чантурия В. А., Каплунов Д. Р. О книге С. Вуйича «Количественные модели принятия решений при планировании и проектировании в горнодобывающей промышленности».	11	119

ЮБИЛЕИ

Бабаянцу Григорию Макаровичу – 95 лет	6	88
Буткевичу Георгию Романовичу – 90 лет	12	54
Галкину Владимиру Ивановичу – 80 лет	8	108
Копьову Александру Ивановичу – 75 лет	9	106
Корнилку Сергею Викторовичу – 70 лет	11	118
К юбилею Шкуратского Дмитрия Николаевича	3	5
Мариеву Павлу Лукьяновичу – 85 лет	8	95
Разореннову Юрию Ивановичу – 60 лет	9	107
Рассказову Игорю Юрьевичу – 60 лет	6	57
Репину Николаю Яковлевичу – 95 лет	12	74
Снитке Николаю Павловичу – 70 лет	8	72
Трубецкому Клименту Николаевичу – 90 лет	6	48
Хасанову Абдурашиду Салиевичу – 65 лет	8	88
Чантурия Валентину Алексеевичу – 85 лет	9	102
Чемезову Егору Николаевичу – 85 лет	4	58

ОБЩАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Варламов А. И., Чесалов Л. Е. Памяти Козловского Евгения Александровича	2	84
Лушников В. Н., Еременко В. А., Селиванов Д. А. 1000 англо-русских терминов, наиболее употребляемых в горной геомеханике: глоссарий современного горного инженера-геомеханика	1	149
Об открытии памятника академику РАН Юрию Николаевичу Малышеву	11	121
О награждении работников ПАО «ППГХО» государственными наградами.	7	3-я стр. обл.
Открытие памятника выдающемуся геологу страны Евгению Александровичу Козловскому	6	89
Памяти Белина Владимира Арнольдовича	4	19
Памяти Мальгина Олега Николаевича	12	21
Памяти Опарина Виктора Николаевича	12	125

РЕКЛАМА**На обложке:**

АО «ГИДРОМАШСЕРВИС»	8	3-я стр. обл.
АО «ВНИИ Галургии»	3	4-я стр. обл.
Грачёв А. И. БЕЛАЗ-7558Н – первый в мире 90-тонный самосвал на сжиженном природном газе	11	121
Грачёв А. И. Комплексные решения БЕЛАЗ	3	82
Горно-геологическая сервисная и инженерная компания «Рок энд Мил»	8	109
Компания IMC Montan	12	3-я стр. обл.
Компания «Cemtec-Cement and Mining Technology GmbH»	6	50
Компания «Систэм Электрик» представила российское оборудование для горнорудной промышленности	6	47
Макарчев О. Г. Индикаторное моделирование при подсчете запасов	8	110
НИЦ «Прикладная геомеханика и конвергентные геотехнологии» Горного института НИТУ «МИСиС»	1	3-я стр. обл.
ООО «АВТОТЕХИНМАШ»	11	124
ООО НПО «АЛЗАМИР»	1	89
ООО «ГЕОБРУГГ»	1	4-я стр. обл.
ООО «Промтехснаб»	3	81
ООО «СПб-Гипрошахт»	1	90
.	3	3-я стр. обл.
ООО «УралЭнергоРесурс»	1	91
ПАО «Курганмашзавод»	3	1-я стр. обл.

Уважаемые Коллеги, Партнёры и Друзья! Поздравляем с наступающим Новым годом и Рождеством!

Пусть 2024 год будет стабильным и успешным, наполненным яркими, позитивными событиями!

В стремительно меняющемся мире, несмотря на множество неопределённостей, желаем сохранять рабочий дух, силу команды и достигать поставленных задач! Пусть ваши проекты находят инвесторов и надёжных партнёров, развиваются новые технологии, производится российское оборудование и разрабатывается современное программное обеспечение!

Желаем профессиональным коллективам успешной реализации задач подготовки кадров, минимального внешнего давления на развивающиеся проекты и действующие предприятия.

Желаем Вам и Вашим близким крепкого здоровья, счастья и благополучия!

Никишичев С. Б. и команда IMC Montan



Консалтинговые услуги в горнодобывающей промышленности

- горно-геологический аудит
- оценка ресурсов/запасов
- отчет компетентного лица
- инженерно-технический консалтинг
- стратегии развития

Чем мы отличаемся от других компаний?

- Успешная реализация 700 проектов с 1992 года
- Команда лучших экспертов горной, геологической, перерабатывающей, экономической и др. областях
- Опыт международной группы



4-7 июня 2024
Новокузнецк

XXXII Международная специализированная
выставка технологий горных разработок

УГОЛЬ и МАЙНИНГ **РОССИИ**

XIV Международная специализированная выставка

ОХРАНА, БЕЗОПАСНОСТЬ ТРУДА И ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ

IX Международная специализированная выставка

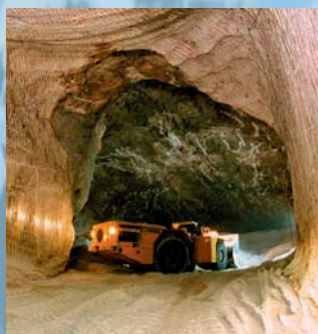
НЕДРА РОССИИ



уголь



руды



промышленные минералы



охрана и безопасность труда



МЕСТО ПРОВЕДЕНИЯ:
Выставочный комплекс «Кузбасская ярмарка»,
ул. Автотранспортная, 51, г. Новокузнецк,
т: 8 (800) 500-40-42



www.ugolmining.ru

12+

РЕКЛАМА