

www.rudmet.ru

ISSN 0017-2278

РУДНЫЙ ЖУРНАЛ

196 лет

Издается с 1825 года
(№ 2286)

5.2021



1941



1945

Письмо с фронта
(перед боем).
Скульптор
К. Р. Чернявский



Уважаемые ветераны, дорогие коллеги!

День Победы всегда был и остается для нашей страны самым светлым праздником, не похожим на другие.

Для каждого из нас он является символом чести, достоинства и самоотверженного подвига советского народа на фронте и в тылу. Мы всегда помним и будем помнить поколение, сражавшееся за свободу и независимость Родины, подарившее нам сегодняшнее счастье и благополучие.

В годы войны были заложены основы и атомного проекта, гаранта сегодняшней безопасности всего мира. В тяжелейшее время велись поиски месторождений урана, геологоразведка. Минерально-сырьевая база стратегического металла является основой ядерной и энергетической независимости современной России.

Будем достойными наших отцов и дедов!

От всего сердца желаю вам и вашим семьям мира, добра и благополучия!

Генеральный директор
АО «Атомредметзолото»,
генерал-полковник

A handwritten signature in dark ink, appearing to read 'Верховцев'.

В. Н. Верховцев



Основан в 1825 году
при Горном кадетском корпусе

ГОРНЫЙ ЖУРНАЛ

Ежемесячный научно-технический
и производственный журнал

№ 5 (2286)

МАЙ 2021

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»

УЧРЕДИТЕЛИ ЖУРНАЛА:

Акционерное общество «Издательский дом «Руда и Металлы», федеральное
государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
«Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС»,
Автономная некоммерческая организация «Информационный телеканал «Хибины ТВ»

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

В. В. Адушкин, В. Ж. Арнс, А. А. Барях, О. С. Брюховецкий, 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, В. А. Ерёменко, 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. Каллунов (руководитель секции
«Разработка месторождений и горно-строительные работы»), Е. А. Козловский
(руководитель секции «Сырьевая база»), С. В. Кривовичев, В. С. Литвиненко,
А. Б. Макаров, Ю. Н. Малышев, О. Н. Мальгин, О. С. Мисников, Д. В. Пастихин,
В. Л. Петров (руководитель секции «Образование и кадровое обеспечение горной
промышленности»), Г. Г. Пивняк, В. С. Святецкий, И. О. Темкин (руководитель
секции «Автоматизация»), Е. М. Титиевский, С. М. Ткач, К. Н. Трубецкой,
В. А. Чантурия (руководитель секции «Переработка и комплексное использование
полезных ископаемых»), А. Н. Шабаров, Е. Е. Шешко (руководитель секции
«Горное оборудование, электроснабжение»), Т. И. Юшина, А. Б. Яновский

РУКОВОДИТЕЛИ ПРЕДСТАВИТЕЛЬСТВ В СТРАНАХ И РЕГИОНАХ:

Азим Иброхим (Таджикистан), С. С. Арзуманян (Армения),
Ю. И. Волков (КМА, Россия), С. Вуйич (Сербия), И. И. Головатый (Беларусь),
О. А. Одеков (Туркменистан), И. Ю. Рассказов (Дальневосточный регион, Россия),
У. Д. Рыскулов (Кыргызстан) И. Б. Табакман (Канада), А. Г. Твалчрелидзе (Грузия),
Л. И. Тотев (Болгария), Ф. Уолл (Великобритания), А. Ф. Цеховой (Казахстан),
К. С. Санакулов (Кызылкумский регион, Узбекистан), М. Эрикссон (Швеция),
З. Дж. Эфендиева (Азербайджан), В. Л. Яковлев (Средний и Полярный Урал, Россия)

**Журнал по решению ВАК Министерства образования и науки РФ включен
в «Перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, в которых
должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций
на соискание ученых степеней доктора и кандидата наук» по разработке
месторождений твердых полезных ископаемых, экономике, энергетике**

Журнал входит в Международные реферативные базы данных
SCOPUS и CHEMICAL ABSTRACTS SERVICE

Подписной индекс
в объединенном каталоге «Пресса России» — 45343

РЕДАКЦИЯ:

временно исполняющий обязанности
главного редактора 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 допечатной
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: gornyjourn@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»

Журнал зарегистрирован в Федеральной службе по надзору в сфере связи,
информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор)
(Свидетельство ПИ № ФС77-76119 от 24.06.2019 г.)

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

Отпечатано в типографии «Вива Стар»

Адрес типографии: 107023, Москва, ул. Электровзаводская, д. 20, стр. 3

Подписано в печать с оригинал-макета 31.05.2021

Дата выхода в свет: 07.06.2021

Формат 60×90/8. Печ. л. 14,5

Печать офсетная. Бумага мелованная

Тираж 2500 экз. 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
- За сроки размещения опубликованных статей в базе
данных Scopus редакция ответственности не несет

ISSN 0017-2278



9 770017 227004 >

СОДЕРЖАНИЕ

ИЗ ОПЫТА РАБОТЫ ГОРНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ И ОРГАНИЗАЦИЙ

АО «АГД ДАЙМОНДС»

Григораш О. Ф. АО «АГД Даймондс» – 90 лет 7

Пенделяк Р. Н., Морозов А. В., Могутова В. А.
Геологическое строение трубки им. В. Гриба
и ее индикаторные особенности в геофизических полях 21

Открытие памятника «Геопогам Русского Севера» 26

ИНСТИТУТ «ЯКУТНИПРОАЛМАЗ» АК «АЛРОСА» (ПАО)

Янников А. М., Корепанов А. Ю., Зырянов И. В.
Проблемы и перспективы развития гидрогеологической
службы АК «АЛРОСА» 30

АО «ДАПУР»

Поповин Н. А., Луценко Н. И., Халецкая О. В. АО «Далур» –
20 лет успеха 36

СЫРЬЕВАЯ БАЗА

Санакулов К., Смитя Н. П. Минерально-сырьевая база,
программа и перспективы развития золотоизвлекательного
комплекса «Мурунтау» 43

ФИЗИКА ГОРНЫХ ПОРОД И ПРОЦЕССОВ

Коссович Е. Л. Развитие методов микро-
и наноиндентирования для оценки механических свойств
углей и их склонности к разрушению 48

Дымбренев Т. Н., Насибуллин Р. Р., Буштак Н. В.,
Лейзер В. И. Система автоматизированного
геотехнического мониторинга при строительстве
перегонных тоннелей метрополитена под эксплуатируемыми
железнодорожными путями 53

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И ГОРНО-СТРОИТЕЛЬНЫЕ РАБОТЫ

Байкенжин М. А., Асанова Ж. М. Повышение несущей
способности шахтной рамной крепи путем применения
усилителей профилей металлического проката 58

РАЗРАБОТКА МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Умаров Ф. Я., Нутфуллоев Г. С., Белин В. А.,
Назаров З. С. Инновационная технология взрывания
скважинными зарядами направленного действия
с кумулятивным эффектом 63

ПЕРЕРАБОТКА И КОМПЛЕКСНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ

Бугриева Е. П., Тарланов А. В., Лаврентьев А. В.,
Солнцева Е. Б. Техногенные отходы – ценный источник
редких металлов или объекты рекультивации? 69

ОБОРУДОВАНИЕ И МАТЕРИАЛЫ

Куприянов В. В., Бондаренко И. С. Применение нечеткой
логики для оценки достоверности моделей краткосрочного
прогноза состояния горношахтного оборудования 75

Клементьева И. Н., Кузиев Д. А. Установление
максимальной жесткости упругодемпфирующего устройства
в механизме тяги драглайна 79

Шешко Е. Е., Пестриков О. В. Обоснование зависимости
величины необходимого прижимного усилия на
крутонаклонном конвейере с прижимной лентой от его
длины и угла наклона 83

Трояновская И. П., Разношинская А. В., Козьмин В. А.,
Лещенко Е. А. Экспериментальные исследования процесса
промышленного рыхления грунта 87

АВТОМАТИЗАЦИЯ

Сускин В. В., Капырин И. В., Расторгуев А. В.
Программное средство «ГЕОПОЛИС»: геофильтрационное
моделирование пункта глубинного захоронения жидких
радиоактивных отходов полигона «Северный» 91

ПРОМЫШЛЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ И ОХРАНА ТРУДА

Холодильов А. Н., Господарников А. П., Еременко А. А.
Методические основы классификации взрывов по уровню их
сейсмического действия 98

К 200-ЛЕТИЮ «ГОРНОГО ЖУРНАЛА»

Косьянов В. А., Керимов В. Ю., Воробьев А. Г.,
Монсеенко В. П. Нефтегазовая наука и образование –
история становления и роль в развитии нефтяной и газовой
промышленности России 103

ЮБИЛЕИ

Секисову Геннадию Валентиновичу – 90 лет 102
Кантовичу Леониду Ивановичу – 85 лет 62
Брюховецкому Олегу Степановичу – 80 лет 68

ОБЩАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Интервью с заслуженным художником Российской
Федерации скульптором К. Р. Чернявским 109

РЕКЛАМА

На обложке:

ООО «Сервис карьерных машин»
ООО «Цеппелин Русланд»

На цветных полосах:

НАО «НИПИГОРМАШ»

«Нефтегазовая наука и образование – история
становления и роль развития нефтегазового
дела» – Международная конференция

Компания «Cemtec – Cement and Mining Technology GmbH»

«Уголь России и Майнинг - 2021» – XXIX Международная
специализированная выставка технологий горных разработок

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 — VNIPIpromtekhologii

(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,

Acting Chief Editor: **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 “Viva Star” printing house

CONTENTS

**FROM THE OPERATIONAL EXPERIENCE OF THE
MINING COMPANIES AND THE ORGANIZATIONS**

AGD DIAMONDS

- Grigorash O. F.** AGD DIAMONDS Celebrates Its 90th Anniversary 7
- Pendelyak R. N., Morozov A. V., Mogutova V. A.** Grib Pipe: Geological Structure and Feature Indicators in Geophysical Fields 21
- Unveiling of the Monument to the Geologists of the Russian North 26

YAKUTNIPROALMAZ INSTITUTE, ALROSA

- Yannikov A. M., Korepanov A. Yu., Zyryanov I. V.** ALROSA’s hydrogeological services: Current problems and future considerations 30

JSC DALUR

- Poponin N. A., Lutsenko N. I., Khaletskaya D. V.** DALUR — 20 Years of Success 36

RAW MATERIAL BASE

- Sanakulov K., Snitka N. P.** Muruntau gold mining and refining operation: Resources, expansion program and future considerations 43

PHYSICS OF ROCKS AND PROCESSES

- Kossovich E. I.** Development of micro- and nanoindentation methods for assessing the mechanical properties of coals and their propensity to destruction 48
- Dymbrenov T. N., Nasibullin R. R., Bushtak N. V., Leizer V. I.** Automated geotechnical monitoring in construction of running tunnels in subways under operating railroads 53

DESIGNING AND MINING-CONSTRUCTIONS WORK

- Baikenzhin M. A., Asanova Zh. M.** Improvement of load-bearing capacity of arched support using rolled steel reinforcement in mines 58

DEVELOPMENT OF DEPOSITS

- Umarov F. Ya., Nutfulloev G. S., Belin V. A., Nazarov Z. S.** Innovative technology of directional blasting using shaped charges 63

**PROCESSING AND COMPLEX USAGE
OF MINERAL RAW MATERIALS**

- Bugrieva E. P., Tarkhanov A. V., Lavrentiev A. V., Solntseva E. B.** Industrial waste—A valuable source of rare metals or a reclamation object? 69

EQUIPMENT AND MATERIALS

- Kupriyanov V. V., Bondarenko I. S.** Fuzzy logic in reliability assessment of short-term forecast models for mining equipment . . . 75
- Klementieva I. N., Kuziev B. A.** Maximal stiffness of elastically damping device in traction of draglines 79
- Sheshko E. E., Pestrikov B. V.** Justification of the required hold-down dependence on the length and angle of high-angle pressure belt conveyor 83
- Troyanovskaya I. P., Raznoshinskaya A. V., Kozminykh V. A., Leshchenko E. A.** Experimental tests of industrial-scale ripping of soil 87

AUTOMATION

- Suskin V. V., Kapyrin I. V., Rastorguev A. V.** GEOPOLIS software tools — Groundwater flow modeling at deep repository of liquid radioactive waste at Severny test site 91

INDUSTRY SAFETY AND LABOUR PROTECTION

- Kholodilov A. N., Gospodarikov A. P., Eremenko A. A.** Procedural framework for explosion classification by the seismic load criterion 98

TO THE 200TH ANNIVERSARY OF GORNYI ZHURNAL

- Kosyanov V. A., Kerimov V. Yu., Vorobev A. G., Moiseenko V. P.** Oil and Gas Science and Education — History and Role in the Development of the Oil and Gas Industry in Russia . . . 103





Уважаемые читатели!

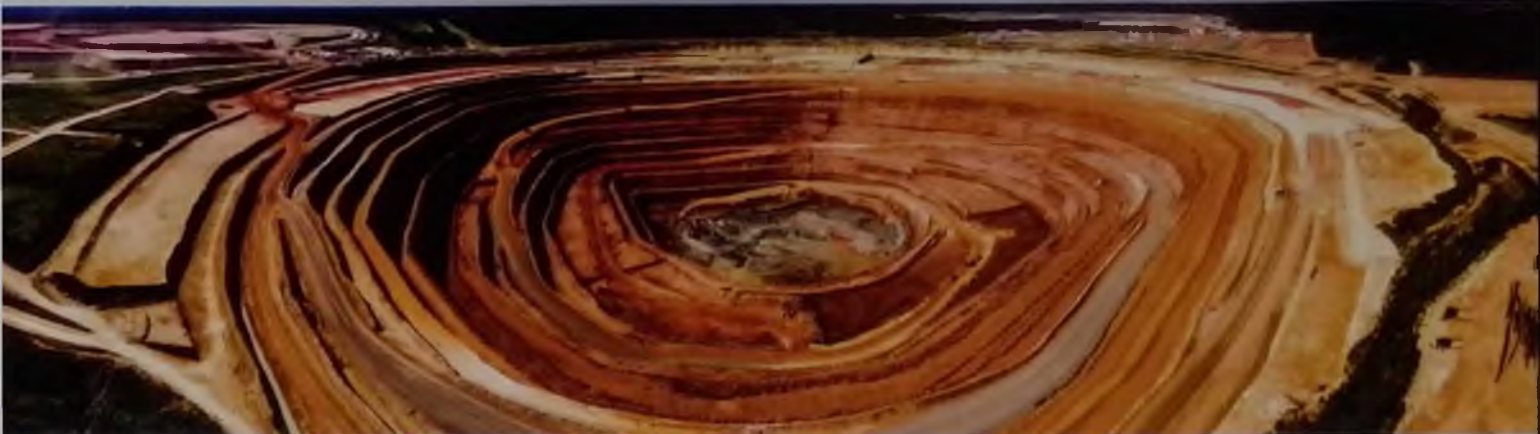
Успешное освоение месторождения алмазов им. В. Гриба убедительно свидетельствует о преемственности, верности традициям поколений геологов, геофизиков, буровиков, представителей десятков других профессий, вложивших достойную лепту в создание мощной ресурсной базы на Русском Севере. Взятый рубеж подтверждает: АО «АГД ДАЙМОНДС» – ответственное, эффективно работающее и перспективное предприятие, которое в год своего 90-летия продолжает динамично развиваться и модернизироваться, отвечая на вызовы времени и воплощая в жизнь планы, на протяжении десятилетий остававшиеся проектами.

Достижение намеченных рубежей повышает качество нашей работы, приводит к наращиванию человеческого потенциала Общества, значительно увеличивает налоговые отчисления в бюджеты всех уровней. В юбилейный год АО «АГД ДАЙМОНДС» вносит все более весомый вклад в развитие региона, благосостояние северян, укрепление позиций нашего предприятия в мировой алмазной отрасли.

Ключевыми элементами дальнейшего прогресса являются: строгое соблюдение экологических норм, повышение профессионализма каждого сотрудника, усовершенствование системы управления производственным процессом. У нас есть всё для написания новых ярких страниц в славной истории АО «АГД ДАЙМОНДС».

*Генеральный директор
АО «АГД ДАЙМОНДС»
С. С. Неручев*

АО «АГД ДАЙМОНДС» – 90 ЛЕТ



О. Ф. ГРИГОРАШ

начальник отдела пресс-службы АО «АГД ДАЙМОНДС»,
Архангельск, Россия, ognigorash@agddiamond.com

АО «АГД ДАЙМОНДС» — правопреемник АО «Архангельск-геолдобыча», одного из старейших в России предприятий по поиску, разведке, добыче и переработке полезных ископаемых. В нынешнем году компания, являющаяся одним из наиболее динамично развивающихся алмазодобывающих мировых предприятий, отмечает 90-летний юбилей.

Специалистами компании открыто и разведано свыше 400 месторождений полезных ископаемых. География открытий, сделанных сотрудниками предприятия, простирается от Балтийского моря до Арктики. Разведанные извлекаемые запасы нефти составляют 1230 млн т — больше половины от разведанных запасов всей Тимано-Печорской нефтегазоносной провинции. Золотые страницы истории Общества — открытие Северо-Онежского бокситоносного района, проведение первой в мире операции по доставке грузов на морской припай «Ледовый причал», создание мощнейшей базы для успешной реализации десятков крупнейших нефтегазовых проектов в Заполярье, открытие единственной в Европе Архангельской алмазоносной провинции.

В XXI в. основной деятельностью предприятия является добыча и реализация алмазов. Разрабатываемое компанией месторождение алмазов им. В. Гриба — четвертое по размерам запасов в России и седьмое в мире. Это крупнейшее на планете алмазное месторождение, введенное в эксплуатацию за последние десять лет.

В 2018 г. начался новый этап в развитии бизнеса АО «АГД ДАЙМОНДС». Компания сменила наименование, начался этап нового международного позиционирования и маркетинговой

стратегии. Предприятие приобрело трейдинговую компанию Grib Diamonds NV, реализующую алмазы месторождения им. В. Гриба на мировых рынках. Слияние производственной единицы с алмазным трейдером позволило создать предприятие мирового уровня.

Сегодня компания является одним из самых современных и технологичных горнодобывающих предприятий и занимает достойное место на мировом рынке алмазодобычи. В 2014–2020 гг. объем добычи алмазов на месторождении им. В. Гриба превысил 27 млн карат. Доля АО «АГД ДАЙМОНДС» в общем объеме производства алмазов в мире составляет около 3 %, в России — около 12 %.

АО «АГД ДАЙМОНДС» входит в тройку крупнейших налогоплательщиков региона. Налоговые выплаты компании в бюджеты всех уровней за период 2014–2020 гг. составили 18 млрд 494,94 млн руб. (из них 822,4 млн руб. — в Федеральный бюджет, 17 млрд 451,42 млн руб. — в бюджет Архангельской области).

Компания является одним из крупнейших работодателей Поморья. Без учета подрядных организаций, на предприятии трудятся более 1200 человек, и это, безусловно, большая ответственность. Предприятие стремится быть лучшим работодателем в Архангельской области как по уровню заработных плат, так и по привлекательности социальных условий. По мнению экспертов, Коллективный договор, действующий в Обществе, является лучшим по отношению к работникам в регионе. С особым вниманием компания относится к обеспечению безопасности труда сотрудников, не жалеет для этого сил и средств, а логичным результатом является крайне низкий уровень травматизма на производстве.

АО «АГД ДАЙМОНДС» — социально ориентированное предприятие, вносящее существенную лепту в общественно-экономическое развитие региона. В период 2013–2020 гг. общий вклад компании в социальные проекты на территории Архангельской области составил более 969 млн руб., из которых свыше

166 млн руб. направлено в Мезенский район. В частности, при поддержке компании в г. Мезень построены средняя школа им. А. Г. Торцева и Богоявленский собор, оказана помощь десяткам учреждений и организаций, ежегодно проводятся конкурсы социальных общественных проектов «Родная сторона» и областные лыжные соревнования на призы олимпийского чемпиона В. С. Кузина.

АО «АГД ДАЙМОНДС» – победитель конкурсов «Российская организация высокой социальной эффективности» (2016, 2018 гг.), «Лучшая организация в области охраны труда» (2018 г.), организованных Министерством труда и социальной защиты РФ, «Лучшая служба производственного контроля за соблюдением требований промышленной безопасности на опасных производственных объектах Архангельской области» (2019 г.), организатор конкурса – управление Ростехнадзора РФ по Архангельской области и «Архангельская область – территория здоровья» в номинации «Здоровье на рабочем месте» (2020 г.), организаторы – региональные Министерство здравоохранения и Министерство труда, занятости и социального развития).

В июне 2016 г. Президент Российской Федерации В. В. Путин объявил благодарность коллективу Общества за достигнутые трудовые успехи и многолетнюю добросовестную работу.

Приоритетным направлением работы АО «АГД ДАЙМОНДС» является внедрение современных, экологически чистых технологий и оборудования, не наносящих ущерб окружающей среде. Затраты предприятия на природоохранную деятельность в 2011–2020 гг. составили более 26 млн руб. С 2017 г. по настоящее время Общество неизменно является одним из лидеров ежегодного рейтинга экологической ответственности среди ведущих горнодобывающих компаний России, организованного по инициативе Всемирного фонда дикой природы (WWF) при поддержке Минприроды РФ.

Основная задача предприятия на современном этапе – планомерное и активное развитие разработки алмазоносного месторождения им. В. Гриба и сохранение исторически сложившегося направления работ по геологоразведке:

ВЕКИ ИСТОРИИ

22.04.1931

Директивой Центральной контрольной комиссии и Народного комиссариата рабоче-крестьянской инспекции «для осуществления задач в области геологоразведочного дела» организован Северный геологоразведочный трест.

1931

Открыты месторождения и проявления полезных ископаемых:

- в Приморском районе – источники воды с содержанием йода, озёра, глины кирпичной;
- в Холмогорском, Плесецком, Виноградовском районах – строительные материалы;
- на Новой Земле – пирит, медь, свинец, асбест, цинк, титан, фосфорит.

• в Ижмо-Печорском районе – сланцы, фосфорит, серный колчедан;

• в районе Архангельска – йод.

1932

Геологоразведочные работы развернулись не только в Западной части края, но и в Полярном море, на островах Новая Земля, Колгуев, Ваи́гач, Земля Франца-Иосифа, на побережье Югорского Шара и др. В списке вновь открытых месторождений полезных ископаемых: Коротаихинское (район Пай-Хоя) – каменный уголь; Малоземельская тундра – свинец, цинк, сланцы, медь, пирротин; Новая Земля – мрамор, асбест, самородная медь и др.; Орлецкое месторождение высококачественных известняков в 125 км от Архангельска, Ярегское месторождение тяжелой нефти с запасами «союзного значения».

1931–1934

Начало научного сотрудничества Северного геологоразведочного треста с Академией наук СССР и с ЦНИГРИ. Создана первая партия по изучению мерзлоты.

1933

Полярная комиссия АН СССР организует особую бригаду по исследованию Северного края. Одна из групп ведет работы по детальному обследованию месторождений полиметаллов на острове Ваи́гач, Пай-Хое. Открытие Югидского месторождения тяжелой нефти.

1934

Выполнены геологические исследования дельты Северной Двины под проект «Большой Архангельск».

Выходит в свет первая доступная массовому читателю книга М. Б. Едемского «Геология и полезные ископаемые Северного края (краткий очерк)».



1935

Открытие Седьельского газового месторождения. Окончательное признание перспективности Ухтинского района на углеводороды. Концентрация внимания геологоразведки на обширной территории между Тиманом и Уралом.

1936–1940

Выполнены инженерно-геологические и топографические работы под стройплощадки будущего города Северодвинска, Соломбальского целлюлозно-бумажного комбината, строительство Кузнечевского моста в Архангельске, а также завода № 402 в Молотовске (ныне – производственный комплекс Государственного российского центра атомного судостроения в г. Северодвинске).

1936

Сплавщиками леса на р. Онеге вблизи дер. Живоглядово были обнаружены красящие ожелезненные глины, правильно оцененные специалистами Северного треста как железистые бокситовые породы.

Ноябрь 1936

Первой структурно-поисковой скважиной на глубине 124 м вскрыт мощный водоносный горизонт, где «состав воды удовлетворяет Сольвычегодский курорт».

1939

На территории Архангельской области трудятся 68 геологических партий, территория работ охватывает 103678 км² (без островов).

1940

Первой поисковой партией Северного геологического управления (СГУ) начата геологическая съемка Восточного побережья Хайпудырской Губы для выявления перспектив нефтегазоносности Большеземельской тундры.

1941

Северным геологическим управлением выполнена работа по изучению геологического строения северо-востока европейской части СССР, составлена геологическая карта Архангельской и Вологодской областей и Коми АССР, разведан и передан в эксплуатацию ряд месторождений нерудных ископаемых (Савинское и Орleckое месторождения известняков, глины на Глиннике и др.), открыты залежи каменной соли в районе Коряжмы. Опубликован ряд трудов по геологии Северных районов.

1947

До 1947 г. СГУ работало по трем направлениям: поиски железной руды на крайнем северо-востоке Архангельской области; нефти и юго-восточном Притиманье; каменной соли в западной части Архангельской области.

Решением Коллегии Мингео СССР от 07.03.1947 г. перед Северным геологическим управлением была поставлена новая задача: изучение газо- и нефтеносности Восточного склона



Балтийского щита. Положено начало геологической съемке по выявлению перспектив нефтегазоносности территории Большеземельской тундры.

1948

Бурение структурных и глубоких поисковых скважин в связи с поисками нефти и газа в Мезенской впадине.

1949

Впервые на территории Архангельской области в среднем течении р. Онеги обнаружены бокситы в коренном залегании. На базе этого открытия в настоящее время работает Североонежский бокситовый рудник.

Огромный вклад в открытие североонежских бокситов внесли архангельские геологоразведчики Л. Я. Гольдин и Э. А. Кальберг.

04.10.1958

Северное государственное геологическое (главное) управление по разведке нефти и природного газа переименовано в Архангельскую комплексную геологическую экспедицию Северо-Западного геологического управления Министерства геологии РСФСР.

1960

Начаты поиски алмазов. С целью изучения недр Севера в том году работали 35 партий. Разведано шесть новых бокситовых залежей, крупнейшая из них – Боповодская.

1961

Отобрана первая промышленная нефть из глубокой скважины в низовьях р. Колвы

1966

На р. Шапкина близ Нарьян-Мара открыто Шапкинское газоконденсатное месторождение – первое на территории Архангельской области, блестяще подтвердившее прогнозы геологов и геофизиков о нефтегазоносности Большеземельской тундры

Открыты крупные Васильковское газоконденсатное и Южно-Шапкинское нефтегазоконденсатное месторождения

1969

Организована Центральная Архангельская комплексная геологоразведочная экспедиция Министерства геологии РСФСР (на базе Архангельской комплексной геологической экспедиции)

16.04.1974

Опубликовано Постановление ЦК КПСС и Совета Министров СССР «О мерах по усилению геологоразведочных работ и развитию нефтяной и газовой промышленности в северных районах Коми АССР и Ненецком национальном округе Архангельской области»

Создана Юрасская геологоразведочная экспедиция.

1975

Организованы Варандейская (пос. Варандей) и Нарьян-Марская (г. Нарьян-Мар) нефтегазоразведочные экспедиции

В Варандее впервые в мире осуществлена уникальная транспортная операция «Педовый причал»

1976

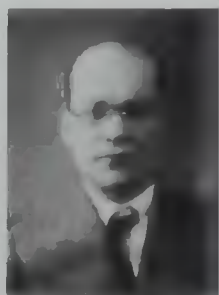
Создана Хорейверская нефтегазоразведочная экспедиция.

На Иксинском месторождении бокситов введен в эксплуатацию первый карьер бокситового рудника, отгружены первые тонны глинозема для промышленности страны.



Открыто Варандейское нефтяное месторождение, ознаменовавшее открытие нового нефтяного района на северо-востоке Тимано-Печорской нефтегазоносной провинции.

Выдающийся вклад в дело развития Тимано-Печорской нефтегазовой провинции внесли Р. В. Требс, А. Ф. Титов и Ю. А. Россихин.



Гольдин Лев Яковлевич (1901–1961) – первооткрыватель бокситовых месторождений. В довоенные и военные годы руководил разведочными работами на месторождениях строительных материалов, цементного сырья и железных руд. С 1949 г. – начальник геолого-съёмочной партии Северо-Западного геологического управления.

При активном участии Льва Яковлевича было вскрыто Иксинское бокситное месторождение. Составил детальную программу поисков бокситов, реализация которой привела к открытию крупнейшего в Европе Североонежского бокситового месторождения.



Кальберг Зина Артуровна (1908–1996) – заслуженный геолог РСФСР, первооткрыватель месторождений, кавалер орденов «Знак Почета» и Трудового Красного Знамени. Окончила фабрично-заводскую девятилетку и географический факультет Ленинградского университета. С 1931 г. – начальник партии по геологической съемке Онежского полуострова в Северном геологоразведочном тресте, в 1941 г. участвовала в проектировании города Молотовска (ныне Северодвинск). В 1955–1958 гг. – старший геолог, с 1958 г. – главный геолог Архангельской комплексной геологической экспедиции по разведке бокситов.

Под руководством Зины Артуровны разведаны и переданы для промышленного освоения Иксинское, Плесецкое, Дениславское, Треугольное месторождения бокситов, составившие крупнейший в Европе Северо-Онежский бокситовый район. С 1961 г. З. А. Кальберг – начальник отдела Главного геологического управления, занимавшегося поисками алмазных месторождений. В 1969–1974 гг. работала главным геологом Плесецкой комплексной геологоразведочной экспедиции.

1977

Открыты Торавейское нефтяное и Хыльчуйское газонефтяное месторождения.

Созданы Поморская геофизическая и Тиманская комплексная геологоразведочная экспедиции.

1978

Открыто Лабоганское нефтяное месторождение.

Создана Амдерминская нефтегазразведочная экспедиция.

1979

Организована Новодвинская геофизическая экспедиция.

1980

Открыты Северо-Сарембойское и Седьягинское нефтяные месторождения.

Открыта первая трубка Архангельской алмазонасной провинции в районе месторождения им. М. В. Ломоносова, названная Поморской. Впоследствии на месторождении открыты еще 9 алмазных трубок.

Значительный вклад в дело открытия и становления Архангельской алмазонасной провинции внесли А. Ф. Станковский и Е. М. Веричев.

15.03.1980

Архангельское территориальное геологическое управление реорганизовано в Архангельское производственное геологическое объединение «Архангельскгеология» (АПГО) Мингео РСФСР. Предметом деятельности Объединения является комплексное геологическое изучение, поиск и разведка полезных ископаемых на территории Архангельской области, включая Ненецкий АО и прилегающую зону шельфа морей.

1981

Открыто Южно-Хыльчуйское нефтяное месторождение.

1984

Открыты Тобойское и Северо-Хоседаюское нефтяные месторождения.

1985

Впервые в Архангельск танкером «Имант Судмалис» доставлена нефть из Тимано-Печорской нефтегазонасной провинции.

1986

В ГКЗ Мингео СССР утверждены запасы Пермиловского месторождения пресных питьевых вод.

1987

В ГКЗ Мингео СССР защищены запасы месторождения алмазов им. М. В. Ломоносова.

1988–1990

В связи с наращиванием объемов глубокого разведочного бурения на нефть и газ созданы Арктическая, Калининградская,



Требс Роман Владимирович (1925–1988) – первооткрыватель Варандейского нефтяного месторождения, кавалер ордена «Знак Почета». С 1940-х гг. трудился землекопом, помощником бурильщика, бурильщиком, начальником экспедиций в разных регионах страны. В геологической службе Архангельской области с 1974 г. организовал и возглавил Варандейскую нефтегазразведочную экспедицию, которая за короткий срок открыла Варандейское, Лабоганское, Мядсейское, Наульское, Тобойское, Торавейское месторождения. Один из инициаторов, организаторов и руководителей беспрецедентной операции «Ледовый причал» по доставке бурового оборудования, горючего и строительных материалов на прилаи Печорского моря в 1975 г. В дальнейшем Р. В. Требс работал начальником Амдерминской нефтегазразведочной экспедиции, в последние годы жизни возглавлял экономический блок ПГО «Архангельскгеология». Имя Романа Требса присвоено нефтяному месторождению, открытому в Ненецком автономном округе в 1987 г.



Титов Анатолий Федорович (1933–1990) – заслуженный геолог РСФСР, первооткрыватель нефтяных и газовых месторождений, кавалер орденов Трудового Красного Знамени и «Знак Почета». Начинал трудовой путь помощником бурового мастера. До 1977 г. – начальник Ненецкой партии структурно-поискового бурения. В 1977 г. возглавил Хорейверскую нефтегазразведочную экспедицию. Под руководством А. Ф. Титова и при его непосредственном участии открыты и разведаны Василковское и Кумжинское газоконденсатные, Ванейвисское и Ярейское нефтегазоконденсатные, Южно-Хыльчуйское газонефтяное, Северо-Харьягинское нефтяное месторождения. Имя Анатолия Титова присвоено нефтяному месторождению, открытому на северо-востоке Хорейверской впадины, и названа улица в г. Нарьян-Маре.



Россиikhин Юрий Алексеевич (1940–1993) – кандидат экономических наук, заслуженный геолог РСФСР, кавалер ордена «Знак Почета» и знака «Отличник разведки недр», первооткрыватель Возейского и Варандейского нефтяных месторождений. После окончания Томского политехнического института работал в нефтегазразведочной отрасли. С 1975 г. – главный геолог по нефти и газу ПГО «Архангельскгеология», с 1984 г. – генеральный директор Общества. Внес значительный вклад в расширение и повышение эффективности геологоразведочных работ не только на территории Тимано-Печорской нефтегазонасной провинции, но и в Архангельской области (в первую очередь – по поиску месторождений алмазов). Для целенаправленного ведения геологоразведочных работ на алмазы были разработаны прогнозно-поисковый комплекс (ППК) и на его основе Программа работ предприятия на 1992–2000 гг. Следуя изложенным в ППК и Программе принципам прогнозирования, геологическая служба ПГО «Архангельскгеология» выделила наиболее перспективный участок в пределах Верхотинского кимберлитового поля и обосновала целесообразность проведения на нем поисковых работ, что в дальнейшем привело к открытию месторождения им. В. Гриба. Имя Юрия Россиikhина присвоено нефтяному месторождению, открытому в пределах Восточно-Ярейской структуры, и улице в поселке Искателей г. Нарьян-Мара. На фасаде здания АО «АГД ДАЙМОНДС» в его честь установлена мемориальная доска.



Становский Анатолий Федорович (1934–2014) – первооткрыватель месторождения алмазов им. М. В. Ломоносова, кавалер знака «Отличник разведки недр», лауреат Государственной премии СССР «За открытие и подготовку к освоению нового месторождения минерального сырья» почетный гражданин Приморского района Архангельской области, автор монографий и книг по алмазной, геологической, географической тематике. После окончания Ленинградского горного института работал в системе Главгеолоразведки в различных регионах страны (Карелия, Кольский полуостров, Якутия, Тaimыр). С 1968 г. – в ПГО «Архангельскгеология». Работа геолого-съемочной партии Юраского геологоразведочной экспедиции под руководством А. Ф. Становского позволила получить прямые признаки алмазности Зимнего берега и обосновать необходимость постановки здесь поисковой аэромагнитной и крупномасштабной групповой геологической съемки, что привело к открытию Архангельской алмазносной провинции.



Веричев Елисей Михайлович (род. в 1944 г.) – первооткрыватель месторождения алмазов им. М. В. Ломоносова и им. В. Гриба, кавалер ордена «Знак Почета», лауреат Государственной премии СССР «За открытие и подготовку к освоению нового месторождения минерального сырья». Участвовал в открытии и изучении первых в Европе трубок взрыва в районе Неноксы на Онежском полуострове,

открытии мельских силлов кимберлитов, что послужило основанием для последующих работ, приведших к открытию Архангельской алмазносной провинции. Одним из первых описал кимберлиты алмазносной трубки «Поморская». В 1983 г. при неопределенных геофизических данных, вместе с С. П. Александровым и А. Ф. Становским принимал решения о заверке бурением аномалии Н-26, что привело к открытию алмазносной трубки «Пионерская». Участвовал в разведке месторождения алмазов им. М. В. Ломоносова и составлении окончательного отчета, принятого ГКЗ СССР с отличной оценкой.



Гриб Владимир Павлович (1937–1995) – первооткрыватель месторождения алмазов им. М. В. Ломоносова, лауреат Государственной премии СССР «За открытие и подготовку к освоению нового месторождения минерального сырья», заслуженный геолог РСФСР, кандидат геолого-минералогических наук. После окончания Ленинградского горного института в 1959 г. направлен на работу в Архангельскую область. Трудился

в геолого-съемочных партиях, с 1970 г. возглавлял геологическую службу ПГО «Архангельскгеология». Под руководством и при активном участии Владимира Павловича открыто и разведано одно из крупнейших на Севере Пермиловское месторождение пресных вод и крупное месторождение строительного камня Мяндуха, проведена доразведка Иксинского месторождения бокситов, значительно расширена минерально-сырьевая база Архангельской области. В. П. Гриб внес решающий вклад в открытие и становление Архангельской алмазносной провинции.

Именем Владимира Гриба названо месторождение алмазов промышленную разработку которого осуществляет АО «АГД ДАЙМОНДС». На фасаде здания Общества в его честь установлена мемориальная доска.

Колвинская нефтегазоразведочные экспедиции и другие подразделения ПГО «Архангельскгеология».

1991

ПГО «Архангельскгеология» перерегистрировало свой Устав и получило статус добывающей и перерабатывающей организации.

18.08.1995

Зарегистрировано ОАО «Архангельское геологодобычное предприятие» («Архангельскгеолдобыча»), ставшее правопреемником Архангельского государственного предприятия по поискам, разведке, добыче и переработке полезных ископаемых «Архангельскгеология».

19.02.1996

Открыта алмазносная трубка, получившая имя выдающегося архангельского геолога В. Гриба.

2002

Государственной комиссией по запасам полезных ископаемых (ГКЗ) МПР России утверждены запасы алмазов до глубины 610 м. Для оценки промышленной значимости месторождения ГКЗ рекомендовала провести доразведку глубоких горизонтов.

2002–2004

Разведка трубки до глубины 1010 м. Пробурены 98 разведочных скважин и 32 специальные гидрогеологические и инженерно-геологические скважины.

24.08.2005

Отчет с подсчетом запасов и ТЭО кондиций прошли государственную экспертизу в ГКЗ МПР России (протокол № 1060-оп). На основании данных, полученных в ходе бурения, ГКЗ утверждены балансовые запасы алмазов. Месторождение алмазов им. В. Гриба признано подготовленным для опытно-промышленной разработки.

2005–2007

Поиск на Верхотинском участке новых кимберлитовых трубок путем заверки магнитных аномалий бурением.

2008–2013

Масштабная подготовка к промышленному освоению месторождения алмазов им. В. Гриба.

09.06.2014

Ввод в промышленную эксплуатацию горно-обогатительного комбината им. В. Гриба мощностью 4,5 млн т руды в год.

18.09.2018

АО «Архангельскгеолдобыча» официально переименовано в АО «АГД ДАЙМОНДС» (JSC «AGD DIAMONDS»).

ОТКРЫТИЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ АЛМАЗОВ им. В. ГРИБА

Месторождение алмазов им. В. Гриба расположено в Меженском районе Архангельской области, в 125 км к северо-востоку от Архангельска и в 30 км северо-восточнее месторождения им. М. В. Ломоносова, с которыми оно связано автомобильной дорогой круглогодичного действия. Месторождение находится в пределах Беломорско-Кулойского плато на водоразделе озерной Мегорской и озерно-речной Соянской систем. Открытие месторождения было предопределено всей предыдущей деятельностью АО «АГД ДАЙМОНДС».

Для целенаправленного и эффективного ведения геолого-разведочных работ на алмазы Обществом были разработаны прогнозно-поисковый комплекс (ППК) и на его основе Программа работ предприятия на 1992–2000 гг., в которой Верхотинское кимберлитовое поле обозначено одним из самых перспективных. В начале 1993 г. геологическая служба Архангельскгеологии (главный геолог — Владимир Гриб, ведущий геолог — Николай Головин) выделила в пределах Верхотины наиболее перспективный участок и обосновала целесообразность проведения на нем поисковых работ на алмазы.

Николай Николаевич Головин вспоминает: «В самом начале 1993 года Владимир Павлович Гриб вернулся из Австралии, где находился с рабочей поездкой в составе делегации Архангельской области, и вызвал меня к себе: «Николай, нарисуй мне две площади — одну на 400 квадратных километров, включающую в себя Верхотинское поле, и вторую на 2000 квадратных километров, чтобы она с севера и с запада примыкала к Ломоносовскому месторождению. Сделать это нужно быстро — я нашел инвесторов». В ходе выполнения задания мне пришлось вести границы площадей, исходя из природно-географических характеристик местности, и только юго-западная граница Верхотинской площади получила геологическое обоснование. Впоследствии выяснилось, что трубка имени Гриба располагается буквально в 300 метрах от границы лицензионной территории. Если допустить малейшую небрежность или искажение при подготовке карты, месторождение им. В. Гриба так и не было бы открыто»

В конце 1993 г. Архангельскгеология, которую возглавлял Анатолий Казаков, получила лицензию на недропользование на участке площадью 400 км² с целевым назначением геологического изучения, разведки и последующей разработки выявленных месторождений алмазов. Геологоразведочные работы было поручено проводить Новодвинской экспедиции, позднее преобразованной в ЗАО «Архангельскгеолразведка» (руководитель — Анатолий Заостровцев, главный инженер — Федор Сарры).

К началу лицензионных работ на Верхотине была выполнена геологическая съемка и проведен комплекс специализированных поисковых работ на алмазы, в ходе которых заверены бурением 58 магнитных аномалий и открыты

8 трубок слабоалмазоносных кимберлитов. Стоит отметить, что все трубки кимберлитов и родственных им пород как на Верхотинском поле, так и в целом в Зимнебережном алмазоносном районе открыты при заверке бурением магнитных аномалий, выявленных при проведении аэромагнитных съемок и наземных геофизических работ.

Анализируя геолого-геофизические материалы и обрабатывая их по новым, более прогрессивным методикам, работники ЗАО «Архангельскгеолразведка» — главный геолог Елисей Веричев и главный геофизик Зимнебережной партии Владимир Сотников — решили повторно изучить несколько ранее пройденных участков, в том числе аэромагнитную локальную аномалию 441, где в 1987 г. при геологической съемке Кепинской площади была пробурена заверочная скважина № 906, вскрывшая отложения верхнего венда.

В 1995 г. на аномалии 441 повторно провели наземную магнитную съемку и профильные электроразведочные работы. При обработке данных наземной магниторазведки методом «скользящего окна» была выделена слабоконтрастная локальная аномалия с объектом глубинного заложения, эпицентр которой располагался в 150 м к западу от скважины № 906.

Заверочной скважиной № 441/1, заложенной 19 февраля 1996 г. в 100 м к югу от магнитного эпицентра аномалии, на глубине 69 м, под толщей четвертичных и среднекаменноугольных отложений оказались вскрытыми песчано-глинистые породы бурого цвета с мелкими включениями туфогенного материала, внешне похожие на выветрелые породы верхнего венда. В пробе, отобранной из этих пород и проанализированной затем в лаборатории АГД, удалось выделить минералы-спутники алмаза и 20 мелких алмазных кристаллов.





Машинист буровой установки ЗАО «Архангельскгеолопрозведка» Виктор Попов, который 19 февраля 1996 г. «вскрыл» эту кимберлитовую трубку, позднее вспоминал: «База партии располагалась выше по Верхотине, а вся наша бригада — четыре человека: я, еще один бурильщик Михаил Коцур и два помбур — Виталий Колесников и Юрий Федоров. Кроме буровой, на месте нынешнего ГОКа в песу стояли только два наших бапка и сани с оборудованием».

Место забурки определили геологи, а мы установили буровую там, где было удобнее. Это обычная практика, никакой интуиции: геолог воткнул колышек, а ты размещаешься рядом — так, чтобы не слишком мешали деревья, и площадка была поровнее. При этом мы знали, конечно, что буровые работы до нас здесь уже проводили. Поэтому считаю, что в этот раз нам просто повезло. В ночь на 19 февраля забурку вел Миша Коцур, а я сменил его утром. Когда подняли керн, то почти сразу отметили явные признаки кимберлита. Передали об этом на базу по рации, подъехал геолог Борис Федоров и подтвердил наши догадки».

А вот что рассказал о событиях, связанных с открытием месторождения им. В. Гриба, ветеран Архангельской геологии Владимир Голотвин, ставший после знаменательных событий 1996 г. заместителем начальника Верхотинской геологоразведочной партии: «В Верхотинской партии я трудился с 1993 года. Полевая база партии располагалась неподалеку от территории нынешнего ГОКа им. В. Гриба, в районе Второго Верхнего озера. Мы осуществляли доразведку аномалии, обнаруженных ранее. В феврале 1996 года начальник партии Александр Штырков отправил меня и геолога Бориса Федорова проверить, как идут буровые работы».

Прибыли на место (буровая располагалась чуть юго-западнее центра современного карьера ГОКа им. В. Гриба) и увидели — керн весь ломаный, мерзлый, перемешанный с глиной. Я сказал буровикам, чтобы «обсаживались» — укрепляли стенки скважины трубами. После обсадки бурение было продолжено. Когда подняли керн, он снова оказался полуразрушенным и мерзлым. При этом структура, содержание его выглядели интересно».

Керн мы повезли оттаивать на базу. Вскоре к нам приехала экологическая комиссия в сопровождении Елисея Веричева. Показали керн ему. Елисей Михайлович сказал, что это «туфогенка» (туфогенные горные породы — смесь обломков

вулканических пород и их минералов), но при этом взял с собой мешочек с пробами, чтобы сдать их на термохимический анализ в Архангельске».

Первооткрыватель месторождений им. М. В. Ломоносова и им. В. Гриба Елисей Веричев также вспоминает: «Конец февраля 1996 года. Солнечный день. Мы приехали на буровую, за два дня до этого нам сообщили, что на забое обнаружен венд. Один из геологов показал мне кусок мороженого керна, глинистого такого. Я разломил его и увидел две точки желтого цвета, где-то по миллиметру каждая. Тогда мне стало ясно, что это не венд, а кимберлитовая трубка. Две эти точки до сих пор у меня перед глазами».

При дальнейшем бурении скважины были вскрыты кимберлитовые туфы, что однозначно свидетельствовало об открытии новой алмазоносной трубки. В ноябре 1996 г. Верхотинское месторождение официально получило имя, данное в честь бывшего главного геолога АГД В. П. Гриба, внесшего значительный вклад в открытие Архангельской алмазоносной провинции.

В 1996–2001 гг. силами Верхотинской геологоразведочной партии (начальник партии — Александр Штырков, главные геологи — Анатолий Машкара и Александр Буюн, технический руководитель — Владимир Сироштан) были выполнены оценочные работы путем формирования системы горизонтальных и вертикальных разведочных сечений посредством бурения вертикальных и наклонных (оконтуривающих) колонковых скважин. Максимальная глубина вскрытия месторождения составила 920 м. Пробурены 103 скважины, из них 69 оценочных, 27 специальных для изучения гидрогеологических и горно-геологических условий месторождения, а также 7 скважин большого диаметра.

Запасы алмазов по результатам оценки утверждены в 2002 г. ГКЗ МПР РФ по промышленным категориям C_1 и C_2 до глубины 610 м для условий комбинированной разработки.

Детальную разведку месторождения в 2002–2004 гг. проводили силами Верхотинской геологоразведочной партии. Основной задачей являлось изучение средних и глубоких горизонтов месторождения. По результатам выполненных работ в 2005 г. в ГКЗ были утверждены запасы алмазов до глубины 1010 м. Таким образом, трубка им. В. Гриба официально получила статус промышленного месторождения.

ГОК им. В. ГРИБА



На базе передовых мировых технологий в Архангельской области создано технически совершенное, экономически эффективное, экологически чистое горнорудное производство, имеющее собственную неповторимую – алмазную – эстетику.

В июне 2014 г. на месторождении алмазов им. В. Гриба состоялось торжественное открытие горно-обогатительного комбината с участием Президента Российской Федерации Владимира Владимировича Путина. Президенту были показаны все этапы производственного цикла – от добычи руды до обогащения концентрата. Глава государства интересовался рентабельностью производства, заработной платой и социальными условиями, созданными для работников. Президент РФ побывал на карьере, посетил главный корпус обогатительной фабрики, ознакомился с конечной продукцией ГОКа, своими глазами увидел размах и мощь проекта.

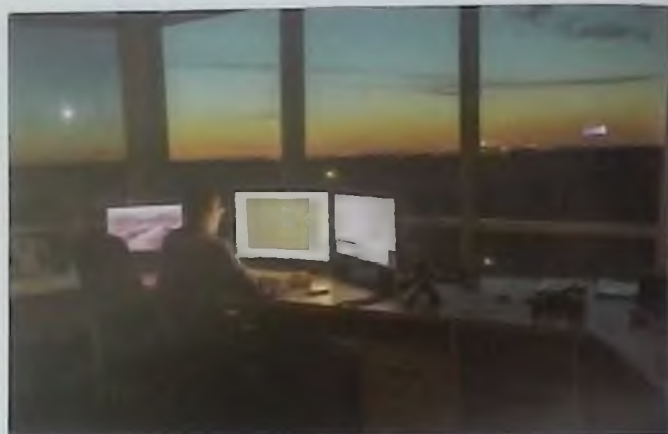
Итогом визита стала высокая оценка, данная Президентом России проекту освоения месторождения им. В. Гриба и его надежным перспективам.

Этому событию предшествовало строительство ГОКа на площади 20 км², успешно завершённое в рекордно короткие – не только по отечественным, но и по мировым стандартам – сроки.

Размеры площади, занимаемой ГОКом им. В. Гриба, составляют почти 20 км². Основные объекты:

- карьер, где ведется добыча руды;
- отвалы Восточный и Южный, где складировались пустые породы;
- очистные сооружения карьерных и отвалных вод;
- промплощадка;
- хвостохранилище, куда складировались отходы обогащения;





- отвал снятого при разработке почвенно-растительного грунта, необходимый для последующей рекультивации;
- водозабор подземных вод, необходимый для обеспечения бытовых нужд

Промплощадка занимает территорию размером 1 км². В кратчайшие сроки здесь были возведены.

- обогатительная фабрика (март 2012 – июнь 2014);
- энергокомплекс (октябрь 2012 – декабрь 2013);
- склад ГСМ (сентябрь 2011 – июнь 2014);
- вахтовый поселок (апрель 2011 – ноябрь 2014);
- временный вахтовый поселок (сентябрь 2011 – октябрь 2011);
- вертолетная площадка (лето 2012);
- пожарное депо (лето 2012 – весна 2013);
- очистные сооружения ливневых стоков (март 2014 – октябрь 2014);

- водоочистные сооружения (осень 2012 – весна 2013).

Горно-капитальные работы в карьере были начаты в марте 2011 г. В период 2011–2020 гг. добыто 194,5 млн м³ горной массы и 14,6 млн м³ руды.

Диаметр карьера в настоящее время – 1500 м при глубине более 250 м.

Одна из главных инноваций в работе карьера – автоматизированная система диспетчеризации горнотранспортного оборудования АСУ MODULAR, действующая на ГОКе им. В. Гриба с начала 2016 г. Экскаваторы, самосвалы и вспомогательная техника, занятые на горных работах в карьере, оснащены специальным оборудованием, которое позволяет фиксировать различные показатели в режиме «онлайн» (вид работ, производительность, рабочее время, пробег, загрузка каждого самосвала, расход топлива, местоположение). На промышленной площадке развернута сеть связи на основе Wi-Fi, действуют



новейшее серверное оборудование и программное обеспечение.

ACV MODULAR позволяет не только получать максимально точную статистику по работе оборудования, но и автоматически управлять грузопотоками с целью их оптимизации. Водитель самосвала после разгрузки автоматически получает назначение на погрузку к экскаватору, при этом система сама определяет оптимальный маршрут движения транспорта для достижения его максимальной производительности.

Помимо повышения производительности, дальнейшее развитие системы позволило оптимизировать удельные расходы топлива, повысить уровень промышленной безопасности и производственной дисциплины, минимизировать поломки и усилить контроль качества руды.

В 2020 г. в АО «АГД ДАЙМОНДС» продолжилось успешное внедрение инновационных разработок: Федеральная служба по интеллектуальной собственности выдала авторскому коллективу Общества корпоративный патент, связанный с изобретением новой технологии кругового фрезерования при отработке кимберлитовых трубок карьерным комбайном.

Способ отработки кимберлитовых трубок, представленный разработчиками, заключается в рыхлении рудного тела с формированием зоны опережающего рыхления. Использование изобретения позволяет увеличить производительность работы карьерного комбайна, обеспечить подачу на обогатительную фабрику исходной руды оптимального фракционного состава, снизить потери и разубоживание полезного ископаемого.

Накопленный АО «АГД ДАЙМОНДС» опыт позволяет говорить о высоком потенциале применения кругового фрезерования. Использование комбайна позволило избежать применения комплекса буровзрывных работ и сократить до минимума объем бульдозерного рыхления.

Парк горного и транспортного оборудования ГОКа им. В. Гриба

Экскаватор Liebherr R964 (обратная лопата)	3
Экскаватор Liebherr R9250 (обратная лопата)	2
Экскаватор Komatsu PC3000 (прямая лопата)	1
Экскаватор Komatsu PC3000 (обратная лопата)	2
Карьерный комбайн Wirtgen 2500SM	1
Бульдозер гусеничный CAT D9R	6
Бульдозер гусеничный CAT D10T	1
Бульдозер гусеничный CAT D11T	1
Бульдозер колесный CAT 824H	2
Фронтальный погрузчик Liebherr L580	2
Карьерный самосвал БЕЛАЗ-75473	8
Карьерный самосвал БЕЛАЗ-75131	35

Ежегодно Общество проводит встречи и укрепляет сотрудничество с компаниями Caterpillar, Komatsu, Liebherr, БЕЛАЗ, Wirtgen, Cummins и другими передовыми мировыми производителями тяжелой техники.

Горные работы ведут с применением экскаваторов производства Liebherr и Komatsu (максимальная вместимость ковша — 15 м³, и самосвалов БЕЛАЗ общей грузоподъемностью 5120 т. За смену эти машины покрывают расстояние, равное маршруту Москва — Нерюнгри, за сутки — Мадрид — Сеул, а в месяц совершают 7,5 оборотов вокруг Земли по экватору.

Годовая проектная производительность обогатительной фабрики ГОКа им. В. Гриба — 4,5 млн т руды. Несмотря на высокие показатели извлечения алмазов, заложенные проектом, постоянно ведутся работы по совершенствованию технологической цепи и повышению эффективности оборудования. Так, в конце 2018 г. первой ступенью модернизации фабрики стал ввод в промышленную эксплуатацию новейшего оборудования для обогащения алмазов — сепаратора COM Tertiary XRT 1200/D производства



компания TOMRA. В результате резко возросла добыча эксклюзивных алмазов, вес которых превышает 50 карат.

В 2019 г. для выполнения запланированной добычи алмазов, сохранения производительности обогатительной фабрики при окончании руд кратерной части месторождения им. В. Гриба и переходе на руды с более высокими прочностными характеристиками (кимберлит, ксенотуфобрекчия) АО «АГД ДАЙМОНДС» осуществлено техническое перевооружение обогатительной фабрики с вводом в эксплуатацию дополнительного оборудования (6 ед.) на участке рудоподготовки (узел дробления хвостовых продуктов тяжелой сепарации). Впервые в России при обогащении начали использовать интеллектуальные компактные современные дробилки производства компании «ТиссенКрупп».

Техническое перевооружение фабрики позволяет сохранить проектную производительность ГОКа им. В. Гриба с увеличением переработки наиболее прочных руд типа кимберлит в шихте до 65 %, что обеспечивает запланированный годовой объем добычи алмазов АО «АГД ДАЙМОНДС». При этом улучшается показатель сохранности (целостности) алмазов крупных специальных размеров (10,8 карат и более) за счет сокращения техногенного воздействия при процессинге.

Для обеспечения работы основных переделов ГОКа создана мощная инфраструктура, одним из важнейших объектов которой является энергокомплекс мощностью 26,14 МВт и тепловой мощностью 26,4 МВт.

Используются пять дизель-генераторных установок, применяемое топливо – мазут. Собственное мазутное хозяйство в случае необходимости позволяет ГОКу проработать в автономном режиме 60 дней.

В 2020 г. была успешно проведена модернизация цеха энергоснабжения ГОКа им. В. Гриба. В феврале была введена в эксплуатацию отечественная ультразвуковая ванна для чистки узлов и механизмов дизель-генераторных установок Rolls-Royce, аналогов которой в Архангельской области нет. Сегодня уже можно сделать вывод, что благодаря этой инновации эффективность производственного процесса повысилась.



Летом того же года для нужд энергокомплекса был приобретен специальный инструмент (устройство для ремонта головок блока цилиндров) ремонта сложных узлов, позволяющий успешно производить полный цикл профилактических работ по сборке-разборке деталей.

Специнструмент изготовлен компанией Chris-Marine (Швеция). В России оборудование такого уровня используют на крупных судоремонтных предприятиях в Санкт-Петербурге и в Новороссийске. В Архангельской области данное оборудование, как и вышеупомянутая большая УЗ-ванна, применяется впервые.

Один из жизненно важных объектов ГОКа – вахтовый поселок. Для того, чтобы архитектурно подчеркнуть специфику деятельности предприятия, в ходе проектных работ было решено расположить здесь здания в форме ограненного алмаза.

В поселке созданы все необходимые бытовые и хозяйственные условия для проживания 800 человек. Построены девять жилых двухэтажных зданий, физкультурно-оздоровительный комплекс «Горняк» и православная часовня, а также прачечная, столовая, склад для хранения продуктов, проведено озеленение территории. Условия проживания отвечают самым взыскательным требованиям. Люди не чувствуют себя в отрыве от «Большой земли», реально ощущают, что трудятся в сильной, большой, очень дружной компании.



АЛМАЗЫ АО «АГД ДАЙМОНДС»

Важнейший аспект деятельности Общества — организация сбыта готовой продукции. Высокие природные характеристики качества, современные технологии добычи, очистки и подготовки алмазов на ГОКе им. В. Гриба, эффективная организация показов и проведения аукционов позволяют получить хороший результат.

Как правило, цена реализации алмазов месторождения им. В. Гриба значительно превышает стартовую стоимость (оценку Гохрана РФ). При этом:

- создана система продаж, позволяющая размещать на алмазном рынке по конкурентной цене значительные объемы необработанных алмазов;

- внедрена аукционная платформа; в основе системы — научно-прикладная работа нобелевского лауреата по экономике Вильяма Викри («теория игр»);

- оптимизированы процессы подготовки алмазов к продаже, что позволяет повышать ликвидность лотов, учитывая тенденции рынка.

На месторождении им. В. Гриба преобладают алмазы в форме октаэдра и ромбододекаэдра, высокой и средней степени прозрачности, с минимальным содержанием примесей.

Инновационные технологии при обогащении кимберлитов позволяют АО «АГД ДАЙМОНДС» регулярно добывать крупные алмазы высокого качества. В 2017–2021 гг. на ГОКе им. В. Гриба добыты 23 уникальных кристалла, масса каждого из которых превышает 50 карат.

ВЗГЛЯД В БУДУЩЕЕ

Геологоразведка и инновации — направления деятельности, являющиеся для АО «АГД ДАЙМОНДС» приоритетными в плане перспектив предприятия.

ГЕОЛОГОРАЗВЕДКА

В 2019 г. АО «АГД ДАЙМОНДС» получило лицензии на геологическое изучение, включающее поиски и оценку месторождений алмазов в Мезенском районе Архангельской области на участках Разломный, Торфяной и Южно-Верхотинский (еще одна аналогичная лицензия для ведения геологоразведочных работ на участке Круглый была получена АГД в декабре 2018 года).

В августе 2019 г. на лицензионных территориях начата масштабная геологоразведка, нацеленная на открытие новых месторождений алмазов, первым этапом которой стали комплексные аэрогеофизические, наземные магниторазведочные и электроразведочные работы, нацеленные на выявление аномалий трубчатого типа, перспективных на обнаружение кимберлитовых тел. По результатам выполненных исследований были выявлены перспективные участки для постановки буровых работ.

Комплексные работы были проведены подрядной организацией АГД — НПП «Аэрогеофизика». Кроме того, в работе участвовали летный состав предприятия «Комиавиатранс» и канадские специалисты компании CGG, отвечавшие за применение уникальной электроразведочной аппаратуры метода переходных



Алмаз «Владимир Гриб», 222,09 карат



Алмаз «Ольга», 47,61 карат



Алмаз «Георгий Седов», 199,43 карат



Алмаз «Федот Шубин», 186,54 карат



процессов Helitem 35C, обладающей наиболее мощным в мире импульсом за счет площади контура генераторной петли (более 35 м в диаметре) и мощности самого генератора. За полевой сезон 2019 г. было исследовано 282 км².

В 2020 г. геологическая служба АО «АГД ДАЙМОНДС» продолжила поисковые работы новых месторождений алмазов на лицензионных участках вокруг территории ГОКа им. В. Гриба.

В феврале 2020 г. были закреплены на местности точки заложения первых поисковых буровых скважин и подготовлен зимник для проезда к буровым участкам без свода леса. Пробурены первые скважины, обнаружены прямые признаки наличия новых кимберлитовых трубок на лицензионных участках. В настоящее время проводят работы по изучению кернового материала и его опробованию, выполняется комплекс лабораторных исследований.

АРКТИЧЕСКИЙ ВЕКТОР

В декабре 2020 г. премьер-министр России Михаил Мишустин объявил о создании пяти научно-образовательных центров (НОЦ) мирового уровня, которые объединят ведущие университеты страны, научные организации и компании реального сектора экономики.

На базе НОЦ будет выстроена современная модель исследований и разработок, а также подготовки специалистов для решения масштабных научно-технологических задач. Ядром научно-образовательного центра «Российская Арктика: новые материалы, технологии и методы исследования» стал Северный Арктический федеральный университет (САФУ) им. М. В. Ломоносова в Архангельске. Сегодня самый северный НОЦ в стране активно развивается и формирует пул проектов.

В феврале 2021 г. состоялась рабочая встреча генерального директора АО «АГД ДАЙМОНДС» Сергея Неручева и ректора САФУ Елены Кудряшовой. Темой совещания стало создание производства уникальных монокристаллических алмазных пластин.

АО «АГД ДАЙМОНДС» совместно с университетом планируют создать научный центр, владеющий современными технологиями изготовления и методами исследования монокристаллических алмазных пластин. В перспективе в Архангельске может появиться и современное производство монокристаллических алмазных пластин с заданными характеристиками для обеспечения исследований и разработок в области квантовой сенсорики, рентгеновской оптики и других передовых направлений научно-технического развития. Пластины будут изготавливать из синтетических монокристаллов алмазов в лабораториях САФУ методом температурного градиента.

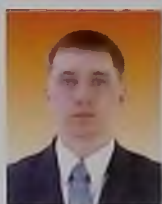
«Эксперты оценивают потенциальный рынок монокристаллических алмазных пластин как крайне перспективный. Доля существующего отечественного рынка монокристаллических алмазных пластин невелика и, по нашим оценкам, не превышает 2 % зарубежного рынка. Однако российский рынок сегодня обладает заметным потенциалом и динамикой развития — это и позволяет задуматься об инвестициях в данном направлении», — отметил Сергей Неручев. □

УДК 553.81

ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ ТРУБКИ им. В. ГРИБА И ЕЕ ИНДИКАТОРНЫЕ ОСОБЕННОСТИ В ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ПОЛЯХ



Р. Н. ПЕНДЕЛЯК,
главный геолог ГОКа,
pendelyak@agdimond.com



А. В. МОРОЗОВ,
ведущий геолог



В. А. МОГУТОВА,
геолог 1-й категории

АО «АГД ДАЙМОНДС», Архангельск, Россия

В предшествующие годы выполнен колоссальный объем исследований в части оценки геологического строения трубки им. В. Гриба. В настоящей статье авторами рассмотрены визуальные особенности геологического строения месторождения с учетом современных данных, полученных в результате его разработки. В дальнейшем эти данные могут быть использованы при поисках новых месторождений алмазов.

Крупнейшая алмазоносная кимберлитовая трубка в Европе, расположенная в Архангельской области на севере европейской части России (рис. 1), была открыта в феврале 1996 г. в ходе поисково-оценочных работ на Верхотинской площади. Работы по изучению месторождения им. В. Гриба выполнены в три стадии: 1-я – оценка (1996–2001 гг.); 2-я – разведка (2002–2004 гг.); 3-я – доизучение месторождения (2008–2009 гг.). Запасы месторождения утверждены протоколом ГКЗ в 2010 г. в объеме 98 млн карат, в том числе 57 млн карат для добычи открытым способом. Промышленная отработка ведется с 2014 г.

Трубка им. В. Гриба находится в центральной части Зимнебережного алмазоносного района, в пределах Верхотинского поднятия Ручьевского выступа кристаллического фундамента. Приурочена к кимберлитовмещающему разлому северо-северо-восточного простирания мощностью 50 м. Трубка прорывает слаболитифицированные осадочные породы верхнего рифея и верхнего венда, а перекрывается толщей терригенных и карбонатных пород среднего карбона и рыхлых четвертичных отложений. Полная мощность вмещающих трубку пород осадочного чехла (венд + рифей) составляет 1150 м, общая средняя мощность перекрывающих отложений – 66 м.

Трубка (рис. 2) сложена породами двух фаз внедрения (ксенотуфобрекчия и кимберлит), резко различающимися как по составу, так и по уровню алмазоносности, и кратерными вулканогенно-осадочными отложениями, участками визуально схожими с вмещающими дезинтегрированными отложениями венда. Контакты между разнофациальными породами

Рассмотрены визуальные особенности геологического строения алмазоносной трубки им. В. Гриба в Архангельской области с учетом современных данных, полученных в результате разработки месторождения. Приведены данные по локализации трубки в геофизических полях.

Ключевые слова: Зимнебережный алмазоносный район, трубка им. В. Гриба, геологическое строение, визуальные особенности, геофизические поля, локализация.

и отложениями четкие, резкие, уверенно устанавливаются как визуально по керну и в карьере, так и по каротажу.

Породы первой фазы внедрения (туфо- и ксенотуфобрекчия) до глубины 360 м (гор. –250 м) развиты в южной половине диа-тремы и перекрыты кимберлитами и дезинтегрированными вендскими отложениями. Мощность перекрывающих кимберлитов на юге изменяется от 20 до 60 м, на западном фланге составляет 160–190 м, а мощность перекрывающих вендских отложений достигает 180 м. С глубиной (ниже гор. –250 м) расширяется площадь развития пород первой фазы: в северо-западной части трубки и глубже гор. –750 м они занимают уже более 75 % площади трубки. Ниже гор. –900 м ранее единый рудный столб пород первой фазы разделен на два канала, изолированных друг от друга вмещающими породами.



Рис. 1. Административное положение трубки им. В. Гриба

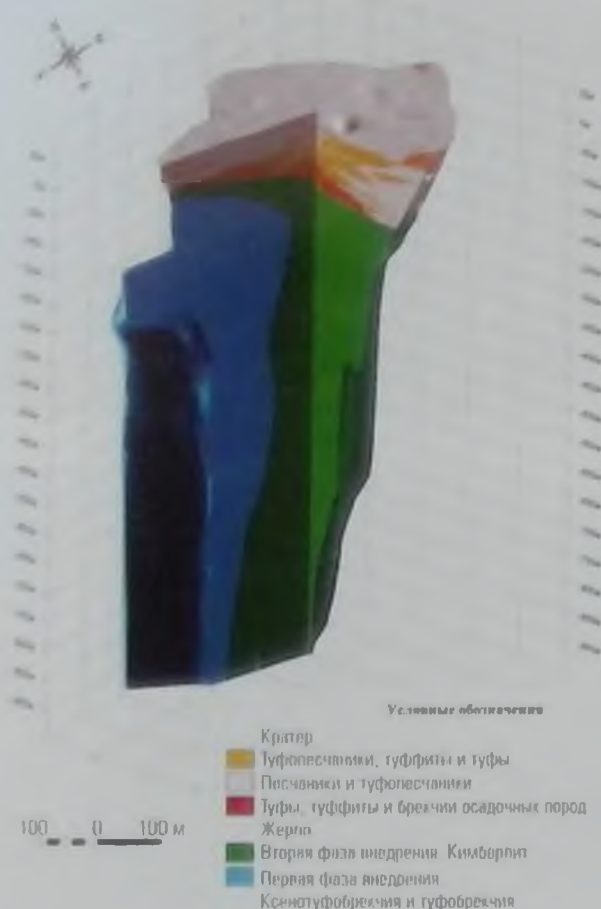


Рис. 2. 3D-модель трубки им. В. Гриба

Рудный столб кимберлитов представляет собой крутопадающее, сужающееся с глубиной тело неправильной формы, с грибообразным расширением в верхней части и заливом вдоль северо-западного контакта трубки, прослеживающимся до глубины 820–840 м. В интервале глубин 860–1010 м (ниже гор. –750 м) рудный столб кимберлитов локализуется вдоль северо-восточного контакта трубки, имеет северо-западную ориентировку и приобретает вытянутую дайкообразную форму. На гор. –100 м рудный столб кимберлитов занимает 80,5 % площади трубки, на гор. –300 м – 51,3 %, на гор. –500 м – 40,8 %, на гор. –700 м – 31,7 % и на гор. –900 м – 27,1 %. На гор. –900 м размеры рудного столба кимберлитов 180×25 м.

Кратерный раструб имеет чашеобразную форму с крутыми бортами, выполнен разнообразными вулканокластическими, вулканогенно-осадочными породами: от кварцевых глинистых песчаников и брекчи осадочных пород до кимберлитовых туффитов и туфов. Мощность отложений кратерной фации изменяется от 67,2 до 146,6 м и составляет в среднем 110 м. Наименьшая мощность отмечена в южной части трубки, наибольшая – в центральной.

В плане по поверхности трубка имеет ромбовидно-округлую форму, вытянутую в северо-восточном направлении. В вертикальном разрезе она представляет собой сложный перевернутый конус с раструбом в верхней части. Размер трубки под поверхностью перекрывающих отложений 575×500 м, с глубиной трубка

(МАСШТАБ ГОРИЗОНТАЛЬНЫЙ 1:5000)

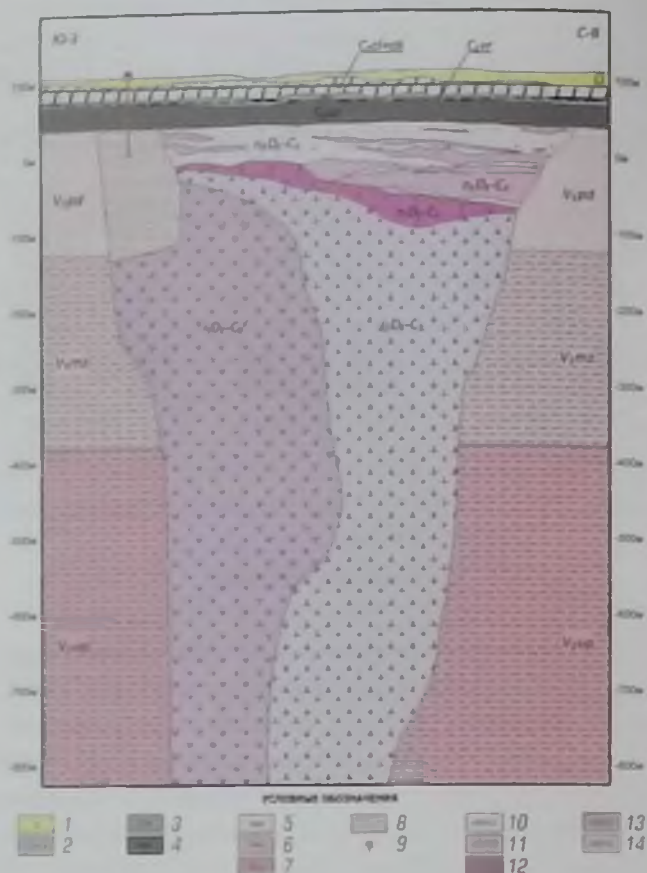


Рис. 3. Геологический разрез трубки им. В. Гриба

1 – четвертичные отложения (Q); 2 – средний карбон, олмуго-окуневская свита (C2ol+ok); 3 – средний карбон, воереченская свита (C2vr); 4 – средний карбон, урзугская свита (C2ur); 5 – верхний венд, падунская свита (V2pd); 6 – верхний венд, мезенская свита (V2mz); 7 – верхний венд, усть-пинейская свита (V2up); 8 – Зона дробления; 9 – Проектная скважина (100 м); 10 – Кратерная фация, третья пачка (n3D3-C2); 11 – Кратерная фация, вторая пачка (n2D3-C2); 12 – Кратерная фация, первая пачка (n1D3-C2); 13 – Жерловая фация, первая фаза (i1D3-C2); 14 – Жерловая фация, вторая фаза (i2D3-C2).

уменьшается, но вытянутость в северо-восточном направлении возрастает за счет узких клинообразных заливов в северной и южной частях. Размер трубки на глубине 500 м (гор. –390 м) составляет 425×260 м, на глубине 1000 м (гор. –890 м) – 320×120 м.

Ксеноитовобрекчии характеризуются пятнистой окраской, преобладают красноцветные разности, зеленоцветные развиты преимущественно на контакте с кимберлитами и на глубоких горизонтах в южной части диатремы. Породы мелко-, среднеобломочные, брекчиевой, пятнистой, реже – полосчатой текстуры. В приконтактных зонах трубки иногда развиты крупнообломочные разности. В составе обломочного материала ксеногенные обломки составляют 60–70 %, кимберлитовые – 30–40 %. Ксенолиты представлены преимущественно обломками вмещающих пород, по составу преобладают аргиллиты и алевролиты, реже отмечаются обломки пород фундамента (гнейсы, гранитогнейсы,

габброиды) и мантийных пород (эклогиты, перцолиты, дуниты, верлиты, пироксениты). Размер обломков колеблется от нескольких миллиметров до 3–5 см, реже – до 20 см и более. Кимберлитовый материал представлен автолитами и их обломками, псевдоморфозами серпентина и сапонита по оливину, зернами пирропа, пикроильменита, пластинками хлоритизированного флогопита. Цемент ксенотуфобрекчий песчано-глинистый с примесью карбоната и сапонита, ожелезненный.

Туфобрекчии занимают небольшие объемы. Развиваются в основном на контакте кимберлитов с ксенотуфобрекчиями, с последними имеют постепенные переходы. Выделяют два типа туфобрекчий. Туфобрекчии I типа характеризуются пятнистой окраской и имеют постепенные переходы с ксенотуфобрекчиями, отличающиеся явным преобладанием магматического материала (60–70 %) над ксеногенным (30–40 %). Туфобрекчии II типа располагаются в виде прерывистых зон мощностью от 1,5 до 10–20 м на контакте ксенотуфобрекчий с кимберлитами. Реже отмечаются эти породы в толще ксенотуфобрекчий на небольшом удалении от контакта с кимберлитами. Внешне туфобрекчии II типа представляют собой зеленовато-серую, плотную, мелкообломочную породу. Обломочная часть составляет 80–85 %. В ее состав входят: ксеногенные обломки (50–60 %), псевдоморфозы по оливину (25–35 %), автолиты (10–15 %). Ксеногенные обломки представлены в основном ксенолитами вмещающих пород венда. Связующая масса туфобрекчий криптозернистого тонкоchешуйчатого строения тальк-сметитового состава.

По петрографическим особенностям выделяют три разновидности кимберлитов: порфириовидные, массивные и порфировые. Первые две разновидности преобладают.

Порфиновый кимберлит развит в центральной части трубки в основном на глубинах 400 м и более, макроскопически он представляет собой массивную породу серо-зеленого, серо-голубого цвета с хорошо выраженной структурой, состоящую из порфириовых выделений, связывающей массы и единичных ксенолитов, количество и размер которых с глубиной уменьшается. Порфировые вкрапления представлены псевдоморфозами по оливину смешанного карбонат-серпентин-сметит-гидроталькового состава. С глубиной наблюдаются зерна неизмененного и слабоизмененного оливина. Связующая масса имеет хлорит-карбонат-сметитовый состав с тонкой примесью рудного вещества. Из минералов-спутников наблюдаются гранат, хромдиопсид, пикроильменит, флогопит.

Порфириовидные разновидности приурочены к периферийным частям рудного столба кимберлитов, к контактам с вмещающими породами, с туфо-, ксенотуфобрекчиями и к верхам диатремовой части трубки. Порфириовидные кимберлиты имеют серо-зеленую, темно-серую с зеленоватым оттенком окраску, характеризуются четко выраженной порфириовидной (брекчиевидной) текстурой, проявленной в распространении большого количества (15–25 %) обломковидных фрагментов, четко выделяющихся на фоне основной криптокристаллической массы. Кристаллокласты составляют 1–4 %, представлены псевдоморфозами серпентина, сапонита, карбонатов по оливину, оранжевым гранатом, пирропом, пикроильменитом, флогопитом, хромдиопсидом, реже – клинопироксеном.



Рис. 4. Положение рудовмещающего разлома в северном борту карьера

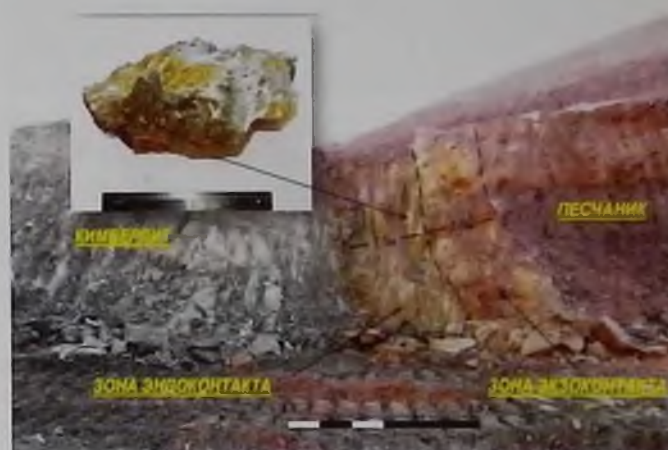


Рис. 5. Взаимоотношение кимберлита с вмещающими породами на глубине 169 м

С глубины 240 м появляются реликты свежего оливина. Литокласты (до 10 % объема породы) представлены автолитами размером 1–5 мм (до 30–100 мм). Ксеногенный материал, содержание которого составляет 1–3 %, представлен обломками алевритов, аргиллитов, реже песчаников, в заметных количествах встречаются ксенолиты пород фундамента и ксенолиты глубинных пород. Размер обломков – до 15–20 см. Основная масса породы (35–40 %) имеет криптокристаллическое микрочешуйчатое строение и состоит из полиминерального агрегата серпентина, сапонита, талька, карбоната и рудного вещества.

Массивный кимберлит чаще всего развит в центральной части рудного столба кимберлитов, представляет собой плотную однородную породу черно-зеленого, зеленовато-темно-серого цвета. От порфириовидного кимберлита отличается повышенной прочностью, серпентиновым составом псевдоморфоз и основной массы. Переходы от порфириовидных разновидностей к массивным как постепенные, так и резкие. При этом во влажном состоянии массивный кимберлит может приобретать порфириовидный облик.

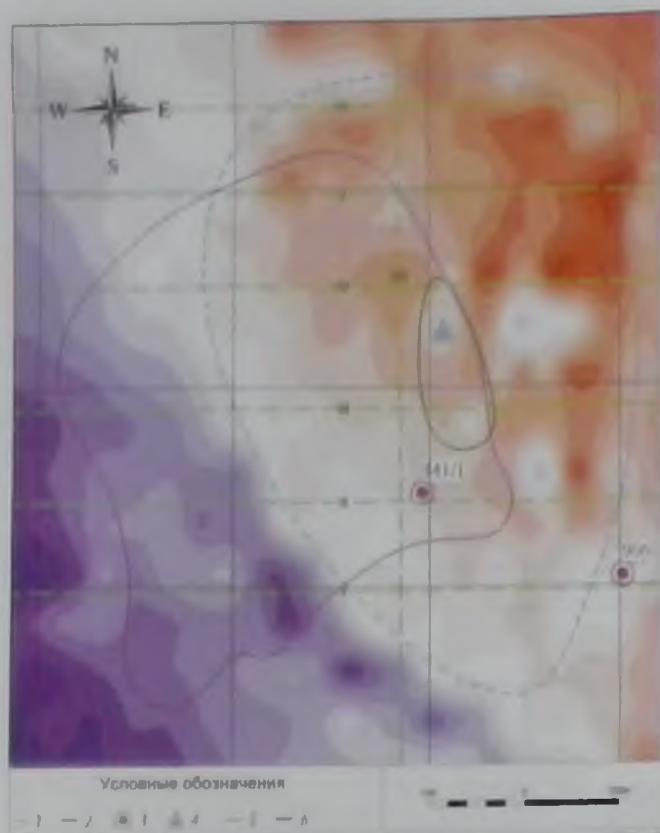


Рис. 6. Наземная геофизическая съемка аномалии 441, выполненная в 1995 г.:

1 – контур наземной магнитной аномалии, 2 – контур трубки им. В. Гриба, 3 – пробуренные заверочные скважины, 4 – эпицентр наземной аномалии, 5 – геоэлектрические профили и их номера, 6 – контур аномалии проводимости

В разрезе кратерной фации выделяются различающиеся по составу и содержанию кимберлитового материала рудные тела, мощность которых изменяется от первых метров до десятков метров. По содержанию магматического материала (м.м.), составу и типу цемента выделяют следующие разности пород: брекчии осадочных пород, песчаники (< 1 % м.м.); песчаники с магматическим материалом (до 1–3 % м.м.); туфопесчаники (3–15 % м.м.), туффиты (15–50 (60) % м.м.); туфы (> 50 (60) % м.м.). Для удобства систематизации рудные тела объединены в три пачки пород, границы между которыми проводят с некоторой долей условности, по преобладанию того или иного типа пород.

Пачка 1 – туфы, туффиты, брекчии осадочных пород, прослои и линзы песчаников, туфопесчаников, маломощные субгоризонтальные внедрения кимберлита на этапе затухания магматической деятельности после становления трубки.

Пачка 2 – переслаивание туфов, туффитов и туфопесчаников, с подчиненными прослоями и линзами песчаников.

Пачка 3 – глинистые песчаники и алевролиты с незначительным (до 1–3 %) количеством магматического материала, с редкими маломощными прослоями и линзами туфопесчаников.

В западной части подошва кратера сложена туфами с высоким содержанием м.м. (до 80–90 %), а восточная – брекчиями осадочных пород, которые на контакте с кимберлитами

представлены глыбовыми окварцованными агрегатами размером до 35 м в поперечнике.

По мере отработки месторождения уточняются морфологические параметры трубки. Помимо несущественных изменений в конфигурации трубки, наблюдается интересная особенность, заслуживающая пристального внимания. Так, на глубине 230 м (гор. –120 м, подошва падунской свиты верхнего венда) по зоне кимберлитовмещающего разлома наблюдается резкое клинообразное расширение трубки на 100 м в южном направлении. Выше по разрезу (рис. 3) это расширение перекрывается бесструктурными отложениями падунской свиты верхнего венда, которые по керну диагностируются как дезинтегрированные вендские отложения, что никоим образом не свидетельствует о близости трубки.

Обращаем внимание, что проектная глубина скважин во время проведения поисковых работ на Верхотинской площади составляла порядка 100 м. Такая глубина бурения недостаточна для вскрытия скважиной жерловых образований в сложнопостроенных трубках с сохранившимися кратерными отложениями. Помимо этого, отработка месторождения им. В. Гриба показала, что конфигурация трубки с глубиной несколько отличается от модели, составленной при разведке, могут появиться расширения на глубинах больших, чем проектная глубина заверочной скважины, следовательно, и бурение этих скважин необходимо вести до достижения структурных неизмененных вендских отложений, а не ограничиваться 10–40 м бурения по вмещающим породам.

Возвращаясь к кимберлитовмещающему разлому, следует отметить, что он уверенно диагностируется в бортах карьера (рис. 4), имеет азимут простирания 8° и мощность 50 м, представлен серией параллельных вертикальных разрывных нарушений, которые делят его на блоки размером в поперечнике до 5 м и более. Разрывные нарушения заполнены песком или алевролитом либо не имеют заполнителя, при этом ширина самих разрывных нарушений может достигать 1–5 см. Вертикальных смещений не наблюдается. Породы в зоне разлома, в непосредственной близости к трубке дезинтегрированы до слабосцементированных песчаников.

Контакты трубки с вмещающими породами (рис. 5) четкие, резкие, за исключением контактов песчаников кратерной фации с вмещающими породами, которые устанавливаются по наличию в отложениях кратерной фации ксенолитов вмещающих пород и редких мелких (до 1 мм) псевдоморфоз по оливину. Приконтактные изменения трубки незначительные, мощность зон эндо- и экзоконтакта, как правило, составляет не более 1 м, в редких случаях достигая 2–3 м; в единичных случаях на локальных участках эндоконтактов мощность может достигать 10 м и более.

Зона экзоконтакта как с породами первой фазы внедрения, так и с породами второй фазы выражается в осветлении вмещающих пород (полном, пятнистом или прожилковом), в брекчировании и дезинтеграции вмещающих пород вплоть до песка. Вмещающие породы на контакте иногда в различной степени окварцованы или ороговикованы. Экзоконтакт отложений кратера с вмещающими породами, как правило, не проявлен, за исключением участков дезинтеграции вмещающих пород.

Зона эндоконтакта наиболее широко проявлена в породах второй фазы внедрения (кимберлит) и выражается в структурных изменениях (брекчирование, зеркала скольжения, смятие) и вторичных изменениях (многочисленные разнонаправленные карбонатные прожилки, щетки и жёоды кальцита, изменение окраски пород, общая карбонатизация). На отдельных участках содержание карбонатных прожилок в кимберлитах зоны эндоконтакта может достигать 50 %, а размер жёод, заполненных кристаллами кальцита, до 1 м.

Возвращаясь к истории открытия месторождения, следует отметить, что в геофизических полях трубка выражена слабо. В локальном аэромагнитном поле (съёмка 1986 г., масштаб 1:10 000) наблюдается слабоконтрастная аномалия интенсивностью 4 нТл, эпицентр которой смещен к востоку от геометрического центра трубки на 200 м. При анализе и разбраковке результатов аэромагнитной съёмки были выполнены наземные магниторазведочные работы, но исходных материалов и карт по ним, к сожалению, обнаружить не удалось. Скважина 906, заложенная в 1987 г. по графикам наблюдаемого магнитного поля наземных магниторазведочных работ, была пробурена в 100 м к востоку от трубки. Смещение эпицентра аномалии (как аэромагнитной, так и наземной), по всей видимости, связано с восточным направлением (под углом 75°) вектора намагниченности пород, выполняющих трубку.

В 1995 г. при повторном анализе материалов ранних исследований была проведена наземная магнитная съёмка масштаба 1:5 000 в комплексе с профильной электроразведкой методом ДИМ. По ее результатам (рис. 6) эпицентр аномалии также оказался смещен на 200 м в северо-восточном направлении, и был выделен проводящий объект глубинного залегания размером ~100×150 м. Его происхождение может быть связано с прослоем гравелитов мощностью до 3 м в подошве перекрывающих урзугских отложений либо с особенностями строения верхней части кратера, где на востоке наблюдаются наиболее контрастно выраженные рудные тела в интервале глубин 70–100 м, представленные прослоями туфов, туффитов и туфопесчаников мощностью до 6 м. Но строение трубки и ее взаимоотношение с вмещающими и перекрывающими породами известно сейчас, а в 1996 г. скважина 441/1 была заложена в 150 м к юго-западу от центра проводящего объекта и в 200 м к югу от эпицентра магнитной аномалии и при бурении вскрыла породы кратерной части трубки. Однако и эта скважина была пробурена менее чем в 100 м от восточного края трубки.

Таким образом, история открытия месторождения, информация о его геологическом строении и взаимоотношении с вмещающими и перекрывающими отложениями, а также имеющиеся данные о геофизических особенностях трубки им. В. Гриба позволяют выделить прогнозно-поисковые критерии, применимые при проведении поисковых работ на лицензионных площадях Зимнебережного алмазоносного района. Эти критерии не являются чем-то новым и не претендуют на уникальность, но следует учитывать, что месторождение было открыто при повторной заверке аэромагнитной аномалии. Прогнозно-поисковые критерии следующие:

1. Трубки приурочены к линейным структурам.

2. Высокоалмазоносные трубки характеризуются локальными магнитными аномалиями трубчатого типа интенсивностью до 3–4 нТл.

3. Верхняя кромка магнитовозмущающего объекта находится под перекрывающими отложениями на глубинах 60–200 м.

4. С учетом вектора намагниченности кимберлитовых тел и в зависимости от мощности перекрывающих отложений локальная магнитная аномалия может смещаться от истинного положения кимберлитовой трубки на 150–250 м.

5. Мощность кратерных песчаных отложений трубок может достигать 100 м и более.

6. При проведении электроразведочных работ аномалии проводимости могут фиксировать кратерные отложения трубок и отражать особенности строения перекрывающих отложений.

7. Приконтактные изменения трубок незначительные, редко превышают 1–3 м.

Прогнозно-поисковые критерии обуславливают уточнение методики поисковых работ.

1. Осуществляют разбраковку аэрогеофизических аномалий комплексом методов, в том числе выполняют структурно-тектонический анализ, наземную магниторазведку, электроразведку и др. Основная цель разбраковки аномалий — посредством анализа каждой аномалии, полученной по результатам аэрогеофизических работ, сократить число аномалий, передаваемых под заверку.

Известно, что современные аэрогеофизические методы на площади работ 100 км² выделяют до 50 перспективных геологических участков. После разбраковки их число должно сократиться в 10 раз, так как бессмысленно заверять каждую аномалию.

2. Заверку аномалии следует выполнять минимум 3–5 скважинами, причем первую скважину бурят в эпицентре магнитной аномалии, вторую — в эпицентре аномалии проводимости, третью — с учетом расчетного вектора намагниченности, еще две — по результатам бурения первых трех скважин. Цель заверки аномалий — это не выполнение программы по бурению скважин, а качественная оценка геофизической природы аномалии.

3. Бурение поисковых скважин осуществляют до появления структурных вендских отложений и еще 50 м по ним. При наличии дезинтегрированных вмещающих пород бурение продолжают до появления ненарушенного структурного керна или до 300 м. Любые изменения в строении вмещающих пород (их дезинтеграция, структурно-текстурные особенности, косая слоистость и пр.) — это повод продолжить бурение.

Помимо этого, необходимо максимально сократить сроки проведения лабораторных исследований, так как даже положительные результаты лабораторных работ, полученные после окончания срока действия лицензии, не будут востребованы.

В заключение следует отметить, что при анализе материалов предшествующих работ на площадях, смежных с разрабатываемым месторождением им. В. Гриба, установлено, что до 40 % магнитных аномалий заверено единственной скважиной, причем глубины подавляющего большинства скважин составляют 70–120 м. Это позволяет по-новому оценить результаты работ прошлых лет и свидетельствует о том, что потенциал Архангельской алмазоносной провинции на открытие новых месторождений далеко не исчерпан.

(На правах рекламы)

ОТКРЫТИЕ ПАМЯТНИКА «ГЕОЛОГАМ РУССКОГО СЕВЕРА»

26 апреля 2021 г в Архангельске у фронтона офиса АО «АГД ДАЙМОНДС» состоялась торжественная церемония открытия памятника «Геологам Русского Севера». Открытие монумента приурочено к 90-летию АО «АГД ДАЙМОНДС», являющегося правопреемником Северного геологоразведочного треста, основанного 22 апреля 1931 г.

В церемонии открытия памятника приняли участие губернатор Архангельской области А. В. Цыбульский, глава муниципального образования «Город Архангельск» Д. А. Морев, депутаты Архангельского областного собрания, представители научного сообщества, ветераны, руководство и сотрудники АО «АГД ДАЙМОНДС».

Обращаясь к присутствующим, губернатор Поморья Александр Цыбульский подчеркнул: «Памятник Геологам Русского Севера – монумент, который обязательно должен стоять в столице Архангельской области. Именно отсюда шли экспедиции в Тимано-Печору, благодаря которым у страны появился богатейший нефтегазовый ресурс на Северо-Западе. Сотни геологических партий из Архангельска, преодолевая тяжелейшие условия тундры, тайги, Арктики, вели успешные поиски и разведку бокситовых, алмазных и других месторождений полезных ископаемых. Показательно, насколько велика география работ, проведенных архангельскими геологами, – они успешно трудились



даже в Калининградской области. Огромное спасибо ветеранам! Ваш беззаветный трудовой подвиг служит надежным залогом для нашего общего будущего, для будущего наших детей, для разработки новых технологий и развития новых передовых отечественной промышленности. Спасибо руководству АО «АГД ДАЙМОНДС» за проявленную инициативу по созданию такого прекрасного памятника, за бережное отношение к традициям и сохранение преемственности поколений».

Председатель регионального Совета ветеранов-геологоразведчиков Виктор Чернов в своем выступлении отметил, что



высокая эффективность работы архангельских геологов проявилась в первые же годы после Великой Отечественной войны — череда больших геологических побед началась в 1949 г. с открытия северо-онежских бокситовых месторождений, а затем продолжилась созданием Тимано-Печорской нефтегазовой и Архангельской алмазоносной провинций. *«Именами наших сотрудников названы крупные месторождения нефти и газа, одно из крупнейших мировых месторождений алмазов. Этот памятник — вечный символ созидания, поиска, верности России, своему долгу и делу»*, — резюмировал В. В. Чернов.

Один из авторов монумента скульптор Сергей Сюхин рассказал: *«Над созданием скульптуры работалось легко и с удовольствием, потому что художники и геологи — это братья-романтики. Я искренне рад, что теперь перед фронтоном главного геологического здания в Архангельске стоит наш памятник. Надеюсь, он добавит столь грандиозному месту настроения и души»*.

Почетное право открыть монумент «Геологам Русского Севера» было доверено первооткрывателю месторождений алмазов им. М. В. Ломоносова и им. В. Гриба Елисею Михайловичу Веричеву и первооткрывателю месторождения им. В. Гриба Николаю Николаевичу Головину.

Памятник «Геологам Русского Севера» воздвигнут по инициативе руководства АО «АГД ДАЙМОНДС» при поддержке Правительства Архангельской области и Совета ветеранов-геологоразведчиков. Авторы монумента — народный художник РФ, скульптор Г. И. Правоторов, заслуженный художник РФ,



скульптор С. Н. Сюхин, архитекторы А. В. Токарев и Д. С. Якорский.

По окончании церемонии открытия памятника «Геологам Русского Севера» губернатору Архангельской области А. В. Цыбульскому и главе МО «Город Архангельск» Д. А. Мореву в помещении Управления драгоценных камней АО «АГД ДАЙМОНДС» была продемонстрирована продукция Общества — алмазы месторождения им. В. Гриба.

Ветеранам Общества были вручены памятные корпоративные подарки. Для них был организован праздничный обед в одном из уютных городских кафе, где они в комфортной обстановке смогли пообщаться друг с другом, вспомнить любимую работу и родное предприятие. 





Выражаем глубокое уважение и искреннюю благодарность редакции «Горного журнала» и Издательскому дому «Руда и Металлы» за ответственную, кропотливо выполненную работу, связанную с выпуском журнала (февраль, 2021), посвященного пятидесятилетию рудника «Комсомольский» ЗФ ПАО «ГМК «Норильский никель», а также за многолетнее плодотворное сотрудничество в раскрытии практических разработок и достижений в области горного дела, важных научно-технических проблем горнорудных предприятий.

Профессионализм и неизменно высокий авторитет редакционной коллегии «Горного журнала» и Издательского дома «Руда и Металлы» помогают специалистам минерально-сырьевого комплекса перенимать передовой опыт ведущих горнодобывающих предприятий, а также делиться своими публикациями научно-производственных статей.

Мы высоко оцениваем имеющийся опыт сотрудничества и сложившиеся взаимоотношения. Надеемся, что сотрудничество в области горного дела и в дальнейшем будет устойчиво и планомерно развиваться для достижения новых высот.

Позвольте пожелать редакционной коллегии продуктивной работы и реализации всех достойных идей по развитию горной промышленности.

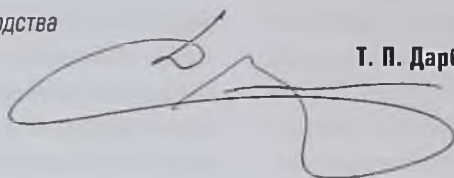
С уважением,

Заместитель директора
ЗФ ПАО «ГМК «Норильский никель»
по минерально-сырьевому комплексу



Т. С. Муштекенов

Директор департамента горного производства
ЗФ ПАО «ГМК «Норильский никель»



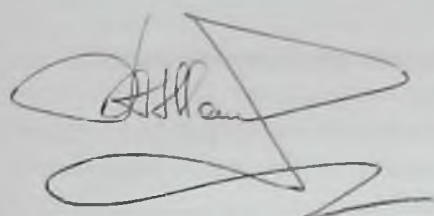
Т. П. Дарбинян

Руководство АО «ВНИПИпромтехнологии», инженеринговой компании горнорудного дивизиона АО «Атомредметзолото» Государственной корпорации по атомной энергии «Росатом» выражает глубокую благодарность главному редактору «Горного журнала» и всей редакционной коллегии за блестяще изданный юбилейный номер журнала, посвященный 70-летию нашего предприятия.

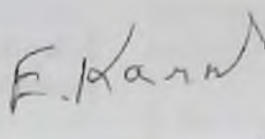
Материалы номера, собравшего более 20 статей наших специалистов и нескольких ученых горного профиля наших ближайших сподвижников, в том числе из Российской Академии наук, нашли широкий отклик среди научной общественности страны. Одновременно они способствовали пропаганде достижений предприятия в сфере уранодобычи и в смежных областях народного хозяйства.

Еще раз выражаем свою признательность и надеемся на дальнейшее творческое сотрудничество с редколлекцией «Горного журнала» на благо нашего общего дела.

Шеметов А. И.,
Генеральный директор



Камнев Е. Н.,
Ученый секретарь



ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СЛУЖБЫ АК «АЛРОСА»

А. М. ЯНИКОВ – зав. лабораторией горно-геологических проблем разработки месторождений явд геол. минерал. наук, yanikovat@alrosa.ru
А. Ю. КОРЕПАНОВ – зап. сектором гидрогеологических исследований лабораторией горно-геологических проблем разработки месторождений
И. В. ЗЫРЯНОВ – зав. кафедрой, проф. по научной работе, д-р техн. наук

Институт «Якутияпролам» АК «АЛРОСА» (ПАО), Мирный, Россия
 Мирнинский политехнический институт (филиал) Северо-Восточного федерального университета им. М. К. Аммосова, Мирный, Россия

Введение

В настоящее время Российская Федерация является лидером по добыче природных алмазов. За уже добытыми сотнями миллионов карат драгоценных камней стоят три поколения алмазодобытчиков и тысячи специалистов, работающих для обеспечения и поддержания достигнутых показателей. Полноценным преемником славных традиций ранее существовавшего объединения «Якуталмаз» является АК «АЛРОСА» (ПАО), осуществляющая отработку группы россыпных и коренных месторождений, находящихся на территории Якутской и Архангельской алмазоносных провинций.

Современные вызовы и экономические проблемы, стоящие перед компанией в целом, требуют принятия различных управленческих решений, особенно в части оптимизации и увеличения операционной эффективности производства. Преобразования коснулись всех подразделений компании, в том числе были приняты важные решения по гидрогеологическому обеспечению работ.

Состояние и направления развития гидрогеологической службы

Неординарность и уникальность гидрогеологических, газодинамических и геокриологических условий, в которых ведут отработку алмазоносных месторождений Западной Якутии [1–18], требуют своевременного и качественного гидрогеологического изучения и сопровождения. Оно должно выполняться не только в виде аналитической работы, но и мониторинга непосредственно на участках ведения добычных и горных работ. Именно указанными факторами и обусловлены нынешний состав и численность специалистов-гидрогеологов, работающих в подразделениях компании. Существующая структура гидрогеологической службы приведена на рис. 1.

Несмотря на то, что в целом существующее распределение специалистов позволяет осуществлять текущее гидрогеологическое обеспечение работ на приемлемом уровне, данная структура не вполне отвечает перспективным на ближайшие 5–10 лет вызовам по ряду причин.

Приведена краткая характеристика существующей гидрогеологической службы АК «АЛРОСА». Рассмотрены главные проблемы и вызовы, с которыми столкнется компания при ведении добычных работ, в частности оценены гидрогеологические, горно-геологические и газодинамические условия обрабатываемых месторождений. Предложены варианты оптимального взаимодействия различных структурных подразделений компании, обозначены перспективные направления работ в области обеспечения безопасной добычи, наработки научно-методической базы для дальнейшей генерации и реализации инновационных технических решений.

Ключевые слова: АК «АЛРОСА», Якутская алмазоносная провинция, коренные и россыпные месторождения алмазов, гидрогеологическое обеспечение, карбонатные коллекторы, насыщенные и ненасыщенные рассолы.

DOI: 10.17580/gzh.2021.05.01

1. Дальнейшую отработку многих месторождений будут осуществлять на больших глубинах открытым и подземным способами [19] в сложных и весьма сложных горно-геологических, гидрогеологических и газодинамических условиях [8, 12, 13]. Такие уникальные и известные месторождения, как трубки «Интернациональная», «Мир», «Айхал», «Удачная», «Юбилейная», требуют не просто нестандартных решений и индивидуального подхода, а изменения всего гидрогеологического обеспечения, начиная со стадии проектирования и заканчивая внедрением полученных результатов.

2. Проведенная реформа геологоразведочного комплекса компании привела к структурным изменениям, но при этом в минимальной степени коснулась гидрогеологической службы Вилюйской геологоразведочной экспедиции (ВГРЭ). Основное внимание было сосредоточено на ведении поисковых геологоразведочных и эксплоразведочных работ, что подтверждается

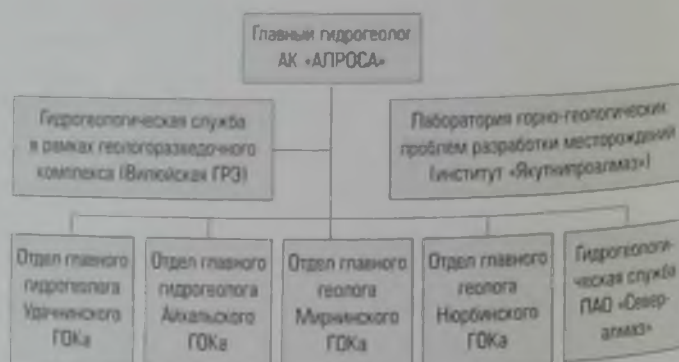


Рис. 1. Существующая структура гидрогеологической службы компании

отсутствием отдельной гидрогеологической партии. Это, в свою очередь, усложняет расстановку приоритетов при организации и планировании работ.

3. Гидрогеологические службы горно-обогатительных комбинатов (ГОКов) в настоящее время не выполняют регионального гидрогеологического мониторинга. Данные работы осуществляют специалисты ВГРЗ. Усиление и создание полноценно функционирующих гидрогеологических служб в рамках ГОКов положительно скажется на ведении добычных работ и сопровождении процессов опережающего осушения месторождений.

Лаборатория горно-геологических проблем разработки месторождений, входящая в состав института «Якутнипроалмаз», в настоящее время осуществляет научно-методическое сопровождение, а также выполняет проектные и научно-исследовательские работы по гидрогеологическому, гидрологическому, газодинамическому, гидродинамическому и регламентному обеспечению производственных активов. Практика показывает, что существующая система позволяет проектировать и находить технические решения, но не обладает достаточным потенциалом для развития и реализации более сложных перспективных проектов прежде всего по причине отсутствия централизации камерально-аналитической части, которая в настоящее время разделена между структурными подразделениями – институтом «Якутнипроалмаз» и Вилюйской ГРЗ. Специалисты, занимающиеся гидрогеологическими исследованиями непосредственно в полевых условиях на открытых и подземных работах, также разделены по отдельным ГОКа и ВГРЗ.

По мнению авторов, дальнейшие перспективы развития гидрогеологической службы компании связаны с реализацией следующих преобразований.

1. Реформирование гидрогеологической службы ВГРЗ с передачей специалистов, занятых на полевых работах, в состав ГОКов, включением камеральной группы в единый аналитический гидрогеологический центр, созданный на базе лаборатории горно-геологических проблем разработки месторождений.

2. Выделение отделов главных гидрогеологов на Мирнинском и Нюрбинском ГОКах по примеру Айхальского и Удачинского ГОКов с самостоятельным штатом сотрудников и перераспределением полевой составляющей гидрогеологических работ. Другими словами, при доукомплектовании отделов полевое обеспечение добычных работ будет выполняться собственными силами ГОКов, без привлечения специалистов ВГРЗ, с заключением прямых договоров с подрядчиками на проведение буровых работ. При этом целесообразно составление квартальных отчетов, содержащих всю первичную информацию о проведенном гидрогеологическом мониторинге, а также о динамике изменения гидрогеологической и гидрологической обстановки на поднадзорных объектах: рудниках, карьерах, участках закачки дренажных вод, на скважинах опережающего водопонижения и режимной сети. Реализация данных мероприятий позволит централизовать решение всех гидрогеологических вопросов в рамках ГОКов, так как данные структурные подразделения обладают всей необходимой материальной и технической базой, а также имеют больше возможностей в части решения рядовых

проблем (расчистка подъездных путей к режимной сети скважин в зимнее время, отсыпка дорожного полотна вскрышными породами в летнее время и т. п.). Наличие на местах главных специалистов – начальников отделов также будет способствовать улучшению качества полевых работ, а наличие в штатном расписании должностей участковых гидрогеологов и гидрогеологов рудников или карьеров позволит эффективно укомплектовать гидрогеологический персонал в структуре ГОКов.

3. Объединение камеральной гидрогеологической группы ВГРЗ с лабораторией горно-геологических проблем разработки месторождений института «Якутнипроалмаз» с созданием единого камерально-аналитического гидрогеологического центра на базе лаборатории горно-геологических проблем разработки месторождений (ЛГГПРМ). Данное решение обусловлено также рядом причин:

- объединение специалистов в рамках одной структуры будет способствовать повышению качества выполняемых проектных, научно-исследовательских и регламентных работ без дублирования выполняемых функций;

- решение большинства проблем ближайшего десятилетия, связанных с гидрогеологическим, горно-геологическим и газодинамическим обеспечением добычных работ на объектах компании, потребует централизации имеющихся специалистов и тесного взаимодействия с ведущими научными центрами Российской Федерации; институт «Якутнипроалмаз» имеет опыт совместной работы с ИНГГ СО РАН, ИПКОН РАН, ООО «НОВОТЭК», АО «ВНИИПИ», ИЗК СО РАН, ВНИИГ им. Веденеева и др.;

- повышение квалификации работающих специалистов, обучение в аспирантуре, выпуск статей и монографий и т. д. целесообразно осуществлять в рамках единого камерально-аналитического гидрогеологического центра;

- предлагаемая консолидация позволит аккумулировать весь первичный материал по гидрогеологическим, инженерно-геологическим, геозкологическим, газодинамическим и горно-геологическим условиям обрабатываемых месторождений с последующим анализом, проработкой и генерацией технических решений для обеспечения безопасного ведения горных работ.

Предлагаемая структура гидрогеологической службы компании представлена на **рис. 2**.

Создание объединенного камерально-аналитического центра будет способствовать повышению оперативности решения возникающих проблем по следующим направлениям.

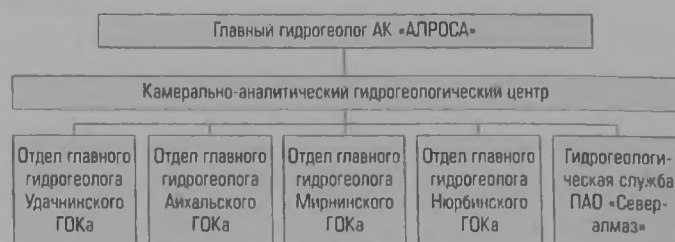


Рис. 2. Предлагаемая структура гидрогеологической службы компании

1 Разработка концепции, технических решений и научно-методическое сопровождение добычных работ

- на уникальных по качеству сырья и крайне сложных в плане горно-геологических и гидрогеологических условий месторождениях Мапо Ботубинского алмазоносного района – трубках «Интернациональная» и «Мир».

- на месторождениях высокой и средней сложности Далдыно-Алакинского алмазоносного района [2, 3] – трубках «Айхал», «Заря», «Удачная», «Юбилейная».

- на месторождениях низкой и средней сложности Верхне-Мунского и Средне-Мархинского кимберлитовых полей

На указанных месторождениях требуются разработка и последующая реализация технических решений не только в части качественного и своевременного осушения добычных блоков от природных рассолов и их последующей экологически безопасной утилизации, но и дегазации вмещающих пород, а также внедрения противоударных мероприятий [4, 7, 14, 15].

2 Повышенное внимание в современных условиях экологическим аспектам разработки. Гидрогеоэкология – это одна из важнейших составляющих. Проведение гидрогеохимических и гидрогеоэкологических съемок и профилирования должно явиться тем самым краеугольным камнем, основой для построения контролируемой техногенной нагрузки как на недра, так и на поверхностные водотоки.

3 Выявление и научно-методическое сопровождение перспективных гидрогеологических направлений на объектах компании.

4 Регламентные работы (технические проекты, отчеты для ФБУЗ ГКЗ и т. д.), необходимые для продления лицензий на использование и эксплуатацию недр.

В целом предлагаемые изменения структуры гидрогеологической службы компании соответствуют современным тенденциям развития гидрогеологии на территории Российской Федерации. С большой степенью уверенности можно констатировать, что произошедшие в конце XX – начале XXI в. структурные перемены в области образования и научной деятельности коснулись и гидрогеологии, причем преимущественно в части организации, методических основ и экономического обоснования проводимых работ и исследований.

В настоящее время можно говорить о том, что гидрогеология как фундаментальная наука сформировалась и прочно закрепилась в горном деле в течение XX столетия, однако в свете формирующихся вызовов происходит ее дальнейшее развитие. Особенно это заметно в следующих направлениях:

- оценка влияния природных и техногенных факторов на изменение климатической составляющей в части воздействия на водооборот приобретает самостоятельное значение [16–20].

- неотектонические движения в послеледниковый период значительно повлияли на гидродинамическую и гидрохимическую обстановку, изучение предыдущих межледниковых периодов позволит лучше понять природу и механизмы взаимодействия с толщей многолетнемерзлых пород, а также формирования надмерзлотных водоносных горизонтов, что, в свою

очередь, требует выделения направления «четвертичной гидрогеологии» [21–24].

- выделенное в 1989 г. В. М. Степановым направление структурной гидрогеологии также продолжает свое развитие, так как влияние разрывных нарушений на обводнение месторождений весьма значительно [9].

- также востребовано такое направление, как геохимия подземных вод, поскольку последние используются для питьевого и хозяйственного водоснабжения [1, 10]; в последнее время все чаще встает вопрос о необходимости изучения взаимодействия в системе «пед–вода–порода». Особенно это актуально в части использования топки многолетнемерзлых пород для закачки дренажных вод в недра.

- геологический «круговорот» воды, впервые рассмотренный А. Н. Павловым в 1977 г. в рамках процессов серпентинизации-десерпентинизации в зонах субдукции [5], а также при обосновании концепции «метаморфогенной инфильтрации флюидов» по Л. Е. Яковлеву, требует дальнейшего изучения с выдачей количественных и качественных оценок [18].

- нормативно-правовая база со временем претерпела существенные изменения [11], поэтому особенно важно активное участие при ее формировании узких специалистов по направлениям, а не только квалифицированных юристов.

Отдельно стоит упомянуть, что подготовка специалистов-гидрогеологов – одно из ведущих направлений. В настоящее время наблюдается некоторый дефицит таких специалистов. Данная проблема возникла прежде всего из-за небольшого числа профильных вузов (порядка двух десятков) и незначительной численности выпускаемых специалистов. Проблема усугубляется не только сменой поколений преподавательского состава, но и существенным сокращением диссертационных советов по этому направлению. Решение этой проблемы видится авторам в тесной кооперации отдельных гидрогеологических центров, а также популяризации данного направления среди будущих абитуриентов.

Необходимость оперативного реагирования на изменяющиеся условия отработки месторождений требует не только камерально-удаленной теоретизации происходящих процессов, но и непосредственного (полевого) участия специалистов-гидрогеологов в выявлении и последующем решении проблемы, выработке технических решений. Гидрогеологические работы и исследования должны выполняться с требуемым качеством. Основой для этого может стать предлагаемая централизация и отлаженное взаимодействие.

Выводы

1. Предлагаемая консолидация имеющихся специалистов-гидрогеологов позволит выполнить поставленные задачи по оптимизации, сохранив кадровый потенциал и максимум накопленных компетенций.

2. Гидрогеологическое сопровождение добычных работ в рамках единого центра будет способствовать развитию гидрогеологии в компании как направления в целом, что позволит не только сохранить существующие позиции, но и значительно упрочить их.

3 Дальнейшее развитие таких перспективных направлений, как «четвертичная гидрогеология», структурная гидрогеология, геохимия подземных вод в различных агрегатных

состояниях и т. д., необходимо осуществлять в рамках тесной кооперации с ведущими научными центрами Российской Федерации.

Библиографический список

1. Колганов В. Ф., Акишев А. Н., Дроздов А. В. Горно-геологические особенности коренных месторождений алмазов Якутии. — Мирный: Мирнинская типография, 2013. — 568 с.
2. Алексеев С. В., Алексеева Л. П., Борисов В. Н., Шоуакар-Сташ О., Фрейл Ш. и др. Изотопный состав (H, O, Cl, Sr) подземных рассолов Сибирской платформы // Геология и геофизика. 2007. Т. 48. № 3. С. 291–304.
3. Алексеев С. В., Алексеева Л. П., Трифонов Н. С., Павлов С. С., Ильин А. В. Рассолы глубоких горизонтов кимберлитовой трубки Удачная // Подземные воды востока России: матер. XII Всероссийского совещания по подземным водам Сибири и Дальнего Востока с междунар. участием. — Новосибирск: ИПЦ НГУ, 2018. С. 47–52.
4. Гладков А. С., Дроздов А. В., Кошкарёв Д. А., Потехина И. А., Афонкин А. М. Оценка структурно-тектонического строения глубоких горизонтов трубки «Айхал» для постановки гидрогеомеханического мониторинга // Известия Сибирского отделения РАН. Геология, поиски и разведка рудных месторождений. 2015. № 2(51). С. 46–56.
5. Данилов Ю. Г. Месторождения алмазов в Якутии // Алмазы. Алмазодобывающая промышленность: сб. науч.-техн. информации. 2012. Вып. 2. С. 5–7.
6. Дроздов А. В. Горно-геологические особенности глубоких горизонтов трубки Удачной // ГИАБ. 2011. № 3. С. 153–165.
7. Дроздов А. В., Иост Н. А., Лобанов В. В. Криогидрогеология алмазных месторождений Западной Якутии. — Иркутск: ИрГТУ, 2008. — 507 с.
8. Дроздов А. В., Мельников А. И. Роль разрывных дислокаций в обводнении алмазодобывающих рудников Якутии // Известия Сибирского отделения РАН. Геология, поиски и разведка рудных месторождений. 2014. № 2(45). С. 71–81.
9. Кирюхин В. А. Региональная гидрогеология: учебник. — СПб.: СПГИ, 2005. — 344 с.
10. Кирюхин В. А., Швец В. М. Гидрогеология XXI века — возможные пути развития // Известия вузов. Геология и разведка. 2007. № 6. С. 56–62.
11. Ланшаков В. Г., Дружинин И. А., Тимушева Л. В. Обзор проблем в области гидрогеологии и пути их решения // Сб. науч. тр. II науч.-практ. конф. по вопросам гидрогеологии и водообеспечения. — Ижевск, 2020. С. 45–52.
12. Янников А. М., Голованев О. А. Газоносность отложений толбачанской свиты в околотрубочном пространстве месторождения трубка «Интернациональная» // Естественные и технические науки. 2018. № 10. С. 83–87.
13. Янников А. М., Голованев О. А. Зависимость интенсивности самоизлива рассолов от буровзрывных работ в районе трубки «Интернациональная» // Вестник Воронежского государственного университета. Сер.: Геология. 2018. № 3. С. 114–116.
14. Янников А. М. Газодинамическая характеристика коллекторов во внешнем контуре месторождения «Трубка Интернациональная» // Вестник Воронежского государственного университета. Сер.: Геология. 2018. № 4. С. 98–101.
15. Янников А. М. Интенсивность и продолжительность движения пластовых вод из малодебитных коллекторов толбачанской свиты // Вестник Воронежского государственного университета. Сер.: Геология. 2018. № 1. С. 139–141.
16. Anderson M. P., McCray J. Foreword: Lessons Learned About Contaminant Hydrogeology from Legacy Research Sites // Groundwater. 2011. Vol. 49. Iss. 5. P. 617–619.
17. Anderson M. P., Siegel D. I. Seminal advances in hydrogeology, 1963 to 2013: The O.E. Meinzer Award legacy // Special Paper of the Geological Society of America. 2013. Vol. 500. P. 463–500.
18. Colucci R. R., Bacchi C., Zebre M., Guglielmin M. Rock glaciers, protalus ramparts and periglacial ramparts in the South-Eastern Alps // Geomorphology. 2016. Vol. 269. P. 112–121.
19. Harlow D., Austrheim H. Metasomatism and the Chemical Transformation of Rock: The Role of Fluids in Terrestrial and Extraterrestrial Processes. — Berlin: Springer-Verlag, 2013. — 806 p.
20. Новые методы и результаты исследований ландшафтов в Европе, Центральной Азии и Сибири / под ред. В. Г. Сычева, Л. Мюллера. — М.: ВНИИ агрохимии, 2018. Т. 2. Изучение и мониторинг процессов в почвах и водных объектах. — 456 с.
21. Rogger M., Chirico G. B., Hausmann H., Krainer K., Bruckl E. et al. Impact of mountain permafrost on flow path and runoff response in a high alpine catchment // Water Resources Research. 2017. Vol. 53. Iss. 2. P. 1288–1308.
22. Wagner T., Pauritsch M., Winkler G. Impact of relict rock glaciers on spring and stream flow of alpine watersheds: Examples of the Niedere Tauern Range, Eastern Alps (Austria) // Austrian Journal of Earth Sciences. 2016. Vol. 109. No. 1. P. 84–98.
23. Pismenny A., Chaadaev A., Akishev A., Bondarenko I., Babashin S. Innovative technologies at open-cast mining of diamond deposits // Innovations and Nanotechnologies of Russia. 2012. No. 1(2). P. 38–39.
24. Pauritsch M., Wagner T., Winkler G., Birk S. Investigating groundwater flow components in an Alpine relict rock glacier (Austria) using a numerical model // Hydrogeology Journal. 2017. Vol. 25. Iss. 2. P. 371–383.

«GORNYI ZHURNAL», 2021, № 5, pp. 30–34
DOI: 10.17580/gzh.2021.05.01

ALROSA's hydrogeological services: Current problems and future considerations

Information about authors

A. M. Yannikov¹, Head of Laboratory for Geological Problems of Mineral Mining, Candidate of Geological and Mineralogical Sciences, yannikovam@alrosa.ru

A. Yu. Korepanov¹, Head of Hydrogeological Research Sector at Laboratory for Geological Problems of Mineral Mining

I. V. Zyryanov², Head of Chair, Professor, Doctor of Engineering Sciences

¹ Yakutniproalmaz Institute, ALROSA, Mirny, Russia

² Mirny Polytechnic Institute (Division), Ammosov North-Eastern Federal University, Mirny, Russia

Abstract

The Russian Federation is a leading diamond producer at the moment, and ALROSA is Russia's largest diamond mining company. It operates a number of placers and primary deposits in the diamond-bearing provinces in Yakutia and in the Arkhangelsk Region. The challenges and economic problems currently facing the Company call for diverse managerial decisions, including optimization of production and enhancement of operating efficiency. The article gives a brief description of Company's hydrogeological services and their transformations. The hydrogeological, geological and gas-dynamic conditions of operated deposits are assessed. Alternatives of optimized interaction between different structural divisions of the Company are proposed, and the promising activities aimed at safe mining and at expansion of theoretical framework for generation and implementation of technological innovations are identified.

The proposed consolidation of high-skilled hydrogeologists can enable technological optimization at the preserved personnel resources and maximized competences. Hydrogeological supervision of mining operations from a united center can promote advancement of hydrogeology as a school at the Company, at the sustained and even increased potency. Further development of such promising hydrogeology research areas as Quaternary Hydrogeology, Structural Hydrogeology, Geochemistry of Groundwater in Different Physical States, etc. requires tight cooperation and contiguity between the Company and top-ranked research centers of the Russian Federation.

Keywords: ALROSA, Yakutia diamond province, placers and primary deposits, hydrogeological support, carbonate reservoirs, saturated and nonsaturated brines.

References

1. Kolganov V. F., Akishev A. N., Drozdov A. V. Mining-geological peculiarities of primary deposits of Yakutian diamonds. Mirny: Mirny typography, 2013. 568 p.
2. Alekseev S. V., Alekseeva L. P., Borisov V. N., Shouakar-Stash O., Frap Sh. et al. Isotopic composition (H, O, Cl, Sr) of ground brines of the Siberian platform. *Russian Geology and Geophysics*. 2007. Vol. 48, No. 3. pp. 225–236.
3. Alekseev S. V., Alekseeva L. P., Trifonov N. S., Pavlov S. S., Ilin A. V. Deep-seated brines of the kimberlite pipe Udachnaya. *Russia's East Groundwater. Proceedings of XXII All-Russian Conference with International Participation on Groundwater of Siberia and the Far East*. Novosibirsk: IPTs NGU, 2018. pp. 47–52.
4. Gladkov A. S., Drozdov A. V., Koshkarev D. A., Potekhina I. A., Afonkin A. M. Evaluation of structural and tectonic framework of Aikhal kimberlite pipe deep horizons for hydrogeomechanical

1. ...testing. *Over-type laboratory experiments* RAIH. *Geologiya, poiski i razvedka rudnykh mestorozhdeniy*. 2015. No. 2151. pp. 46–50.
2. ...in C. Diamond deposits in Yakutia. *Diamonds. Diamond Industry. Collected Documentation*. 2015. No. 8. pp. 7–1.
3. ...of deep-seal geology of Udachnaya Pipe. *GIAB*. 2011. No. 3. pp. 153–165.
4. ...in West Yakutia. *IGTU*. 2008. 107 p.
5. ...in Yakutia. *Vestnik Siberiskogo otdeleniya RAN. Geologiya, poiski i razvedka rudnykh mestorozhdeniy*. 2014. No. 21451. pp. 71–81.
6. ...Regional hydrology. *Textbook*. Saint-Peterburg. SPGGI. 2005. 344 p.
7. ...Hydrogeology of the 21st century – possible ways of development. *Geologiya, poiski i razvedka*. 2007. No. 6. pp. 56–62.
8. ...Hydrogeology. Problems and solutions. *Review*. *Proceedings of 11 Conference on Hydrogeology and Water Supply*. Izhevsk. 2020. pp. 45–52.
9. ...Gas content of Tolbachik formation surrounding Internationalnaya Pipe. *Interferentny i tekhnicheskie nauki*. 2018. No. 10. pp. 81–87.
10. ...The dependence of the intensity self-determination ravsols from boring explosive works in the district of the «International» pipe. *Vestnik Bornezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Ser. Geologiya*. 2018. No. 3. pp. 114–116.
11. ...The gasdynamic characteristic of the collectors in external circuit of field the «Tolba International». *Vestnik Bornezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Ser. Geologiya*. 2018. No. 4. pp. 98–101.
12. ...The intensity and duration the movement of formation waters from marginal collector, tolbachinski suite. *Vestnik Bornezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Ser. Geologiya*. 2018. No. 1. pp. 139–141.
13. ...Anderson M. P., McCray J. Foreword: Lessons Learned About Contaminant Hydrogeology from Legacy Research Sites. *Groundwater*. 2011. Vol. 49, Iss. 5. pp. 617–619.
14. ...Anderson M. P., Siegel D. I. Seminal advances in hydrogeology, 1963 to 2013: The O.E. Meinzer Award legacy. *Special Paper of the Geological Society of America*. 2013. Vol. 500. pp. 463–500.
15. ...Colucci R. R., Boccali C., Zebre M., Guglielmin M. Rock glaciers, protalus ramparts and pronival ramparts in the south-eastern Alps. *Geomorphology*. 2016. Vol. 269. pp. 112–121.
16. ...Harlow D., Austrheim H. Metasomatism and the Chemical Transformation of Rock: The Role of Fluids in Terrestrial and Extraterrestrial Processes. Berlin: Springer-Verlag. 2013. 806 p.
17. ...Sychev V. G., Myuller L. (Eds.). *New research methods and data on landscapes in Europe, Central Asia and Siberia*. Moscow: VNI agrokhimii. 2018. Vol. 2. Study and monitoring of processes in soil and in water bodies. 456 p.
18. ...Roger M., Chirico G. B., Hausmann H., Krauer K., Bruckl E. et al. Impact of mountain permafrost on flow path and runoff response in a high alpine catchment. *Water Resources Research*. 2017. Vol. 53, Iss. 2. pp. 1288–1308.
19. ...Wagner T., Pauritsch M., Winkler G. Impact of relict rock glaciers on spring and stream flow of alpine watersheds: Examples of the Niedere Tauern Range, Eastern Alps (Austria). *Austrian Journal of Earth Sciences*. 2016. Vol. 109. No. 1. pp. 84–98.
20. ...Pismenny A., Chaudhary A., Alkisev A., Bondarenko I., Babashin S. Innovative technologies at open-cast mining of diamond deposits. *Innovations and Nanotechnologies of Russia*. 2012. No. 1(2). pp. 38–39.
21. ...Pauritsch M., Wagner T., Winkler G., Birk S. Investigating groundwater flow components in an Alpine relict rock glacier (Austria) using a numerical model. *Hydrogeology Journal*. 2017. Vol. 25, Iss. 2. pp. 371–383.



Дорогие коллеги!

В этом году 20-летний юбилей празднует АО «Далур» – первое в России предприятие, добывающее уран безопасным и экологически чистым способом скважинного подземного выщелачивания.

Все это время предприятие демонстрировало качественную и эффективную работу – не зафиксировано ни одного чрезвычайного происшествия, ни одного профессионального заболевания. Далур стабильно и своевременно выполняет производственный план и государственный заказ. Постоянное совершенствование технологических процессов позволило еще в 2014 году начать программу автоматизации процессов, где с помощью компьютерных программ контролируются все этапы уранодобычи – от планирования до вывода месторождения из эксплуатации. Отмечу, что многие технологические разработки, которые сегодня широко применяются в отрасли, внедрялись на предприятии впервые в мире!

Несомненно, Далур – это команда профессионалов, людей, ответственных за результат, которые с достоинством встречают современные вызовы и уверенно смотрят в будущее.

Этой командой совместно с учеными ведущих НИИ страны в прошлом году реализован стратегический в государственном масштабе проект – Далур первым в России начал промышленную добычу редкого металла скандия. Это важный шаг в развитии редкометалльной промышленности нашей страны, который позволит значительно сократить импорт этого востребованного металла.

20 лет – молодой в историческом масштабе возраст, но показательный в случае АО «Далур». Стабильный финансовый и экономический результат, планомерное освоение месторождений, строительство и ввод эксплуатацию новых мощностей, реализация амбициозных проектов – не случайно свой юбилейный год предприятие празднует в статусе лучшего в Горнорудном дивизионе Росатома.

Поздравляю коллектив предприятия и желаю дальнейших побед в их непростом деле!



Первый заместитель
генерального директора –
исполнительный директор
АО «Атомредметзолото»
В. С. Святцкий



УДК 622.349 (647.0.58)

АО «ДАЛУР» – 20 ЛЕТ УСПЕХА



Н. А. ПОПОНИН,
генеральный директор
poponin.n.a@dalur.ru



Н. И. ЛУЦЕНКО
начальник производственного отдела – заместитель
директора по производству



О. В. ХАЛЕЦКАЯ,
руководитель лицензионной группы

АО «Далур» Уксаянское, Россия

Введение

В 2021 г. отмечает свое 20-летие АО «Далур» – современное перспективное высокотехнологичное, экономически эффективное предприятие скважинного подземного выщелачивания урана из руд гидрогенных месторождений в Курганской области (рис. 1) [1–3].

История развития предприятия

1977 г. – принято решение Первого Главного управления Министерства геологии СССР и Первого Главного управления Министерства среднего машиностроения СССР о проведении геологоразведочных работ в Курганской области.

1979 г. – Юрской ГРП-71 ГП «Урангеологоразведка» открыто Далматовское месторождение урана в Далматовском районе Курганской области.

1998 г. – ФГУП «ВНИПИпромтехнологии» разработано и прошло госэкспертизу «ТЭО строительства предприятия по отработке Далматовского месторождения урана методом скважинного подземного выщелачивания (СПВ)».

1982–1985 гг. – проведены предварительная разведка и полупромышленный опыт подземного выщелачивания урана на месторождении Далматовское, доказана пригодность месторождения для отработки методом СПВ.

1985 г. – цехом № 11 ОАО «Малышевское рудоуправление» начаты опытно-промышленные работы на Центральной залежи Далматовского месторождения по добыче урана методом СПВ.

Показаны история развития, современное состояние, производственная инфраструктура, инновационная деятельность АО «Далур». Приведен перечень мероприятий, обеспечивающих производственную и экологическую безопасность первого в России предприятия, ведущего добычу урана из руд гидрогенных месторождений Зауральского урановорудного района методом скважинного подземного выщелачивания.

Ключевые слова: уранодобывающее предприятие, скважинное подземное выщелачивание, производственная инфраструктура, производственная безопасность, инновации, экология.

1987 г. – Тургайской ГРП-89 ГП «Урангеологоразведка» открыто Добровольное месторождение урана в Звериноголовском районе Курганской области.

1991 г. – Юрской ГРП-71 ГП «Урангеологоразведка» открыто Хохловское месторождение урана в Шумихинском районе Курганской области.

2001 г. – зарегистрировано ЗАО «Далур», учредителями выступили ОАО «ТВЭЛ» и ФГУП «Урангео». Основная цель деятельности предприятия – производство сырья для обеспечения атомной энергетики ядерным топливом.

2004 г. – получена лицензия на изучение Хохловского месторождения.

2006 г. – произведен пуск в эксплуатацию цеха переработки продуктивных растворов на центральной производственной площадке АО «Далур».

2007 г. – в рамках реструктуризации атомной отрасли АО «Далур» передано в управление АО «Атомредметзолото».

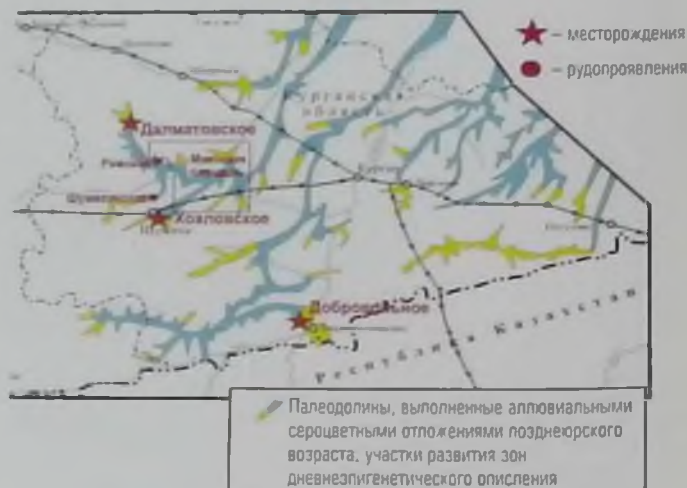


Рис. 1. Гидрогенные урановые месторождения и рудопроявления Зауральского урановорудного района в Курганской области



(Горнорудный дивизион Госкорпорации «Росатом»). В ноябре 2007 г. начаты опытные работы на Хохловском месторождении.

2008–2009 гг. — проведена геологоразведка на Хохловском месторождении, введены в эксплуатацию технологические скважины.

2007–2013 гг. — построены локальные сорбционные установки (ЛСУ) «Западная» и «Усть-Уксянская» для промышленного освоения Западной и Усть-Уксянской залежей Далматовского месторождения, проведена модернизация ЛСУ Хохловского месторождения и ЛСУ «Усть-Уксянская» с целью увеличения их производительности.

2010 г. — внедрен метод интенсификации СПВ с применением окислителя (нитрита натрия) в промышленных масштабах [4], получено положительное заключение по технико-экономическому обоснованию временных кондиций на месторождение Хохловское.

2012–2014 гг. — успешное завершение опытных работ по попутному извлечению скандия и редкоземельных металлов из маточных растворов подземного выщелачивания, завершение монтажа суши готовой продукции в Главном технологическом корпусе переработки продуктивных растворов на Центральной производственной площадке.

2015–2017 гг. — организация опытно-промышленных работ по попутному извлечению скандия из маточных растворов подземного выщелачивания.

2017 г. — получена лицензия на геологическое изучение месторождения Добровольное.

2017–2020 гг. — организовано высокотехнологичное производство попутно с ураном алюмоскандиевой лигатуры и оксида скандия.

2020 г. — завершены полевые геологоразведочные работы на месторождении Добровольное. Получено положительное заключение Государственной экспертизы на проектную документацию «Опытно-промышленный участок скважинного подземного выщелачивания урана на Добровольном месторождении АО «Далур».

Современное состояние АО «Далур»

Сегодня АО «Далур» добывает порядка 600 т урана в год и активно осваивает новые месторождения. Созданная

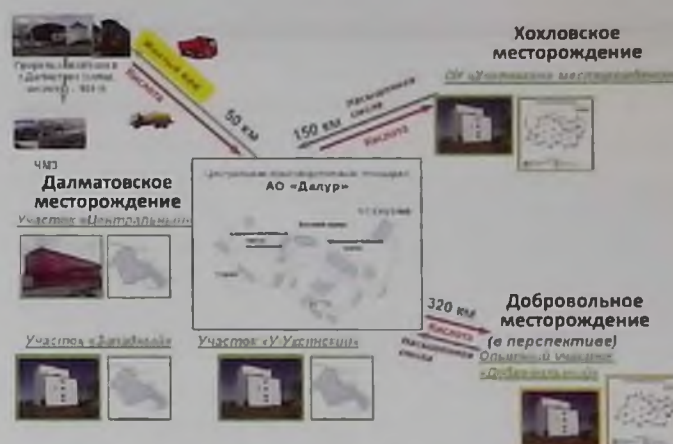


Рис. 2. Схема размещения производственных площадок АО «Далур»

инфраструктура и имеющаяся материально-сырьевая база предприятия обеспечивают надежную основу для реализации перспективных планов на период до 2045 г.

Действующая инфраструктура добычного комплекса предприятия имеет пять производственных площадок, удаленных друг от друга на расстояние от 6 до 100 км (**рис. 2**):

1. Центральная производственная площадка (ЦПП) располагается в 6 км на северо-восток от с. Уксянское. ЦПП является основной площадкой производства АО «Далур», куда с трех залежей Далматовского месторождения (Восточная, Центральная и Южная) поступает продуктивный урансодержащий раствор, который здесь же в Главном технологическом корпусе (ГТК) перерабатывают в готовый продукт (концентрат природного урана). Дополнительно с трех локальных сорбционных установок в ГТК поступает на переработку насыщенный сорбент.

2. ЛСУ «Западная» расположена в 6 км от ЦПП и 8 км северо-восточнее с. Уксянское, где осуществляют добычные работы и работы по концентрированию урана на сорбент с 14 блоков Западной залежи Далматовского месторождения.

3. ЛСУ «Усть-Уксянская» расположена в 7 км от ЦПП и 10 км южнее с. Уксянское, где проводятся аналогичные работы с трех



Рис. 3. Здание главного технологического корпуса

запелей Далматовского месторождения: Усть-Уксянская, Средне-Уксянская и Нижне-Уксянская (рис. 4)

4 Прирельсовая база располагается на территории г. Далматово в 37 км от ЦПП. Основное назначение — получение материалов и химических реагентов и отправка готовой продукции по железной дороге.

5 Опытный участок Хохловского месторождения, включающий в себя добычные полигоны и ЛСУ, расположен в Шумихинском районе южнее г. Шумиха и в 81 км от ЦПП. В настоящее время на Хохловском месторождении ведутся работы на двух залежах: Западная и Центральная. В перспективных планах вскрытие, подготовка запасов и ввод в эксплуатацию еще трех залежей: Восточной, Дальневосточной и Дюрягинской.

Основной особенностью добычи урана методом СПВ является растворение и перевод урана в подвижное состояние в недрах, на месте залегания, без выемки руды, путем искусственно создаваемого напорного градиента и принудительной циркуляции выщелачивающих растворов в водоносном рудовмещающем горизонте в направлении от закачных скважин к откачным. Последующей технологической операцией является извлечение полезного компонента через откачные скважины в составе продуктивных растворов на поверхность и их переработка на технологической установке с получением конечной продукции.

АО «Далур» — инновационное предприятие

По сравнению с обычными горными (подземным или открытым) способами добычи подземное выщелачивание имеет следующие преимущества:

- замена горных выработок закачными и откачными скважинами, в результате чего персонал не контактирует с радиоактивными урановыми рудами;
- отсутствие необходимости транспортирования руды, ее дробления, измельчения, обогащения и др.;
- отсутствие необходимости строительства и эксплуатации хвостохранилищ;
- сохранение в ненарушенном состоянии земной поверхности;
- возможность более полно автоматизировать технологические процессы;
- коренное улучшение санитарно-гигиенических условий труда;
- резкое сокращение объемов промышленного и гражданского строительства;
- значительное сокращение сроков ввода в эксплуатацию и освоения промышленных мощностей;
- замкнутый технологический цикл растворооборота;
- существенное уменьшение загрязнения окружающей среды;
- снижение себестоимости получения конечной продукции и значительное повышение производительности труда.

С 2004 г. совместно со специалистами Северской государственной технологической академии (ныне — Северский технологический институт НИЯУ МИФИ) разрабатывается комплексная информационно-аналитическая система для автоматизации расчетов, управления, хранения и анализа данных добычного комплекса [3, 5, 6]. Система позволяет осуществлять сбор, ввод, редактирование геотехнологических данных различных типов, контролировать и анализировать введенные данные, протоколировать работу с ними, оценивать их достоверность, хранить данные, рассчитывать значения требуемых геотехнологических параметров на основе введенных данных; контролировать результаты оценок, обеспечивать оперативность и наглядность представления данных с помощью различных способов визуализации (планы, схемы, графики, таблицы и др.),



Рис. 4. ЛСУ «Усть-Уксянская»

выполнять анализ и экспертную оценку данных, представлять документацию и отчеты по заданной форме, дифференцировать уровень доступа к просмотру, редактированию и обработке данных, готовить исходные данные для проведения геотехнологических расчетов.

Созданное программное обеспечение реализовано на основе клиент-серверной технологии, работает в многопользовательском режиме, обеспечивает необходимыми данными для проведения моделирования процессов подземного выщелачивания и управление ими на более качественном уровне.

В 2014 г. информационно-аналитическая система введена в эксплуатацию и в настоящее время в рамках программы по цифровизации производства в АО «Далур» реализуется проект «Готовый полигон», который позволит контролировать основные технологические показатели работы добычных полигонов в режиме реального времени, обеспечить качество и оперативность подготовки управленческих решений, повысить производительность труда и экономическую эффективность отработки месторождений.

Научные исследования на предприятии проводят ведущие институты России. Уральский федеральный университет, ИГЕМ РАН, АО «ВНИИХТ», АО «ВНИПИпромтехнологии», ФГУП ВИМС и др.

АО «Далур» обеспечивает безопасную эксплуатацию месторождений

В рамках выполнения основных производственных задач, реализуя политику экологического менеджмента, предприятие постоянно проводит работу по обеспечению охраны здоровья персонала и населения, снижению воздействия на окружающую среду, стремится к тому, чтобы его деятельность была не только безопасной, но и открытой для общества, расширяет уровень осведомленности населения о своей деятельности и всегда готово к диалогу [7–11].

АО «Далур» находится в тесном взаимодействии с органами государственной власти и местного самоуправления. На предприятии регулярно проводятся проверки государственными надзорными органами.

За все время деятельности предприятия не зарегистрировано ни одного случая профессионального заболевания. На предприятии более 10 лет отсутствуют случаи травматизма.

С 2012 г. в АО «Далур» внедрены и функционируют системы менеджмента качества (СМК) и экологического менеджмента (СЭМ) в соответствии с международными стандартами ISO 9001:2015 и ISO 14001:2015. Для подтверждения работы систем представители сертифицированного органа ежегодно проводят инспекционные аудиты.

В соответствии с вышеуказанными стандартами на предприятии реализуется политика в области качества и экологии, где основными принципами являются:

- удовлетворение потребностей заказчиков при обязательном соблюдении уровня качества выполняемых работ и производимой продукции, обеспечивающих экономическую эффективность и всестороннюю безопасность производства;



Буровые работы на Далматовском месторождении



Отделение фильтрации и сушки УППР

- соблюдение законодательных требований и норм по вопросам охраны окружающей среды и радиационной безопасности населения;
- соблюдение технологических норм при ведении производственных процессов;
- соблюдение требований безопасности при сборе, хранении и транспортировании отходов производства;
- соблюдение нормативов выбросов загрязняющих веществ в атмосферу;
- осуществление внутреннего контроля и аудита по вопросам соблюдения нормативных экологических требований;
- ведение государственной статистической отчетности по охране окружающей среды;



Отделение сорбции и регенерации на УППР

- рациональное использование сырья, материалов, природных ресурсов;
- финансирование природоохранных мероприятий;
- планирование и реализация мер по снижению риска возникновения аварийных ситуаций и загрязнения окружающей среды, обеспечение необходимого уровня готовности сил и средств для предотвращения и ликвидации их последствий;
- повышение уровня знаний работников в области экологии для их активного участия в достижении экологических целей;
- своевременное и всестороннее информирование персонала, государственных и муниципальных органов и общественности о деятельности предприятия в области охраны окружающей среды.

АО «Далур» – социально ориентированное предприятие

АО «Далур» является социально ответственной компанией и рассматривает благотворительную помощь и участие в социальных мероприятиях как обязательную часть своей деятельности. АО «Далур» уделяет значительное внимание вопросам социально-экономического и инфраструктурного развития территорий Далматовского, Шумихинского и Звериноголовского районов. Программа благотворительной деятельности АО «Далур» направлена на поддержку деятельности в сфере образования, физической культуры, спорта путем оказания безвозмездной финансовой помощи учреждениям: МОУ «Уксянская среднеобразовательная школа», МОУ «Новопетropавловская среднеобразовательная

школа», МОУ «Любимовская общеобразовательная школа», МДОУ «Уксянский детский сад «Рябинушка», МДОУ «Новопетropавловский детский сад № 1 «Ромашка».

Наиболее крупным проектом, реализованным в рамках социальной политики уранодобывающего предприятия, стало открытие в с. Уксянское 1 сентября 2016 г. новой школы (рис. 5), построенной по инициативе и при финансовом участии АО «Далур». Кроме школы, предприятие открыло в селе спортивный зал, при его помощи ремонтируются дороги, улучшается жилищно-коммунальная инфраструктура.



ОПУ по попутной добыче скандия



Рис. 5. Открытие школы МКОУ «Уксянская СОШ» в 2016 г.

В ближайшем будущем АО «Далур» ставит перед собой не менее амбициозные задачи по дальнейшему развитию производства, непрерывному совершенствованию технологических процессов, а также поиск и внедрение инновационных технологий, включающих в себя:

- промышленное освоение Хохловского месторождения;
- строительство и запуск в работу опытно-промышленного участка СПВ урана на Добровольном месторождении;
- отработку технологии добычи урана в условиях высоконапорных, высокоминерализованных вод продуктивного горизонта и переработки продуктивных растворов с повышенным содержанием хлорид-иона;
- увеличение степени отработки запасов урана из недр до 85–90 %;
- поиск и разведку перспективных ураноносных площадей, рудопроявлений и месторождений;
- выход на промышленные объемы выпуска скандиевой продукции путем вовлечения в отработку запасов скандия

Усть-Уксянской залежи Далматовского месторождения, а также Хохловского месторождения посредством мобильных сорбционных установок;

- развитие нового бизнеса, связанного с редкоземельными металлами;
- поддержание бесперебойной работы предприятия в рамках перспективного плана развития.

Заключение

АО «Далур» является передовым предприятием в сфере добычи урана способом СПВ, деятельность которого нацелена на развитие производства, непрерывное совершенствование технологических процессов, поиск и внедрение инновационных технологий, повышение производительности труда и снижению себестоимости продукции, при этом уделяя серьезное внимание промышленной безопасности, охране труда и окружающей среды.

Библиографический список

1. Машковцев Г. А., Константинов А. К., Мизута А. К., Шумилин М. В., Щеточкин В. Н. Уран российских недр. – М.: ВИМС, 2010. – 850 с.
2. Святецкий В. С., Солодов И. Н. Стратегия технологического развития уранодобывающей отрасли России // Горный журнал. 2015. № 7. С. 68–77. DOI: 10.17580/gzh.2015.07.10
3. Геотехнология урана (российский опыт) / под ред. И. Н. Солодова, Е. Н. Камнева. – М.: КДУ, 2017. – 576 с.
4. Пат. 2572910 РФ. Способ выщелачивания урана из руд / А. А. Дементьев, Е. И. Гон-тарева, В. Н. Рычков и др.; заявл. 03.12.2013; опубл. 20.01.2016, Бюл. № 2.
5. Носков М. Д., Бабкин А. С., Дементьев А. А. и др. Инновационная технология управления разработкой месторождений урана методом подземного скважинного выщелачивания // Актуальные проблемы урановой промышленности. VII Между-нар. науч.-практ. конф. – Алматы, 2014.
6. Середкин М. В., Носков М. Д., Солодов И. Н. Использование компьютерных систем для урановых рудников скважинного подземного выщелачивания // МАЙНЕКС Цен-тральная Азия: 8-й горнопромышленный форум. – Астана, 2017.
7. Геоэкологический паспорт уранового месторождения Далматовское: отчет. – М., 1993. – 118 с.
8. Солодов И. Н. Геоэкология скважинного подземного выщелачивания урана // МАЙ-НЕКС Россия-2018: 14-й горно-геологический форум. – М., 2018.
9. Ежуров Д. О., Лаптев Ю. И., Кеслер А. Г. Моделирование геоэкологических послед-ствий разработки месторождения урана способом подземного выщелачивания // Актуальные проблемы урановой промышленности IX Между-нар. науч.-практ. конф. – Алматы, 2019.
10. Глинский М. Л., Глазголев А. В., Дрожко Е. Г., Ветров В. А., Самсонова Л. М. и др. Мето-дические рекомендации по ведению объектного мониторинга состояния недр на предприятиях Госкорпорации «Росатом» – М.: Центр содействия социально-экологическим инициативам атомной отрасли, 2010. – 192 с.
11. Нормативные материалы по ведению объектного мониторинга состояния недр на предприятиях и в организациях Госкорпорации «Росатом» – М.: Гидроспецгеоло-гия, 2010 – 64 с. 



УДК 622.342

МИНЕРАЛЬНО-СЫРЬЕВАЯ БАЗА, ПРОГРАММА И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ЗОЛОТОИЗВЛЕКАТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА «МУРУНТАУ»

К. САНАКУЛОВ, генеральный директор, проф., д-р техн. наук
Н. П. СНИТКА, главный инженер, info@ngmk.uz

ГП «Навоийский горно-металлургический комбинат», Навои, Узбекистан

Введение

Основной сырьевой базой золотодобычи крупнейшего золотоизвлекающего комплекса «Мурунтау» является разрабатываемое с 1967 г. открытым способом одноименное месторождение, а также ряд других перспективных средних и мелких залежей, находящихся в его обрамлении (Мютенбай, Бесапантау, Чукуркудук, Балпантау и др.). Все они относятся к золото кварцевому геолого-промышленному типу и характеризуются высоким извлечением золота при переработке руды по гравитационно-сорбционной схеме.

Месторождение Мурунтау — самое крупное из известных на Евразийском континенте, относится к числу мировых гигантов. Выявление этого месторождения международной геологической общественностью признано величайшим открытием второй половины двадцатого столетия в области золотодобычи. Объект входит в состав одноименного рудного поля, общий потенциал которого оценен более чем в 4,5 тыс. т золота [1–3].

Рудоносные структуры месторождения вскрыты серией скважин на глубинах до 1000–1500 м. Сверхглубокими структурными скважинами на глубине до 2500 м отмечены промышленные содержания золота. Прогнозные ресурсы оцениваются более чем в 2 тыс. т драгоценного металла.

Геологическая оценка запасов

Месторождение Мурунтау было открыто в 1958 г. геологами Ю. Хромышкиным и П. Мордвицевым в результате металлогенических поисковых работ. С 1967 г. на месторождении осуществляют добычу открытым способом, а геологоразведочные работы продолжают и по настоящее время.

На первом этапе изучения (1958–1963 гг.) месторождение Мурунтау было отнесено к жильному типу, поэтому рассматривалось и разведывалось как система золотоносных кварцевых жил. Оцененные запасы не обеспечивали его рентабельную разработку в сложных природно-климатических условиях. Однако дальнейшими поисково-разведочными работами была установлена золотоносность вмещающих пород, имеющих вкрапленную и прожилковую минерализацию и насыщенных разноориентированными кварцевыми прожилками, что послужило основой для изменения представлений о морфологии и структуре месторождения. В предложенной Г. Касавченко модели (1963 г.) оно рассматривалось как крупный, неправильной формы штокверк, вытянутый в субширотном направлении.

Штокверковая модель месторождения оказалась весьма конструктивной, что проявилось в первую очередь в изменении методики геологоразведочных работ, переориентированных «на массу» штокверка, и значительном увеличении запасов.

Запасы, утвержденные для карьера «Мурунтау» по состоянию на апрель 1969 г., были подсчитаны методом вертикальных сечений по

Освещен полувековой опыт отработки крупнейшего в мире золоторудного месторождения Мурунтау. Приведен анализ минерально-сырьевой базы золотоизвлекающего комплекса и на основании его результатов представлена программа развития одного из крупнейших предприятий Навоийского горно-металлургического комбината.

Ключевые слова: месторождение Мурунтау, золотоизвлекающий комплекс, минерально-сырьевая база, анализ состояния, перспективы развития

DOI: 10.17580/gzh.2021.05.02

данном опробования геологоразведочных скважин до глубины 350 м, пробуренных по сети 80×60 м. Они послужили основой для проектирования первой и второй очередей карьера «Мурунтау», однако значительно отличались от прогнозных показателей и имели достаточно обоснованные предпосылки для увеличения. Поэтому одновременно с развитием первой очереди карьера интенсивно вели разведку флангов и глубоких горизонтов месторождения.

Полученный прирост запасов и остатки запасов второй очереди были положены в основу разработки в 1973 г. ТЭО третьей очереди карьера «Мурунтау», а в 1976 г. был разработан проект третьей очереди карьера для отработки запасов в объеме 360 млн т до глубины 460 м [4, 5].

Тем не менее к 1985 г. возникла существенная необходимость в пересчете запасов месторождения, что было обусловлено:

- значительным объемом дополнительных данных по опробованию новых разведочных скважин и подземных выработок, расширивших представление о границах месторождения;
- большим объемом информации по эксплуатационному опробованию, позволяющей сопоставить результаты первоначального подсчета запасов с фактически отработанными запасами и при необходимости внести соответствующие коррективы в методику подсчета;
- несоответствием принятого метода подсчета запасов для технологии отработки месторождения горизонтальными слоями (уступами).

В результате выполненного в 1985 г. подсчета прирост запасов балансовых руд составил 131,5 млн т, т. е. сырьевая база месторождения увеличилась с 269 млн т (подсчет запасов по состоянию на 01.04.1969 г.) до 400,5 млн т. При этом важно отметить, что выполненный 35 лет назад подсчет запасов методом горизонтальных сечений позволил адаптировать запасы к технологии открытых горных работ [6].

В 1992 г. на базе этих запасов совместно со специалистами АО «ВНИПИпромтехнологии» было выполнено ТЭО строительства четвертой очереди карьера. В соответствии с ТЭО предусматривалась отработка запасов до глубины 560 м с последующим переходом на подземные горные работы (отработка месторождения до глубины 950–1000 м).

Следующим этапом развития методов оценки сырьевой базы ГМЗ-2 явилось использование компьютерных технологий обработки геологической информации. Эти работы были завершены в 1998 г. построением блочной математической модели месторождения

и подсчетом его запасов. Работа была выполнена с использованием прогрессивной на тот период компьютерной технологии, не применявшейся ранее в мировой практике.

В результате выполненных работ получена значительно более надежная оценка сырьевой базы месторождения, которая была использована для проектирования IV очереди карьера «Мурунтау».

В период с 2007 по 2014 г. в связи с достижением проектной отметки IV очереди объемы добычи и качество балансовых руд в карьере ежегодно уменьшались и в 2016 г. практически достигли проектных контуров IV очереди.

Протоколами ГКЗ по состоянию на январь 2008 г. утверждены балансовые запасы руды (для открытых работ) на месторождении Мурунтау и на месторождении Мютенбай, кондиции для которых обоснованы при цене на золото 300 долл./т. Таким образом, интенсификация производства и изменение цены на золото к 2016 г. с момента утверждения кондиций более чем в 3,5 раза потребовали переоценки сырьевой базы золотодобывающего комплекса «Мурунтау».

Перспективы развития открытых горных работ

Для определения дальнейших перспектив развития открытых горных работ на месторождениях Мурунтау–Мютенбай в 2016 г. была разработана концепция поэтапного вовлечения в отработку геологических объектов с учетом приоритетов и передислокации оборудования.

Разработанная на основе многовариантных технико-экономических расчетов программа по обеспечению сырьевой базы ГМЗ-2 и дальнейшему освоению месторождения Мурунтау–Мютенбай предусматривала:

- пересмотр действующих кондиций в направлении понижения бортового содержания, что обусловлено изменением цены на полезный компонент более чем в три раза и пересчетом запасов;
- отработку запасов всех месторождений открытым способом;
- поэтапное развитие горных работ на карьере «Мурунтау–Мютенбай»:
- работа в контурах IV очереди (до 2019 г.);
- переходный период, т. е. доработка запасов IV очереди (2020–2028 гг.);
- работа в контурах карьера V очереди (2035–2050 гг.);
- уточнение запасов в контурах прогнозной VI очереди с учетом сложившихся на тот момент горнотехнических и экономических условий их отработки;
- вовлечение в отработку запасов месторождений Беслантау, Тамдыбулак и Балпантау в периоды снижения объемов добычи золоторудного сырья из карьера «Мурунтау–Мютенбай» ниже требуемого уровня (с 2020–2023 гг.).

В марте 2017 г. постановлением Президента Республики Узбекистан была утверждена «Программа дополнительных мер по увеличению производства драгоценных металлов на ГП «Навоийский ГМК» до 2026 года», в основу которой положена концепция обеспечения сырьем ГМЗ-2, дальнейшего освоения месторождения «Мурунтау–Мютенбай», Беслантау, Балпантау и Теминбулак с расширением перерабатывающих мощностей ГМЗ-2 к 2024 г. до 50 млн т. Кроме того, программой предусматривается строительство завода ГМЗ-7 для переработки техногенных отходов кучного выщелачивания, объем которых на начало 2021 г. составляет более 310 млн т.

Совершенствование обогащательного передела

Переработку золотосодержащих руд на ГМЗ-2 осуществляют по гравитационно-сорбционной технологии, ставшей классической при обогащении золотокварцевых руд. Совершенствование

технологических процессов и аппаратного оформления схемы переработки в направлении роста производительности, повышения извлечения золота, а также комплексности использования сырья является важным аспектом совершенствования производства на предприятии и снижения себестоимости выпускаемой продукции [7–10].

Для повышения производительности рудоподготовительного передела завода разработана и внедрена усовершенствованная схема измельчения, предусматривающая замену насосов во второй стадии измельчения на более производительные и установку дополнительных гидроциклонов. Проведенная модернизация 26 мельничных блоков позволила повысить производительность по переработке руды на ГМЗ-2 с 38,7 до 41,2 млн т в год.

Проектом по расширению перерабатывающих мощностей ГМЗ-2, включенных в инвестиционную программу развития, предусматривается строительство пяти дополнительных высокопроизводительных мельничных блоков на базе ММС-90×30 и МШЦ-55×75. При этом использование и апробация усовершенствованной схемы измельчения на 29-м и 30-м мельничных блоках обеспечивает достижение производительности не менее 2,5 млн т в год на каждом блоке. Таким образом, внедрение усовершенствованной схемы измельчения позволит обеспечить производительность завода не менее чем 51 млн т в год вводом в эксплуатацию четырех мельничных блоков (вместо запланированных пяти), что существенно снизит затраты на реализацию проекта.

В 2020 г. на ГМЗ-2 была внедрена схема по переработке хвостов доводочного отделения узла гравитации (концентрационных столов второй и четвертой перекисток) в отдельном цикле. Реализация схемы позволила уменьшить потери золота с хвостами сорбционного цианирования и обеспечить общее извлечение металла из руды на уровне 89–90 % даже в условиях снижения содержания золота в исходной руде.

Последние годы специалисты комбината уделяют большое внимание комплексной переработке сырья. В результате уже начато внедрение технологии доизвлечения серебра из сбросных растворов регенерации ионообменных смол.

Кроме того, содержание вольфрама в перерабатываемой руде месторождения Мурунтау составляет 0,005–0,04 %. При гравитационном обогащении руд на ГМЗ-2 минералы вольфрама концентрируются в соответствующих продуктах обогащения, где их концентрация повышается до 0,12–0,4 %, что предопределяет возможность попутного извлечения. При проведении комплекса лабораторных исследований разработана комбинированная гравитационно-флотационная схема попутного получения кондиционного вольфрамового ангидрида для твердых сплавов. Необходимо отметить, что в начале 1980-х годов специалисты комбината пытались получить вольфрамовый ангидрид гидрометаллургическим способом.

Перспективы развития золотодобывающего комплекса

Для безусловного выполнения вышеуказанного постановления Президента на основе геолого-математической модели месторождений Мурунтау и Мютенбай с применением геолого-информационных систем по заданным технико-экономическим параметрам работниками Навоийского ГМК совместно со специалистами АО «ВНИИ-промтехнологии» выполнены многовариантные расчеты параметров карьеров при цене на золото 1000 и 1200 долл. за тонну. На основе проведенных расчетов разработан совмещенный календарный график с последующим вовлечением в отработку месторождений Беслантау, Тамдыбулак и Балпантау, расположенных вблизи ГМЗ-2 [11].

Для стабилизации выпуска золота на ГМЗ-2 и обеспечения стабильной работы ГМЗ-7 в 2020 г. специалистами НГМК были



Рис. 1. Схема расположения объектов сырьевой и перерабатывающей базы золотозвлекательного комплекса «Мурунтау»

рассмотрены варианты с вовлечением в отработку месторождений Чукуркудук и Турбай (рис. 1).

Для определения перспектив развития открытых горных работ на месторождениях Мурунтау–Мютенбай после 2060 г. выполнено построение дополнительной оптимизированной финальной формы карьера при цене на золото 1500 долл. за тонну.

Контуры рассматриваемого карьера охватывают практически все запасы, учитываемые детальной разведкой месторождений по состоянию на начало 2020 г., включая все утвержденные запасы, предназначенные для открыто-подземной отработки.

Кроме того, рассматривали результаты поисковых работ «Поиски золота и других полезных ископаемых на глубинах (до 2000 м) горизонтах северо-восточной части Мурунтауского рудного поля посредством бурения скважин МС-1, МС-2, МС-3 и МС-4 в период 1988–1993 годов». Бурение скважин МС-1, МС-2 и МС-3 преследовало цель подтверждения промышленного золотого оруденения от месторождения Мурунтау в восточном направлении. Скважины полностью выполнили свою задачу – пересекли рудоносные образования с интервалами кондиционного промышленного оруденения.

Скважина МС-4 пробурена между месторождениями Мурунтау и Беслантау с целью вскрыть новую рудоносную позицию между ними. Скважина подтвердила наличие такой позиции в интервале 148–680 м, где пересекла ореол золотопродуктивных новообразований с непромышленным содержанием золота (рис. 2).

Таким образом, дальнейшая эффективная отработка объединенного месторождения Мурунтау–Мютенбай обеспечивается не только запасами V очереди, но и ресурсами VI и последующих очередей объединенного месторождения с расширением в восточном направлении (рис. 3) для стабильной работы ГМЗ-2 до 2130–2150 гг. [12, 13].

Ухудшение горно-геологических и горнотехнических условий освоения месторождений в сочетании с истощением запасов близлежащих месторождений к 2060 г. заставляет обратить пристальное внимание на отходы горноперерабатывающего производства. Ситуация складывается таким образом, что через определенное время оставшиеся запасы месторождений Мурунтау и Мютенбай не смогут обеспечить работу завода ГМЗ-2 на достигнутом уровне, поэтому объемы переработки руды начнут уменьшаться. В то же время при освоении этих месторождений накоплено сегодня и будет получено в будущем значительное количество золотосодержащих отходов добычи. Настало время оценить возможность их использования

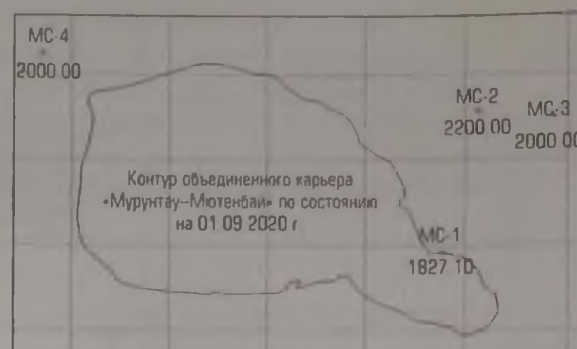


Рис. 2. Схема расположения геолого-поисковых скважин МС

в качестве резервного сырьевого источника в будущем (техногенные месторождения) [14].

Для этого необходимо:

- оценить ситуацию, сложившуюся с образованием отходов в горноперерабатывающем производстве и формированием техногенных месторождений;
- разработать программу вовлечения в переработку отходов горноперерабатывающего производства и освоения техногенных месторождений;
- разработать график освоения техногенных месторождений.

Отходы горноперерабатывающего производства на базе месторождения Мурунтау представляют наибольший интерес, обусловленный тем, что от эффективности работы этого комплекса зависит социально-экономическая ситуация во всем регионе. Эти отходы включают запасы забалансовых руд и объемы вскрышных пород, хвостов переработки рудной массы методом кучного выщелачивания.

На разных этапах освоения месторождения как забалансовую складировали руду карьера «Мурунтау» с разным содержанием золота: сначала менее 2 г/т, затем менее 1 г/т, а с 2017 г. – от 0,4 до 0,5 г/т. К вскрышным породам относили горную массу со следующим содержанием золота: сначала менее 1,5 г/т, затем менее 0,5 г/т, а в настоящее время – менее 0,4 г/т [15].

Следует отметить, что забалансовую руду и горную массу всегда складировали раздельно. При этом по мере увеличения производительности ГМЗ-2 забалансовые отвалы с содержанием золота более 0,5 г/т переведены в разряд балансовых и вовлечены в переработку.

Вскрышные породы, накопленные в отвалах за 54 года существования карьера «Мурунтау», сегодня представляют отходы горного производства. Эти отвалы сформированы из пород внешней и внутренней вскрыши. Породы внешней вскрыши размещены за внешними границами рудных залежей. Содержание золота в таких породах составляет в среднем 0,15 г/т, породы внутренней вскрыши располагаются внутри рудных залежей. Содержание золота в них в среднем на 26 % меньше его содержания в товарной руде самого низкого сорта. Часть пород внутренней вскрыши с января 2009 г. выделена в отдельный грузопоток с формированием специальных складов. При этом следует отметить, что неизбежно потерянная при добыче балансовая руда попадает в породы внутренней вскрыши, в результате чего содержание в них золота повышается. За время существования в отвалах карьера «Мурунтау» на начало 2021 г. накоплено 2,66 млрд т вскрышных пород. Эти отвалы формировали с использованием автомобильного и конвейерного транспорта из пород внешней и внутренней вскрыши, которые смешивались друг с другом

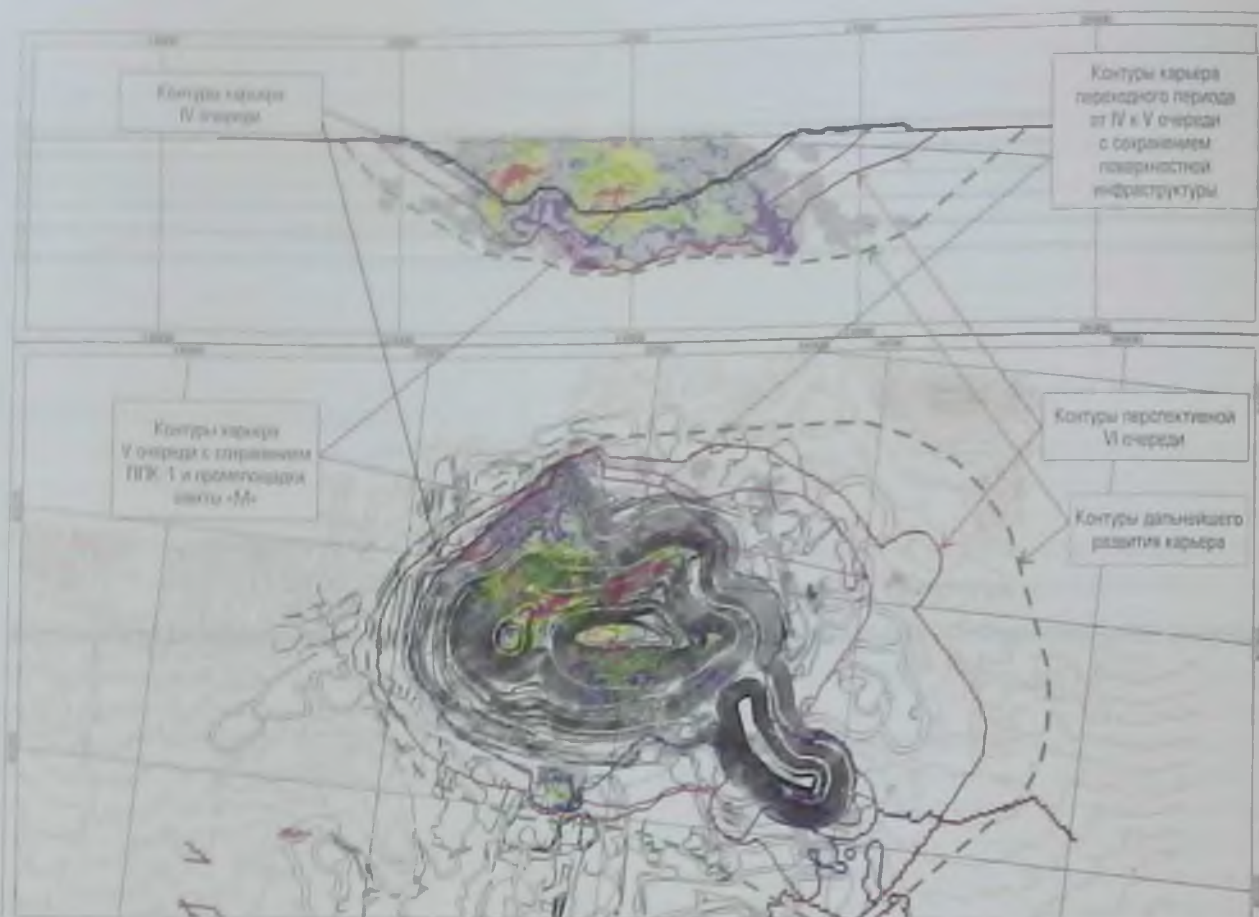


Рис. 3. Перспективное развитие работ на карьере «Мурунтау-Мютенбай»

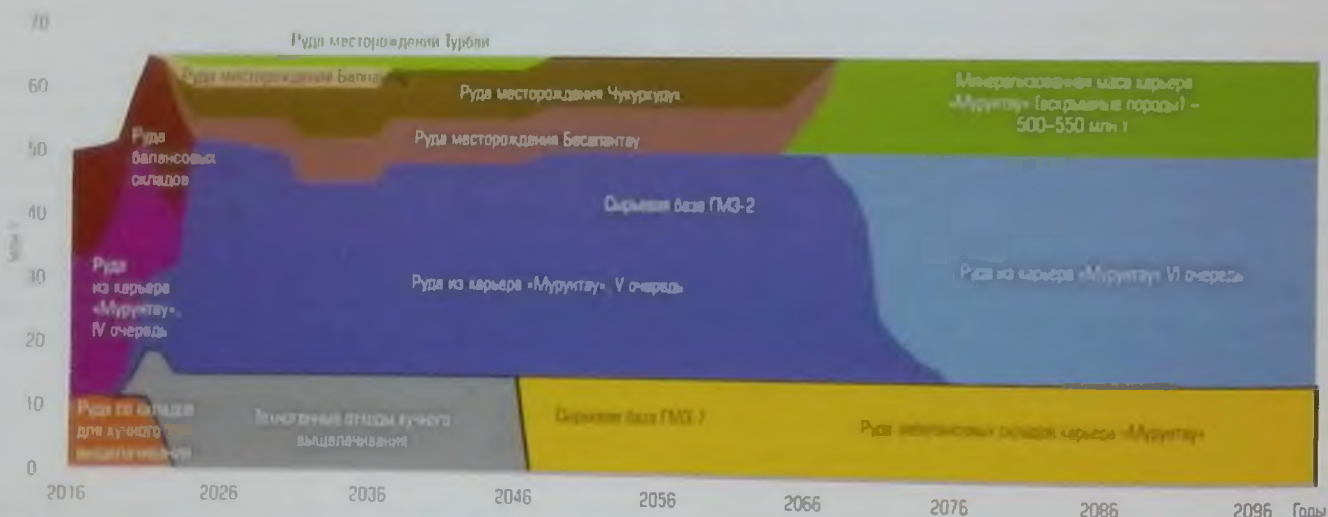


Рис. 4. Схема изменения структуры перерабатываемой руды на золотоизвлекательном комплексе «Мурунтау»

в произвольном соотношении. При этом известно, что среднее содержание золота в таких отвалах составляет 0,2 г/т.

Интерес к отвалам вскрышных пород как к резервному источнику сырья проявлен в 1998 г., когда впервые было оценено распределение содержания золота в уложенной горной массе. Однако системную работу в этом направлении начали в 2008 г. с обработки накопленных горно-геологических материалов и проведения поверхностного опробования на характерном отвале, в качестве которого выбран один из отвалов комплекса ЦПТ [16]. Обработка полученных результатов позволила сделать следующие предварительные выводы.

- автомобильные и конвейерные отвалы вскрышных пород представляют собой типичные техногенные месторождения;
- характер распределения золота в техногенных месторождениях соответствует характеру его распределения того месторождения природного происхождения, при освоении которого они сформированы;
- в техногенных месторождениях при бортовом содержании 0,5 г/т сосредоточено примерно 15–20 % горной массы со средним содержанием, достаточным для ее экономически выгодной переработки; эту горную массу можно рассматривать в качестве резервного источника сырьевых ресурсов ГМЗ-2 на период после 2060 г.

В хвостах кучного выщелачивания на начало 2021 г. накоплено более 310 млн т отходов переработки со средним содержанием, достаточным для их экономически выгодной переработки по заводской технологии. В перспективе с учетом годового прироста более 10 млн т количество таких отходов может достигнуть ~350 млн т, что обеспечит работу ГМЗ-7 до 2046 г. Кроме того, сегодня при добыче руды на карьере «Мурунтау» формируют забалансовые склады ежегодно в объеме более 14 млн т со средним содержанием от 0,44 до 0,46 г/т, что в будущем позволит обеспечить сырьевую базу ГМЗ-7 до 2100 г. и далее (рис. 4)

Заключение

Таким образом, оценка запасов золотосодержащих руд и план развития золотоизвлекательного комплекса «Мурунтау» за счет расширения объединенного месторождения Мурунтау–Мютенбай посредством не только V очереди, но и последующих очередей позволяют прогнозировать стабильную работу этого комплекса на период до 2130–2150 гг.

Библиографический список

1. Санакулов К. Эффективное использование техногенных отходов при кучном выщелачивании золота. – Навои. Типография НГМК, 2021. – 379 с.
2. Санакулов К. С. Навоийский горно-металлургический комбинат – лидер горнодобывающей отрасли Узбекистана // Горный журнал. 2018. № 9. С. 4–9.
3. Месторождение Мурунтау в Узбекистане второй год подряд стало мировым лидером по добыче золота. 2021. URL: <https://www.trend.az/casia/uzbekistan/3391777.html> (дата обращения: 15.04.2021).
4. Снитка Н. П., Раимжанов Б. Р., Наимова Р. Ш. Обоснование направлений рационального использования пространственных техногенных ресурсов глубоких карьеров // Горные науки и технологии. 2018. № 1. С. 59–71.
5. Рузиев Н. Р. Особенности формирования инвестиционной программы на 2020–2022 гг. по ГП «НГМК» // Горный вестник Узбекистана. 2020. № 1. С. 116–119.
6. Хамроев И. О. Состояние золоторудной минерально-сырьевой базы Навоийского ГМК // Горный журнал. 2018. № 9. С. 22–32. DOI: 10.17580/gzh.2018.09.01
7. Mohammadi E., Pourabdoli M., Ghoheiti-Hasab M., Heidarpour A. Ammoniacal thiosulfate leaching of refractory oxide gold ore // International Journal of Mineral Processing. 2017. Vol. 164. P. 6–10.
8. Ghasemi S., Mohammadnejad S., Khalesi M. R. A DFT study on the speciation of aqueous gold and copper cyanide complexes // Computational and Theoretical Chemistry. 2018. Vol. 1124. P. 23–31.
9. Yang T., Rao S., Liu W., Zhang D., Chen L. A selective process for extracting antimony from refractory gold ore // Hydrometallurgy. 2017. Vol. 169. P. 571–575.
10. Wang Y., Xiao L., Liu H., Qian P., Ye S., Chen Y. Acid leaching pretreatment on two-stage roasting pyrite cinder for gold extraction and co-precipitation of arsenic with iron // Hydrometallurgy. 2018. Vol. 179. P. 192–197.
11. ВНИПИГТ выполнит проект оптимизации расходов при отработке карьера Мурунтау ГП «Навоийский ГОК» / АО «ВНИПИПромтехнологии», 2020. URL: <http://www.vnipt.armz.ru/ru/kompaniya/novosti/348-ao-vnipromtehnologii-vypolnit-proekt-optimizatsii-raskhodov-pri-otrabotke-karera-muruntav-gp-navoijskij-gok> (дата обращения: 15.04.2021).
12. Снитка Н. П. Разработка методов и выбор средств формирования рудного потока при современной разработке месторождений природного и техногенного происхождения. – Бухара. Дурдона, 2015. – 142 с.
13. Верхоzin С. С. Золотодобывающая промышленность Узбекистана // Золотодобыча. URL: <https://zolotodb.ru/article/12094> (дата обращения: 15.04.2021).
14. Кадыров А. А., Санакулов К. С., Бибик И. П. Концептуальные основы стратегии инновационного развития Кызылкумского региона. – Ташкент: Изд-во «Узбекистан», 2013. – 395 с.
15. Хамроев И. О. Особенности локализации промышленных концентраций золоторудных образований месторождения Амантайтау // Горный вестник Узбекистана. 2019. № 2. С. 20–24.
16. Яковлев В. Л., Глебов А. В., Кулныяз С. С., Норова Х. Ю. Повышение эффективности циклично-поточной технологии // Горный вестник Узбекистана. 2020. № 3. С. 47–49. **□**

«GORNYI ZHURNAL», 2021, № 5, pp. 43–47
DOI: 10.17580/gzh.2021.05.02

Muruntau gold mining and refining operation: Resources, expansion program and future considerations

Information about authors

K. Sanakulov¹, CEO, Professor, Doctor of Engineering Sciences

N. P. Snitka¹, Chief Engineer, info@ngmk.uz

¹Navoi Mining and Metallurgical Combinat, Navoi, Uzbekistan

Abstract

The international geological community has acknowledged Muruntau gold deposit as the greatest discovery in the mid-to-late 20th century. Muruntau mine field holds the total appraised resource potential of more than 4.5 thousand tons of gold.

Hydrometallurgical plant GMZ-3 implements gold-ore processing by gravitational sedimentation and adsorption. The technological and instrumental modernization of the gold processing circuit toward its higher capacity, gold recovery and thoroughness are the important aspects of production improvement and cost reduction. The developed and introduced ore milling flowchart provides replacement of the second milling stage pumps by higher-capacity pumps backed up with additional cyclones.

Aiming to ensure stable gold production at plants GMZ-2 and GMZ-3, Navoi MMC's experts accomplished the feasibility study of mining operations in Chukurkuduk and Turbai deposits in 2020. The growth prospects for open pit mining in Muruntau–Myutenbai fields after 2060 are estimated using the model of optimized ultimate pit limit design at the gold price of USD 1500/l. The model ultimate pit limit embraces all probable reserves as per the detailed 2D seismic data as of early 2020, including proven reserves intended for open pit and underground mining.

The gold ore appraisal and the expansion program elaborated for Muruntau gold mining and refining integrated works in joint Muruntau–Myutenbai field, through implementation of operation phases V and further make it possible to forecast stable performance up to 2030–2050.

Keywords: Muruntau deposit, gold mining and refining, mineral reserves and resources, status evaluation, future considerations.

References

1. Sanakulov K. Efficient use of mining and processing waste in heap gold leaching. Navoi: Tipografiya NGMK, 2021. 379 p.

2. Sanakulov K. S. Navoi Mining and Metallurgical Combinat—Leader of the mining industry in Uzbekistan. *Gornyi Zhurnal*. 2018. No. 9. pp. 4–9.
3. Uzbekistan's Muruntau Is the world's top gold producer for the second year in a row. 2021. Available at: <https://www.trend.az/casia/uzbekistan/3391777.html> (accessed: 15.04.2021)
4. Snitka N. P., Raimzhanov B. P., Naimova R. Sh. Substantiation of ways for rational use of deep pit technogenic resources. *Gornye nauki i tekhnologii*. 2018. No. 1. pp. 59–71.
5. Ruziev N. R. 2020–2022 investment program for Navoi Mining and Metallurgical Combinat. *Gornyi vestnik Uzbekistana*. 2020. No. 1. pp. 116–119.
6. Khamroev I. O. Gold reserves of the Navoi Mining and Metallurgical Combinat. *Gornyi Zhurnal*. 2018. No. 9. pp. 22–32. DOI: 10.17580/gzh.2018.09.01
7. Mohammadi E., Pourabdoli M., Ghoheiti-Hasab M., Heidarpour A. Ammoniacal thiosulfate leaching of refractory oxide gold ore. *International Journal of Mineral Processing*. 2017. Vol. 164. pp. 6–10.
8. Ghasemi S., Mohammadnejad S., Khalesi M. R. A DFT study on the speciation of aqueous gold and copper cyanide complexes. *Computational and Theoretical Chemistry*. 2018. Vol. 1124. pp. 23–31.
9. Yang T., Rao S., Liu W., Zhang D., Chen L. A selective process for extracting antimony from refractory gold ore. *Hydrometallurgy*. 2017. Vol. 169. pp. 571–575.
10. Wang Y., Xiao L., Liu H., Qian P., Ye S., Chen Y. Acid leaching pretreatment on two-stage roasting pyrite cinder for gold extraction and co-precipitation of arsenic with iron. *Hydrometallurgy*. 2018. Vol. 179. pp. 192–197.
11. VNIPIGT undertakes the cost optimization project for Muruntau open pit mine of Navoi Mining and Metallurgical Combinat. VNIPIGT, 2020. Available at: <http://www.vnipt.armz.ru/ru/kompaniya/novosti/348-ao-vnipromtehnologii-vypolnit-proekt-optimizatsii-raskhodov-pri-otrabotke-karera-muruntav-gp-navoijskij-gok> (accessed: 15.04.2021).
12. Snitka N. P. Methods and means to generate ore flow in the current conditions of natural and manmade deposit mining. Buxara: Durdona, 2015. 142 p.
13. Verkhovzin S. S. Gold mining industry of Uzbekistan. *Zolotodobycha*. Available at: <https://zolotodb.ru/article/12094> (accessed: 15.04.2021).
14. Kadyrov A. A., Sanakulov K. S., Bibik I. P. Concept framework for the strategy of innovative development in the Kyzylkum region. Tashkent: Izdatelstvo «Uzbekistan», 2013. 395 p.
15. Khamroev I. O. Specifics of localizations of commercial-level gold concentrations in Amantaitau field. *Gornyi vestnik Uzbekistana*. 2019. No. 2. pp. 20–24.
16. Yakovlev V. L., Glebov A. V., Kulnyaz S. S., Norova Kh. Yu. Improving the efficiency of cyclical-flow technology. *Gornyi vestnik Uzbekistana*. 2020. No. 3. pp. 47–49.

РАЗВИТИЕ МЕТОДОВ МИКРО- И НАНОИНДЕНТИРОВАНИЯ ДЛЯ ОЦЕНКИ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ УГЛЕЙ И ИХ СКЛОННОСТИ К РАЗРУШЕНИЮ*

Е. Л. КОССОВИЧ старший научный сотрудник научно-учебной испытательной лаборатории физико-химии углей канд. физ.-мат. наук, e.kossovich@ntis.ru
НИТУ «МИСиС», Москва, Россия

Введение

Механические свойства углей определяют их поведение в процессах добычи, хранения, транспортирования и переработки и во многом обуславливают склонность к разрушению и образованию пыли. Традиционно к механическим свойствам углей относят модуль упругости, коэффициент Пуассона, модуль сдвига, прочности на растяжение и сжатие, дробимость и т. п., определяемые на специально подготовленных образцах, с использованием такого оборудования, как разрывные машины, прессы и др. Однако интегральные характеристики, полученные на макроуровне, не дают возможности получить информацию об особенностях структуры углей, определяющих механизм зарождения дефектов, приводящих впоследствии к разрушению. В связи с этим интерес представляют характеристики механических свойств углей, полученные на участках, сопоставимых с уровнями зарождения микротрещин. Методы микро- и наноиндентирования являются достаточно простыми в реализации способами получения достоверной информации о различных механических характеристиках материалов на соответствующих масштабных уровнях. Эти методы основаны на простом подходе: на поверхности образца (подготовленной специальным образом) производится вдавливание иглы с определенной формой наконечника — индентора. Обычно в качестве индентора используют пирамиды с определенной геометрией. Вдавливание проводят при фиксированной величине нагрузки, которую затем снимают (разгружают образец) и изучают вид, форму и размеры образовавшегося отпечатка. При микроиндентировании линейные размеры отпечатка (диагонали) не превышают 20–50 мкм (в зависимости от податливости исследуемого материала), а глубины внедрения составляют до нескольких десятков микрометров. При наноиндентировании размеры диагонали отпечатка не достигают 5 мкм, а глубины внедрения не превышают 1 мкм. Такие подходы хорошо апробированы при изучении широкого ряда различных материалов — от керамики до наноструктурированных композитов и покрытий нанометровой толщины.

В настоящей работе приведено описание основных результатов в области использования нано- и микроиндентирования для оценки механических свойств углей и их способности к разрушению с образованием частиц пыли.

Опыт применения микроиндентирования для оценки механических свойств углей и отдельных мацералов

Методы микроиндентирования показали свою эффективность в оценке механических свойств углей (твердости, то есть способности сопротивляться внедрению более твердого тела — алмазного

Представлен обзор современного состояния исследований по применению методов микро- и наноиндентирования для оценки механических свойств углей и их отдельных мацералов, а также способности углей к разрушению с образованием частиц пыли. На основании экспериментальных данных по наноиндентированию и Романовской спектроскопии установлены взаимосвязи между структурой органического вещества углей разных видов и стадий метаморфизма, их механическими свойствами и склонностью к разрушению.

Ключевые слова: уголь, пыль, механические свойства, разрушение, наноиндентирование, микроиндентирование, циклическое нагружение.

DOI: 10.17580/gzh.2021.05.03

индентора) и их склонности к разрушению (трещинообразованию под влиянием нагружения) еще во второй половине XX столетия. Так, в 1970-х годах на основе использования метода микроиндентирования был разработан и внедрен Государственный стандарт СССР [1], действующий по настоящее время и регламентирующий способ оценки твердости витринитов каменных углей и их способности к разрушению (в 2020 г. стандарт был пересмотрен в виде [2]). Метод реализуется путем внедрения индентора в поверхность образца при фиксированной и переменной нагрузке. После снятия нагружения определяют вид и размеры отпечатка, полученного после контакта с индентором. Механические свойства витринита каменных углей и антрацитов определяют на основе измерения диагоналей отпечатков для расчета показателя твердости, описания и подсчета числа отпечатков, содержащих трещины и сколы. Полученные характеристики, помимо механических свойств материала, зависят как от использованной при описании отпечатков оптики и разрешающей способности микроскопов, так и от качества поверхности и субъективности оператора при идентификации вида трещин. Также необходимо указать на то, что отпечатки после микроиндентирования могут частично восстанавливаться, что не дает возможности оценить истинные значения величин твердости.

Совершенствование техники микроиндентирования, а именно: развитие методов непрерывного индентирования с циклом нагружение-разгрузка (при котором в режиме реального времени автоматически фиксируют зависимость глубины внедрения индентора в образец от величины прикладываемой нагрузки, записывая кривые «нагружение — глубина внедрения»), позволило расширить число измеряемых показателей, включая более прецизионное измерение твердости образцов и определение модуля упругости и др. [3, 4]. А. Kožušniková [5] показала, что различные мацералы углей отличаются по своим механическим свойствам и способности к трещинообразованию после нагружения: витринит каменных углей обладает низкой твердостью, а мацералы группы инертинита имеют самую высокую склонность к образованию трещин, т. е. проявляют свойство

* Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (грант №18-77-10052).

© Коссович Е. Л., 2021

хрупкости. Аналогичные наблюдения были сделаны авторами [6] на серии углей, отобранных из пластов, склонных к внезапным выбросам. В статье [7] также было показано, что мацералы группы инертинита более склонны к разрушению при индентировании. В последней работе было впервые обнаружено, что механические свойства (твердость и модуль упругости) мацералов группы витринита изменяются в ряду метаморфизма, достигая максимальных значений для антрацита; для мацералов группы инертинита такой эффект не был обнаружен. Исследования антрацита на микроуровне позволило впервые установить особенности его механического поведения, близкого к упругому (было выявлено совпадение нагрузочной и разгрузочной ветвей кривой «нагружение – глубина внедрения»).

Однако использование метода непрерывного микроиндентирования накладывает ряд ограничений на размер и форму диагностируемых микрокомпонентов углей: невозможно измерить механические свойства мацералов, размеры которых меньше, сопоставимы либо хотя бы в два раза больше, чем диагональ отпечатка (около 20 мкм) [5, 7]. Более того, так как при микроиндентировании происходит контакт между индентором и поверхностью образца угля (куска с одной полированной поверхностью), а глубины внедрения достигают нескольких десятков микрометров, то влияние на измеряемые величины твердости и модуля упругости могут оказывать неоднородности (включая поры, неорганические включения и т. п.), которые расположены в глубине под подготовленной поверхностью.

Развитие методов микроиндентирования для оценки механических свойств отдельных мацералов углей в ряду метаморфизма

Для исключения вышеописанных факторов авторами [8, 9] был впервые предложен подход, в основе которого лежало микроиндентирование образцов тонких пленок углей, наклеенных на прозрачные подложки. Последнее позволило визуально оценивать степень однородности областей отдельных мацералов для индентирования. Также в силу на порядок меньшего размера зоны контакта между индентором и образцом и глубины внедрения (не более 1 мкм) стало возможным получать информацию о механических характеристиках отдельных мацералов углей. Проведенные работы позволили впервые установить, что отдельные мацералы углей различаются не только значением твердости и модуля упругости, но и механическим поведением: мацералы группы витринита проявляют свойства вязкоупругости, а мацералы группы инертинита отличаются высокой жесткостью.

В дальнейшем было показано, что использование метода микроиндентирования может быть эффективно использовано на специально подготовленных образцах аншлиф-штупов углей. На основе

прецизионных измерений и современного математического аппарата были оценены и охарактеризованы ранее полученные методами микроиндентирования различия в механических свойствах и поведении мацералов углей на микроуровне [10–13]. Предположительно, различия в механических свойствах отдельных мацералов углей связаны с особенностями их структуры.

В настоящей работе для определения влияния структуры отдельных мацералов углей на механические свойства на микроуровне были проведены исследования структурных особенностей образцов каменных углей разных стадий метаморфизма методом Рамановской спектроскопии (рис. 1). Рамановские спектры для каменных углей были получены для витринита (три кривые с наивысшей интенсивностью рассеивания) и инертинита (три кривые с наименьшей интенсивностью рассеивания, на рис. 1, б они совпадают) (см. рис. 1 а, б). На антраците съемку проводили только для витринита. Две из трех кривых полностью совпадают (см. рис. 1, в). Как видно из рис. 1, типичные Рамановские спектры для углей содержат два выраженных пика. Первый пик, соответствующий волновому числу в области приблизительно 1365 см^{-1} , называется D-пиком и указывает на наличие аморфной фазы углерода. Второй пик, обнаруживаемый в области приблизительно 1600 см^{-1} , называется G-пиком и указывает на наличие кристаллитного углерода в органическом веществе.

Результаты, представленные на рис. 1, хорошо согласуются с данными работы [14] и других статей, посвященных использованию Рамановской спектроскопии для исследования структуры углеродного вещества. Для исследованных углей ширина D-пиков максимальна для витринита каменного низкометаморфизованного угля. Это указывает на сравнительно большее содержание аморфного вещества по сравнению с графитизированными структурами. Как и ожидалось, антрацит имеет наибольшую долю графитизированных структур. Таким образом, изменение механических свойств витринитов углей в ряду метаморфизма связано с соотношением аморфной и кристаллитной фаз углерода в структуре этих мацералов. При этом необходимо отметить, что интенсивность и ширина пиков для спектров, соответствующих мацералам группы инертинита для каменных углей, сопоставимы, что хорошо согласуется с данными о сравнимости механических свойств этих мацералов для углей разных стадий метаморфизма.

Применение методов микро- и микроиндентирования для характеристики склонности углей к разрушению с образованием частиц пыли

Наибольший интерес в настоящее время вызывает проблема поиска возможных взаимосвязей между хрупкостью, механическими свойствами углей на низких масштабных уровнях и их способностью

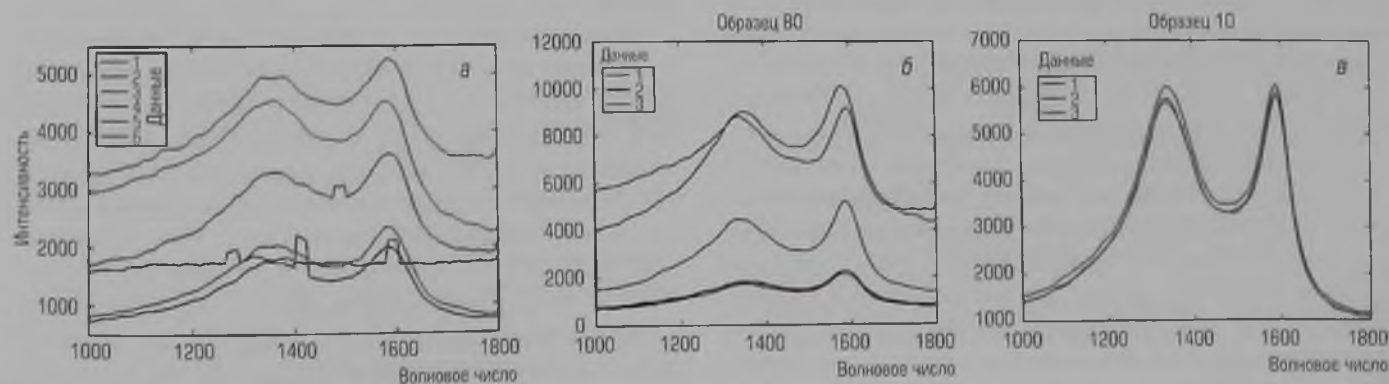


Рис. 1. Рамановские спектры углей:

а – каменный уголь низкой стадии метаморфизма; б – каменный уголь средней стадии метаморфизма; в – антрацит

«внезапным» выбросам и образованию пыли. По результатам микроиндентирования было установлено, что угли, отобранные из пластов, опасных по склонности к внезапным выбросам угля и газа, отличаются более низкими значениями твердости [6], т. е. для этих углей материалы группы витринита более податливые с позиции механического нагружения. Эксперименты по индентированию углей коническим микроиндентором позволили определить взаимосвязи между показателями, отвечающими за «хрупкость» образца угля и количества выделяемой при разрушении аэрозольной пыли [15]. В указанной статье было предложено рассматривать разрушение угля под индентором в виде формирования ядра раскрошившегося материала. Ранее аналогичное предположение было выдвинуто авторами работы [16], в которой были проанализированы данные об изменении величины модуля упругости в зависимости от глубины внедрения индентора в образец при наноиндентировании. Использование асимптотического математического анализа экспериментальных данных позволило установить, что полученные зависимости указывают на разрушение угольного вещества под индентором, т. е. на потерю сплошности материала. Основываясь на модели индентирования хрупких материалов [17], авторы статьи [18] развили ранее построенную теорию и распространили ее на угли, что позволило построить математический аппарат для оценки размеров раскрошившегося ядра угольного вещества и средних, минимальных и максимальных размеров образовавшихся при этом частиц пыли. Аналитически показано, что при механическом вдавливании индентора в образец угля раскрашивание последнего приводит к образованию частиц диаметром не более 5 мкм, в среднем около 2–3 мкм. То есть происходит генерирование частиц пыли РМ 2,5, способных удерживаться в атмосферном воздухе в течение длительного времени (до месяца и более) и опасных по потенциальным взрывам и для здоровья и жизни работников угледобывающих предприятий.

Были исследованы взаимосвязи между структурными особенностями витринита как основного связующего компонента углей и их склонностью к разрушению. Для этого были изучены угли одного пласта, но пачек, отнесенных к разным группам по потенциальной выбросоопасности [19]. Впервые было показано, что уголь, отобранный из пачки пласта, отнесенной к потенциально выбросоопасным, характеризуется неоднородной структурой витринита, в отличие от угля того же пласта, но из неопасной пачки. Исследование особенностей механических свойств этих углей было проведено методом наноиндентирования. В качестве показателей, характеризующих способность к разрушению, были выбраны величины модуля упругости (как мера жесткости материала) и показателя нарушенности R_{in} , который рассчитывают как долю энергии нагружения, потраченной на разрушение образца в зоне приложения нагрузки [19]. Наноиндентирование по сетке (с узлами-точками контакта образца с индентором) позволило построить карты распределения механических свойств (модуля упругости и показателя нарушенности) на выбранных областях витринита. Было установлено, что структурная неоднородность витринита является причиной неоднородности распределения механических свойств, характеризующих жесткость (способность сопротивляться нагружению) и показатель нарушенности (способность к разрушению) [19]. В свою очередь, последнее указывает на наличие в структуре витринита областей с аномальными свойствами (пониженной на 20 % относительно среднего значения жесткостью и повышенным до 40 % от средней величины показателем нарушенности). При этом размер таких областей не превышает нескольких микрометров. Наличие указанных зон в структуре угольного вещества (а именно витринита) может служить причиной разрушения и раскрашивания

при механических воздействиях, так как зоны с аномальными механическими свойствами являются так называемыми концентраторами напряжения, вблизи которых происходит нарушение сплошности материала и зарождаются трещины.

Однако необходимо заметить, что традиционный метод наноиндентирования не может быть использован в качестве универсального подхода для характеристики склонности углей к образованию пыли при механических и других (например окислительных) воздействиях, так как прежде всего является методом неразрушающего контроля локальных механических свойств материалов [20]. С другой стороны, образование частиц пыли (то есть разрушение) тесно связано с необратимыми изменениями, возникающими после механических воздействий на угли и другие хрупкие материалы [17, 18, 21]. Поэтому возникает необходимость использования методов, позволяющих получить «качественные и количественные показатели, характеризующие необратимые изменения в структуре угольного вещества».

Одним из наиболее эффективных способов определения способности материалов к необратимой деформации или раскрашиванию является циклическое индентирование [22–25]. Согласно этому подходу поверхность образца нагружают (с помощью индентора) до достижения заданной глубины внедрения или максимальной нагрузки, после чего проводят разгрузку. Далее на том же участке поверхности образца проводят следующий цикл нагружения-разгрузки. Число циклов определяется условиями эксперимента и возможностями прибора. Относительно характеристики способности материалов к разрушению наиболее информативный эксперимент основан на циклическом вдавливании, при котором на последующий цикл увеличивается максимальная нагрузка [23, 25]. Вывод о свойствах образцов (то есть о необратимых структурных изменениях или разрушении) делается на основании диаграмм «нагружение – глубина внедрения», например определяется наличие изломов, изменение формы отпечатка от цикла к циклу, а также различных показателей, измеренных на основе этих кривых и характеризующих потери энергии при вдавливании и разгрузке [26, 27].

Примером качественного изменения вида диаграмм «нагружение – глубина внедрения», указывающего на разрушение образца, может служить рис. 2, на котором приведены типичные графики зависимости «нагружение – глубина внедрения» при циклическом нагружении образцов неокисленного и окисленного каменного угля средней стадии метаморфизма. Кривая на рис. 2, б (для окисленного угля) характерна для хрупких керамик и композитных материалов со связанными между собой компонентами [28]. Такое изменение в механических свойствах окисленного угля также может свидетельствовать о разрушении связи между отдельными структурными элементами угольного вещества, с учетом представления о его структуре в соответствии с [29].

Также важно оценивать изменение величины модуля упругости от цикла к циклу, так как раздробленное на предыдущих циклах угольное вещество может уплотняться и препятствовать дальнейшему деформированию образца в зоне контакта и, следовательно, приводить к увеличению жесткости (то есть росту указанного показателя). К такому выводу пришли авторы [16] на основании известных данных о раскрашивании угольного вещества при однократном индентировании. Если рассматривать пример, приведенный на рис. 2, в этом случае величины модулей упругости изменялись для неокисленного образца в пределах от 5,5 до 6,09 ГПа. Для окисленного образца модули упругости росли от 5,26 до 6,36 ГПа. Выраженный рост модуля упругости в случае циклического нагружения хрупкого материала указывает на изменение механических свойств, связанное

с уплотнением образовавшихся при контакте с индентором на предыдущих циклах нагружения частиц разрушенного вещества.

На основании вышеописанных наблюдений авторами [30] была разработана методика оценки склонности углей к разрушению с образованием частиц пыли. Методика включает в себя способы подготовки образцов, выбора площадок для проведения экспериментов, условия ведения экспериментов по циклическому наноиндентированию, предложен ряд показателей, рассчитанных по экспериментальным данным. К таким показателям отнесены модуль упругости (как мера жесткости материала, то есть способности сопротивляться внешним воздействиям) и ранее введенный показатель нарушенности, характеризующий долю энергии нагружения, потраченной на разрушение образца в зоне приложения нагрузки. На основании результатов, полученных в соответствии с разработанной методикой, были выявлены значительные различия в способности к разрушению образцов антрацитов разных месторождений Российской Федерации, а также природного графита [30].

Заключение

Анализ литературных источников показал, что методы микро- и наноиндентирования являются перспективными для оценки механических свойств углей и их отдельных мацералов. Использование методов непрерывного микро- и наноиндентирования позволяет оценивать различия в механических свойствах отдельных мацералов углей и их склонностью к разрушению. Применение техники наноиндентирования дает возможность выявить отличия в механическом поведении мацералов групп витринита и инертинита. Так, картирование показателей, характеризующих механические свойства (модуль упругости, твердость), измеренных методом наноиндентирования по сетке, позволяют установить взаимосвязи между структурной неоднородностью витринита углей и их склонностью к разрушению. Использование аналитического математического аппарата при

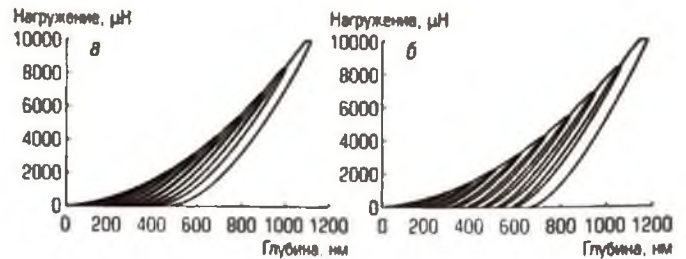


Рис. 2. Диаграммы «нагрузка – глубина внедрения», полученные при циклическом нагружении каменного угля средней стадии метаморфизма (12 циклов, 10–10000 мН): а – исходный образец; б – окисленный образец

обработке результатов наноиндентирования углей дает возможность не только устанавливать факт их хрупкого разрушения, но и оценивать размеры частиц пыли, образующейся при механическом воздействии.

На основании экспериментальных данных по наноиндентированию и Рамановской спектроскопии были установлены взаимосвязи между структурой органического вещества углей разных видов и стадий метаморфизма, их механическими свойствами и склонностью к разрушению. Показано, что изменение механических свойств (величин модуля упругости и твердости) витринита в ряду метаморфизма углей связано с увеличением доли графитизированных компонентов в органическом веществе.

Циклическое наноиндентирование с увеличивающейся максимальной нагрузкой предложено в качестве основы методики оценки склонности углей к разрушению с образованием пыли. Приведены результаты применения указанной методики для установления влияния окисления на способность углей к разрушению.

Библиографический список

- ГОСТ 21206–75. Угли каменные и антрацит. Метод определения микротвердости и микрохрупкости (с изм. № 1, 2). – М.: ИПК «Издание стандартов», 2000. – 7 с.
- ГОСТ Р 59262–2020. Угли бурые, каменные и антрацит. Метод определения микротвердости и микрохрупкости. – М.: Стандартинформ, 2020. – 12 с.
- Булычев С. И., Алехин В. П., Шоршоров М. Х., Терновский А. П., Шнырев Г. Д. и др. Определение модуля Юнга по диаграмме вдавливания индентора // Заводская лаборатория. 1975. Т. 41. № 9. С. 1137–1140.
- Oliver W. C., Pharr G. M. Measurement of hardness and elastic modulus by instrumented indentation: Advances in understanding and refinements to methodology // Journal of Materials Research. 2004. Vol. 19. No. 1. P. 3–20.
- Kožušniková A. Determination of Microhardness and Elastic Modulus of Coal Components by Using Indentation Method // Geolines. 2009. Vol. 22. P. 40–43.
- Godyń K., Kožušniková A. Microhardness of Coal from Near-Fault Zones in Coal Seams Threatened with Gas-Geodynamic Phenomena, Upper Silesian Coal Basin, Poland // Energies. 2019. Vol. 12. Iss. 9. DOI: 10.3390/en12091756
- Коссович Е. Л., Добрякова Н. Н., Эпштейн С. А., Белов Д. С. Определение механических свойств микрокомпонентов углей методом непрерывного индентирования // ФТПРПИ. 2016. № 5. С. 84–91. DOI: 10.1134/S1062739116041382
- Epshtein S. A., Borodich F. M., Bull S. J. Evaluation of elastic modulus and hardness of highly inhomogeneous materials by nanoindentation // Applied Physics A: Materials Science and Processing. 2015. Vol. 119. Iss. 1. P. 325–335. DOI: 10.1007/s00339-014-8971-5
- Бородич Ф. М., Булл С. Д., Эпштейн С. А. Особенности применения наноиндентирования для изучения механических характеристик неоднородных материалов // ФТПРПИ. 2015. № 3. С. 57–63. DOI: 10.1134/S1062739115030072
- Vranjes S., Misch D., Schoberl T., Kiener D., Gross D., Sachsenhofer R. F. Nanoindentation study of macerals in coals from the Ukrainian Donets Basin // Advances in Geosciences. 2018. Vol. 45. P. 73–83.
- Yihuai Zhang, Lebedev M., Al-Yaseri A., Hongyan Yu, Xiaomeng Xu, Iglaue S. Characterization of nanoscale rock mechanical properties and microstructures of a Chinese sub-bituminous coal // Journal of Natural Gas Science and Engineering. 2018. Vol. 52. P. 106–116.
- Yihuai Zhang, Lebedev M., Al-Yaseri A., Hongyan Yu, Xiaomeng Xu et al. Nanoscale rock mechanical property changes in heterogeneous coal after water adsorption // Fuel. 2018. Vol. 218. P. 23–32.
- Chenliang Hou, Bo Jiang, Hewu Liu, Yu Song, Shaochun Xu. The differences of nanoscale mechanical properties among coal maceral groups // Journal of Natural Gas Science and Engineering. 2020. Vol. 80. DOI: 10.1016/j.jngse.2020.103394
- Ulyanova E. V., Molchanov A. N., Prokhorov I. Y., Grinyov V. G. Fine structure of Raman spectra in coals of different rank // International Journal of Coal Geology. 2014. Vol. 121. P. 37–43.
- Wendong Zhou, Hetang Wang, Deming Wang, Yunhe Du, Kang Zhang, Yongchao Qiao. An experimental investigation on the influence of coal brittleness on dust generation // Powder Technology. 2020. Vol. 364. P. 457–466.
- Argatov I. I., Borodich F. M., Epshtein S. A., Kossovich E. L. Contact stiffness depth-sensing indentation: Understanding of material properties of thin films attached to substrates // Mechanics of Materials. 2017. Vol. 114. P. 172–179. DOI: 10.1016/j.mechmat.2017.08.009
- Галанов В. А., Григорьев О. Н. Аналитическая модель индентирования хрупких материалов // Электронная микроскопия и прочность материалов. Сер.: Физическое материаловедение, структура и свойства материалов. 2006. Т. 13. С. 4–47.
- Kossovich E. L., Borodich F. M., Epshtein S. A., Galanov V. A. Indentation of bituminous coals. Fracture, crushing and dust formation // Mechanics of Materials. 2020. Vol. 150. DOI: 10.1016/j.mechmat.2020.103570
- Коссович Е. Л., Эпштейн С. А., Бородич Ф. М., Добрякова Н. Н., Просина В. А. Взаимосвязи между неоднородностью распределения механических свойств углей на микро- и наноуровнях и их способностью к внезапным выбросам и разрушению // ГИАБ. 2019. № 5. С. 156–172. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-05-0-156-172
- Hardiman M., Vaughan T. J., McCarthy C. T. A review of key developments and pertinent issues in nanoindentation testing of fibre reinforced plastic microstructures // Composite

- Structure. 2017. Vol. 180. P. 782–798.
21. Коссович Е. Л., Галанов Б. А., Котенко В. А., Мадон С. М., Ковальчук В. В., Пашевский А. А. Физическая прочность и трещинообразование хрупких материалов // *Металлы и новые технологии*. 2005. Т. 22. № 8. С. 1095–1112.
22. Smerdova O., Pecora M., Gigliotti M., Castagnet S. Cyclic indentation test to characterize viscoelastic behaviour of polymers. // *Nanomechanical Testing in Materials Research and Development VI. Proceedings of Engineering Conferences International ECI Digital Archives*. New York: Engineering Conference International, 2017.
23. Nemeček J. Creep effects in nanoindentation of hydrated phases of cement pastes // *Materials Characterization*. 2009. Vol. 60. Iss. 9. P. 1028–1034.
24. Mars W. V., Fatemi A. Factors that Affect the Fatigue Life of Rubber: A Literature Survey // *Rubber Chemistry and Technology*. 2004. Vol. 77. Iss. 3. P. 391–412.
25. Cole D. P., Henry I. C., Gardea F., Haynes R. A. Interphase mechanical behavior of carbon fiber reinforced polymer exposed to cyclic loading // *Composites Science and Technology*. 2017. Vol. 151. P. 202–210.

«ГОРНЫЙ ЖУРНАЛ», 2021, № 5, pp. 48–53
DOI: 10.17580/gzh.2021.05.03

Development of micro- and nanoindentation methods for assessing the mechanical properties of coals and their propensity to destruction

Information about authors

E. L. Kossovich – Senior Researcher, Scientific and Educational Testing Laboratory of Physical Chemistry of Coal, Ph.D. e.kossovich@phs.ru
National University of Science and Technology "MISIS", Moscow, Russia

Abstract

The destruction of coals in the processes of mining, storage, transportation and processing is associated, among other with their mechanical properties. As a rule, the mechanical properties of coals are evaluated by the results of measurement of such characteristics as tensile and compressive strength, stiffness (elastic modulus) and Poisson's ratio, etc. For this, experiments are carried out on specially prepared samples in tensile testing machines and mechanical presses. Such integral indicators characterize the mechanical behavior of coals at the macro scale and do not allow assessing the influence of structural features on the initiation of defects leading to destruction. In this regard, the characteristics of the mechanical properties of coals obtained in areas comparable to the levels of microcracks initiation are of interest. Micro- and nanoindentation techniques are quite simple to implement for obtaining the reliable information on various mechanical properties of materials at the appropriate scale levels. This paper is dedicated to an overview of the current state of research on the use of these methods to assess the mechanical properties of coals and their individual minerals, as well as their ability to crush with the formation of dust particles. The use of micro- and nanoindentation techniques made it possible to establish the differences in the mechanical properties of individual minerals of coals, as well as to characterize the heterogeneity of the distribution of various indicators characterizing mechanical properties within the individual minerals. Based on experimental data on nanoindentation and Raman spectroscopy, it was shown that the change in the mechanical properties (values of the modulus of elasticity and hardness) of vitrinite in the series of coal metamorphism is associated with an increase in the proportion of graphitized components in organic matter. Nanoindentation methods, combined with an analytical mathematical apparatus, made it possible to obtain data on the ability of coals to crush under mechanical effects with the formation of particles with sizes comparable to those of hazardous aerosol dust (class PM_{2.5}). The method of cyclic nanoindentation with an increasing maximum load was proposed as a method for determining the degree of coal tendency to fracture with the formation of dust. Its application made it possible to reveal the characteristics of irreversible changes occurring in the structure of coals during destruction. They are expressed in a change in their mechanical properties (stiffness and fracturing ability) with an increase in the applied load. The use of the cyclic nanoindentation method is a promising method for the qualitative and quantitative analysis of the degree of coal propensity to crushing with the formation of dust.

This work was carried out with the financial support of the Russian Science Foundation (Grant No. 18-77-10052).

Keywords: coal, dust, mechanical properties, crushing, nanoindentation, microindentation, cyclic loading

References

1. GOST 21206–75 Coal and anthracite. Determination method for microhardness and microbrittleness (with amendments No. 1, 2). Moscow: IPR. Izdatel'stvo standartov. 2000. 7 p.
2. GOST R 59267–2020 Brown coals, hard coals and anthracite. Method for determination of microhardness and microbrittleness. Moscow: Standartinform. 2020. 12 p.
3. Bulychov V. I., Alekhin V. P., Shorshorov M. A., Ternovskiy A. F., Shmyrev G. D. Determination of Young modulus by the hardness indentation diagram. *Zavodskaya Laboratoriya*. 1975. Vol. 41, No. 9. pp. 1117–1140.
4. Oliver W. C., Pharr G. M. Measurement of hardness and elastic modulus by instrumented indentation: Advances in understanding and refinements to methodology. *Journal of Materials Research*. 2004. Vol. 19. No. 1. pp. 1–20.
5. Kuzushikura A. Determination of Microhardness and Elastic Modulus of Coal Components by Using Indentation Method. *Geolines*. 2009. Vol. 22. pp. 40–43.

26. Faisal H. H., Prathuru A. K., Goel S., Ahmed R., Droubi M. G. et al. Cyclic Nanoindentation and Nano-Impact Fatigue Mechanisms of Functionally Graded TiN/TiAl Film // *Shape Memory and Superelasticity*. 2017. Vol. 3. Iss. 2. P. 149–167.
27. Sergeev F., Kimmann E., Viljus A. Residual Stresses in TiC-based Cermets Measured by Indentation // *Procedia Engineering*. 2011. Vol. 10. P. 2873–2881.
28. Bagal A., Zhang J. A., Shahrin R., Dandley E. C., Junye Zhao et al. Large-Area Nanolattice Film with Enhanced Modulus, Hardness, and Energy Dissipation // *Scientific Reports*. 2017. Vol. 7. No. 1. 9145. DOI: 10.1038/s41598-017-09521-6.
29. Hirsch P. B. X-ray scattering from coals. // *Proceedings of the Royal Society of London. Series A: Mathematical and Physical Sciences*. 1954. Vol. 226. Iss. 1165. P. 143–169.
30. Корсачев Е. Л., Епштейн С. А., Егоров М. Д., Ярославов В. А. Разработка методики циклического нанонindentирования для оценки склонности углей к образованию пыли // *ГИАБ*. 2021. № 5. С. 112–121. 
6. Goddyn B., Kozłowski A. Microhardness of Coal from Near-Fault Zones in Coal Seams Threatened with Gas Geodynamic Phenomena. Upper Silesian Coal Basin, Poland. *Energies*. 2019. Vol. 12. Iss. 9. DOI: 10.3390/en12091756.
7. Kossovich E. L., Dobryakova N. N., Epshteyn S. A., Belov D. S. Mechanical properties of coal microcomponents under continuous indentation. *Journal of Mining Science*. 2016. Vol. 52. Iss. 5. pp. 906–912. DOI: 10.1134/S1062739116041382.
8. Epshteyn S. A., Borodich F. M., Bull S. I. Evaluation of elastic modulus and hardness of highly inhomogeneous materials by nanoindentation. *Applied Physics A: Materials Science and Processing*. 2015. Vol. 119. Iss. 1. pp. 325–335. DOI: 10.1007/s00339-014-8971-5.
9. Borodich F. M., Bull S. I., Epshteyn S. A. Nanoindentation in Studying Mechanical Properties of Heterogeneous Materials. *Journal of Mining Science*. 2015. Vol. 51. Iss. 3. pp. 1062–7391. DOI: 10.1134/S1062739115030072.
10. Wang S., Wench D., Schobert T., Kuenen D., Gross D., Sachsenhofer R. F. Nanoindentation study of minerals in coals from the Ultraman Donets Basin. *Advances in Geosciences*. 2018. Vol. 45. pp. 71–83.
11. Yihua Zhang, Libo Chen, M. Al-tazen A., Hongyan Yu, Xiaomeng Xu, Jiglaue S. Characterization of nanoscale rock mechanical properties and microstructures of a Chinese sub-bituminous coal. *Journal of Natural Gas Science and Engineering*. 2018. Vol. 52. pp. 106–116.
12. Yihua Zhang, Libo Chen, M. Al-tazen A., Hongyan Yu, Xiaomeng Xu et al. Nanoscale rock mechanical property changes in heterogeneous coal after water adsorption. *Fuel*. 2018. Vol. 218. pp. 23–32.
13. Chenliang Hou, Bo Jiang, Hanyu Liu, Yu Song, Shaochun Xu. The differences of nanoscale mechanical properties among coal maceral groups. *Journal of Natural Gas Science and Engineering*. 2020. Vol. 80. DOI: 10.1016/j.jngse.2020.103394.
14. Ushanova E. V., Molchanov A. N., Prokhorov I. Y., Grinyov V. G. Fine structure of Raman spectra in coals of different rank. *International Journal of Coal Geology*. 2014. Vol. 121. pp. 37–43.
15. Wendong Zhou, Heting Wang, Deming Wang, Yunhe Du, Kang Zhang, Yongchao Qiao. An experimental investigation on the influence of coal brittleness on dust generation. *Powder Technology*. 2020. Vol. 364. pp. 457–466.
16. Argalov I. I., Borodich F. M., Epshteyn S. A., Kossovich E. L. Contact stiffness depth-sensing indentation: Understanding of material properties of thin films attached to substrates. *Mechanics of Materials*. 2017. Vol. 114. pp. 172–179. DOI: 10.1016/j.mechmat.2017.08.009.
17. Galanov B. A., Grigoriev O. N. Analytic indentation model of brittle solids. *Electron microscopy and strength of materials*. 2006. Vol. 13. pp. 4–47.
18. Kossovich E. L., Borodich F. M., Epshteyn S. A., Galanov B. A. Indentation of bituminous coals: Fracture, crushing and dust formation. *Mechanics of Materials*. 2020. Vol. 150. DOI: 10.1016/j.mechmat.2020.103570.
19. Kossovich E. L., Epshteyn S. A., Borodich F. M., Dobryakova N. N., Prowina V. A. Connections between micro-nano scale heterogeneity of mechanical properties of coals and their propensity to outbursts and crushing. *GIAB*. 2019. Vol. 2019. No. 5. pp. 156–172. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-05-0-156-172.
20. Hardiman M., Vaughan T. J., McCarthy C. T. A review of key developments and pertinent issues in nanoindentation testing of fibre reinforced plastic microstructures. *Composite Structures*. 2017. Vol. 180. pp. 782–798.
21. Grigoriev O. N., Galanov B. A., Kotenko V. A., Ivanov S. M., Kovalchuk V. V., Lazhevsky V. A. Contact strength and fracture toughness of brittle materials. *Metallorizika i novye tekhnologii*. 2005. Vol. 27. No. 8. pp. 1095–1112.
22. Smerdova O., Pecora M., Gigliotti M., Castagnet S. Cyclic indentation test to characterize viscoelastic behaviour of polymers. *Nanomechanical Testing in Materials Research and Development VI. Proceedings of Engineering Conferences International ECI Digital Archives*. New York: Engineering Conference International, 2017.
23. Nemeček J. Creep effects in nanoindentation of hydrated phases of cement pastes. *Materials Characterization*. 2009. Vol. 60. Iss. 9. pp. 1028–1034.
24. Mars W. V., Fatemi A. Factors that Affect the Fatigue Life of Rubber: A Literature Survey. *Rubber Chemistry and Technology*. 2004. Vol. 77. Iss. 3. pp. 391–412.
25. Cole D. P., Henry I. C., Gardea F., Haynes R. A. Interphase mechanical behavior of carbon fiber reinforced polymer exposed to cyclic loading. *Composites Science and Technology*. 2017. Vol. 151. pp. 202–210.

26. Faisal N. H., Prathuru A. K., Goel S., Ahmed R., Droubi M. G. et al. Cyclic Nanoindentation and Nano-Impact Fatigue Mechanisms of Functionally Graded TiN/TiN Film Shape Memory and Superelasticity. 2017 Vol. 3, Iss. 2 pp. 149–167
27. Sergejev F., Kimman E., Viljus M. Residual Stresses in TiC-based Cermets Measured by Indentation. *Procedia Engineering* 2011 Vol. 10. pp. 2873–2881
28. Bagal A., Zhang X. A., Shahrin R., Dandley E. C., Junjie Zhao et al. Large-Area Nanolattice Film with Enhanced Modulus, Hardness, and Energy Dissipation. *Scientific Reports*. 2017 Vol. 7, No. 1. 9145. DOI:10.1038/s41598-017-09521-6
29. Hirsch P. B. X-ray scattering from coals. *Proceedings of the Royal Society of London. Series A: Mathematical and Physical Sciences* 1954 Vol. 226, Iss. 1165 pp. 143–169
30. Kossovich E. L., Epshtein S. A., Golubeva M. D., Krasikova V. A. On using cyclic nanoindentation technique to assess coals propensity to fine dust formation. *GIAB* No. 5. pp. 112–121.

УДК 625.4

СИСТЕМА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ГЕОТЕХНИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ ПЕРЕГОННЫХ ТОННЕЛЕЙ МЕТРОПОЛИТЕНА ПОД ЭКСПЛУАТИРУЕМЫМИ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫМИ ПУТЯМИ

Т. Н. ДЫМБРЕНОВ, генеральный директор, канд. техн. наук, dtu@sste.ru
Р. Р. НАСИБУЛЛИН, инженер
Н. В. БУШТАК, инженер
В. И. ЛЕЙЗЕР, старший инженер

ООО «СпецСтройЭксперт», Москва, Россия

Введение

Современная ситуация в г. Москве характеризуется крайним обострением транспортных проблем: наблюдаются транспортные заторы и высокая загруженность метрополитена.

Строительство большинства объектов транспортной инфраструктуры ведут в условиях плотной городской застройки, где в зону влияния строительства весьма часто попадают объекты повышенной ответственности и подземные инженерные коммуникации. Помимо этого, плотная городская застройка приводит к увеличению дефицита незастроенной территории. В результате это обуславливает необходимость освоения ранее непригодных территорий для проведения строительных работ либо территорий с теми или иными ограничениями (наличие санитарно-защитных зон, полоса отвода РЖД и т. п.). На таких территориях, как правило, высокая вероятность проявления карста и других явлений.

Новое строительство может оказывать негативное влияние на окружающую застройку при сверхнормативных осадках, впоследствии имеют место аварийные ситуации. Для выявления дополнительных осадок на стадии проектирования требуется выполнять геотехнический прогноз влияния нового строительства на изменение напряженно-деформированного состояния (НДС) окружающего грунтового массива, в том числе оснований сооружений окружающей застройки, попадающих в предварительную зону влияния работ [1]. Для осуществления математического моделирования требуется определить техническое состояние сооружений окружающей застройки, выполнить инженерно-геологические изыскания (определить физико-механические характеристики грунтов и т. п.). В действительности достаточно часто выполнить работы по изысканию на должном уровне не представляется возможным.

В работах [2–4] рассмотрены проблемы, возникающие при инженерно-геологических изысканиях. Так, в статье [2] описана

Обозначены проблемы городской транспортной инфраструктуры, проанализированы недостатки геодезических наблюдений в процессе строительства подземных объектов. Предложен вариант решения проблемы с использованием системы ONLINE-мониторинга. Описана практика внедрения и технология установки системы на конкретном объекте. Представлен анализ обработанных данных, выявлена взаимосвязь полученных измерений с прогнозируемыми деформациями.

Ключевые слова: автоматизированный геотехнический мониторинг, железнодорожные пути, грунтовой массив, деформации, городское строительство

DOI: 10.17580/gzh.2021.05.04

неизученность свойств грунтовых оснований при проектировании. В статье [3] рассказано о том, что инженерно-геологические данные имеют неустранимую неопределенность. В работе [4] отмечена неизбежность присутствия погрешности интерпретации геологических границ, которая вызвана неопределенностью положения геологической границы между скважинами. Погрешность интерполяции существенно влияет на качество построения инженерно-геологической модели. В результате совокупность этих факторов влияет на качество расчетов при математическом моделировании.

В связи с этим, помимо проведения мониторинга строящегося объекта и окружающей застройки, необходимо предусматривать выполнение геотехнического мониторинга грунтового массива, попадающего в зону влияния нового строительства [5].

На данный момент тема геотехнического мониторинга является актуальной, о чем свидетельствуют многочисленные публикации [6].

Анализируя множество статей [7–11], можно отметить, что довольно большая часть публикаций содержит описание схем геотехнического мониторинга. В подобных исследованиях анализируют задачи контроля, объекты, обосновывают необходимость проведения контроля, обсуждают структуру схемы (какие методы основные, какие дополнительные), параметры (точность, периодичность), вопросы обработки и интерпретации данных.

Стоит отметить, что контроль может понадобиться для обеспечения сохранности довольно широкого списка объектов и задач. Так, например, в [10] контролируют речные набережные, состояние которых может повлиять на транспортное сооружение. В [8] ведут

контроль за состоянием основания многоэтажных зданий, которые испытывают существенные осадки. При этом в [7] утверждают, что геоконтроль нужен не только для выяснения причин возникновения предаварийных ситуаций, но также он желателен при введении здания в эксплуатацию (а для высотных зданий и сложных сооружений является обязательным).

В работе [9] описан опыт применения геотехнического мониторинга природных пещер при добыче железной руды. Это позволило вести добычу железной руды без ущерба для природных пещер.

В работах [12–14] предложен вариант использования оптоволоконных технологий в геотехническом мониторинге. Описаны преимущества оптоволоконных датчиков для решения различных задач. Помимо преимуществ оптоволоконных датчиков над механическими и электрическими приборами (электромагнитные помехи, ограниченное число точек наблюдения и т. д.), перечислены и проблемы использования оптоволоконных технологий (ограниченный диапазон измерения деформации, проблемы с калибровочным коэффициентом и т. д.). Тем более в научных публикациях не рассматривается стоимость геотехнического мониторинга с использованием оптоволоконных технологий.

В статье [15] описан деформационный мониторинг железнодорожного полотна в процессе прокладки труб или тоннелей. Это позволяет безопасно эксплуатировать железную дорогу в процессе строительства.

Использование только геодезических наблюдений за деформациями земной поверхности, измерение ширины раскрытия трещин, определение кренов и т. п. недостаточно. При подземном строительстве ведение геодезических наблюдений за земной поверхностью позволяет выявить процессы деформаций грунтового массива только в самый последний момент – когда деформации возникли уже по всей толще. Кроме того, периодичность ручных измерений не позволяет оперативно отслеживать процессы, происходящие в грунтовом массиве или в строительных конструкциях окружающей застройки. Следовательно, эффективность оперативных противоаварийных мероприятий значительно снижается.

Для осуществления наблюдений за изменением НДС грунтового массива при подземном строительстве существует необходимость контроля деформации по всей толще грунтового массива – от нижней точки строительства до поверхности в непрерывном режиме. Это позволит своевременно реализовать мероприятия по предотвращению аварийных ситуаций, что обусловит снижение динамики развития деформации толщи грунтового массива (основания окружающей застройки). В результате появляется возможность снизить деформации окружающего грунтового массива, а следовательно, и нейтрализовать негативное влияние на окружающую застройку. Также рекомендуется выполнять инструментальные наблюдения за строительными конструкциями строящегося объекта и окружающей застройки с высокой периодичностью (интенсивность измерений определяют в зависимости от объекта), что позволит оперативно выявить динамику изменения НДС в них. К сожалению, высокую периодичность измерений трудно обеспечить при ручном методе измерения.

Внедрение системы мониторинга на объекте

С целью решения данной проблемы была разработана и введена в эксплуатацию беспроводная система ONLINE-мониторинга за состоянием строительных конструкций и грунтового массива, позволяющая осуществлять комплексное непрерывное наблюдение за контролируемым объектом.

Стандартная схема работы системы ONLINE-мониторинга выглядит следующим образом. На объекте устанавливают набор измерительных преобразователей с беспроводными модулями для приема и передачи данных (при необходимости возможно выполнить проводное соединение). Все модули настраивают предварительно, и на самом объекте достаточно только установить их в проектное положение. Модули по радиоканалу передают информацию на беспроводное устройство сбора и передачи данных с заданным интервалом. Интервал съема и передачи данных также можно настроить удаленно после установки. Всю поступающую информацию сохраняют в памяти устройства и передают на веб-сервер (рис. 1).

Система ONLINE-мониторинга обладает следующими основными преимуществами по сравнению с геодезическим методом мониторинга:

- высокая точность измерений;
- комплексное наблюдение за контролируемым объектом;
- круглосуточный непрерывный режим измерений;
- возможность осуществления измерений с высокой циклическостью;
- возможность эксплуатации в сложных климатических условиях;
- длительный срок эксплуатации без обслуживания;
- простота установки, эксплуатации системы и возможность оперативной замены вышедшего из строя оборудования без потери данных;
- исключение ошибок, связанных с человеческим фактором;
- незначительная длительность обработки данных после каждого цикла измерений;
- анализ данных с учетом изменения температуры.

Специалистами ООО «СпецСтройЭксперт» была внедрена и апробирована беспроводная система ONLINE-мониторинга при щитовой проходке перегонных тоннелей метрополитена Кожуховской линии между станциями «Авиамоторная» и «Нижегородская улица». Строительством перегонных тоннелей на данном участке осуществляли в сложных горно-геологических условиях при плотной городской застройке. Средняя глубина проходки тоннелей составляла 23 м. В зону влияния строительства попали многочисленные здания, путепроводы, эстакады и железнодорожные пути. По железнодорожным путям регулярно движутся составы, в том числе высокоскоростные поезда «Сапсан».

Инженерно-геологические условия проходки следующие: на глубине до 8 м залегает насыпной грунт, представленный в основном песком средней крупности и плотности, степенью водонасыщения от малой до средней, характеризующийся как сравнительно слабый и неустойчивый. Ниже до глубины около 17 м залегает слой песка средней крупности и плотности, со средней степенью водонасыщенности до водонасыщенного. На глубине от 17 до 21 м

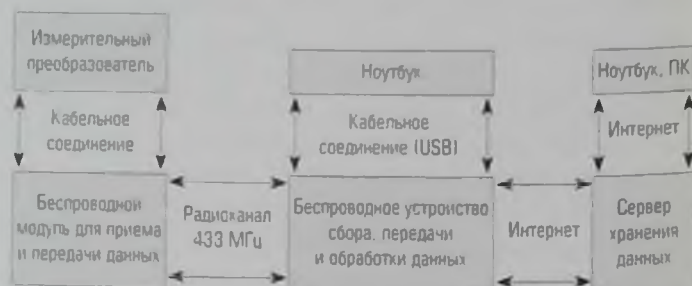


Рис. 1. Принципиальная схема работы автоматизированной беспроводной системы ONLINE-мониторинга



Рис. 2. Установленные измерительные модули на контролируемой опоре эстакады

прослеживается легкий песчанистый мягкопластичный суглинок. Ниже расположен мелкий песок средней плотности, со степенью водонасыщения от средней до водонасыщенного.

В связи с данными условиями для обеспечения безопасности строительства, движения железнодорожного транспорта и эксплуатационной надежности сооружений окружающей застройки возникла необходимость осуществления непрерывного автоматизированного геотехнического мониторинга.

Проводили наблюдения за опорами железнодорожной эстакады необщего пользования. Датчики угла наклона контролировали крен опор эстакады, на существующие трещины в опорах эстакады были установлены трещиномеры для измерения динамики роста трещин (рис. 2).



Рис. 3. Установка инклинометрических направляющих в скважину

Для контроля за деформациями толщи грунтового массива над строящимся тоннелем метрополитена предварительно были организованы две инклинометрические скважины (рис. 3) и одна скважина для экстензометра. Схема расположения скважин относительно щитовой проходки и результаты измерений показаны на рис. 4. Установку стационарных скважинных инклинометров и экстензометров проводили в соответствии с СП 305 1325800 2017. Дополнительно выполняли наблюдения за верхними частями скважин с помощью роботизированного тахеометра для измерения плано-высотных перемещений скважины.

Анализ результатов измерений

Обработка данных автоматизированного мониторинга строительных конструкций эстакады позволила утверждать, что строительство перегонных тоннелей метрополитена не оказало негативного влияния на общую устойчивость эстакады в целом. Полученные данные соответствовали показаниям геодезического мониторинга и полностью подтвердили прогнозируемые значения, полученные в процессе геотехнической оценки влияния нового строительства на окружающую застройку.

Результаты, полученные с помощью инклинометров и экстензометра, показали, что в горизонтальном направлении грунт смещался в направлении к условной оси щитовой проходки, величина деформации увеличивалась снизу вверх (от щитовой проходки к поверхности) до 23,5 мм. Однако в вертикальном направлении величина деформации возрастала противоположно — сверху вниз (от поверхности земли к щитовой проходке) до 200 мм (см. рис. 4, б).

Очевидно, динамика развития деформаций в большей степени зависит от геологического строения (расположения геологических слоев) контролируемой толщи грунта. В процессе исследований установлены возникновение деформаций толщи грунтового массива на глубине и ступенчатое появление деформаций на поверхности (рис. 5, 6) План расположения железнодорожных путей

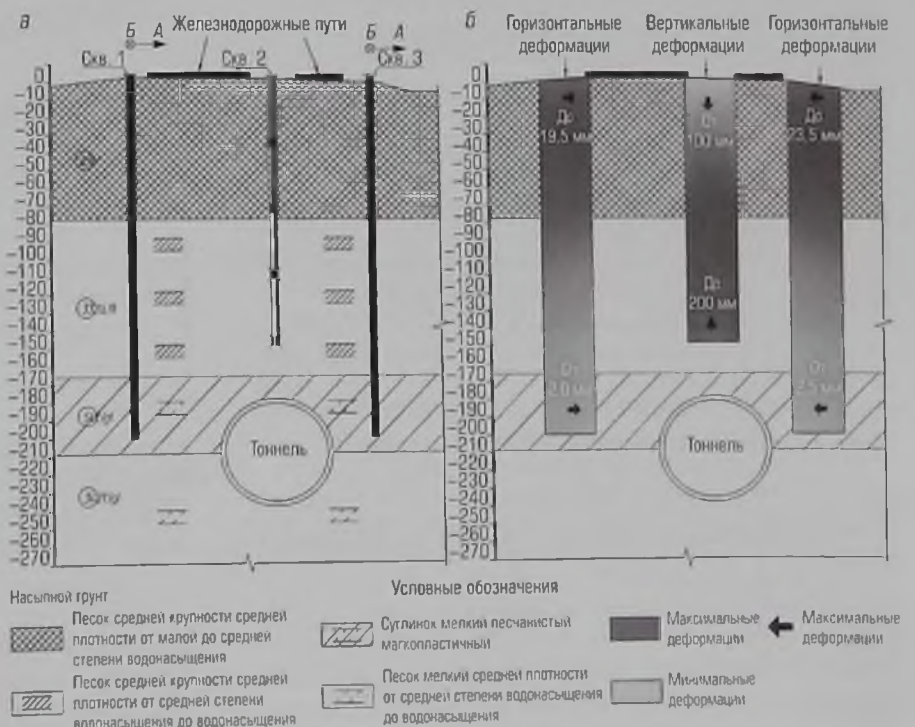


Рис. 4. Схема расположения скважин относительно щитовой проходки (а) и результаты последнего цикла измерений с помощью экстензометра и инклинометра (б)

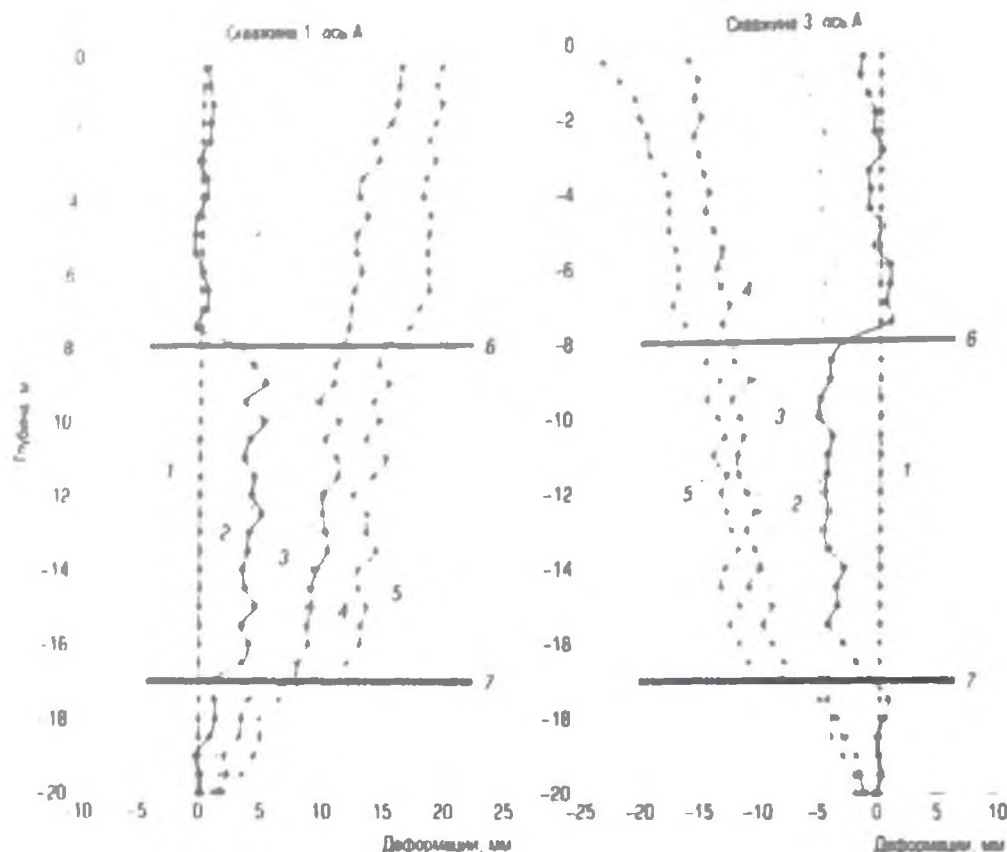


Рис. 5. Данные, полученные с помощью скважинных инклинометров (скв.1 и скв.3)
1 – 0-й цикл, 2 – 5-й цикл; 3 – 10-й цикл, 4 – 15-й цикл, 5 – 20-й цикл, 6 – граница раздела (песок / суглинок); 7 – граница раздела (насыпной грунт / песок)

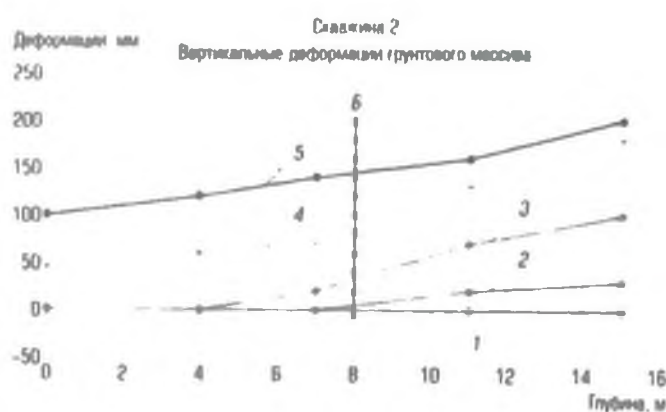


Рис. 6. Данные, полученные с помощью скважинного экстензометра (Скв. 2)
1 – 0-й цикл, 2 – 5-й цикл, 3 – 10-й цикл, 4 – 15-й цикл, 5 – 20-й цикл; 6 – граница раздела (насыпной грунт / песок)

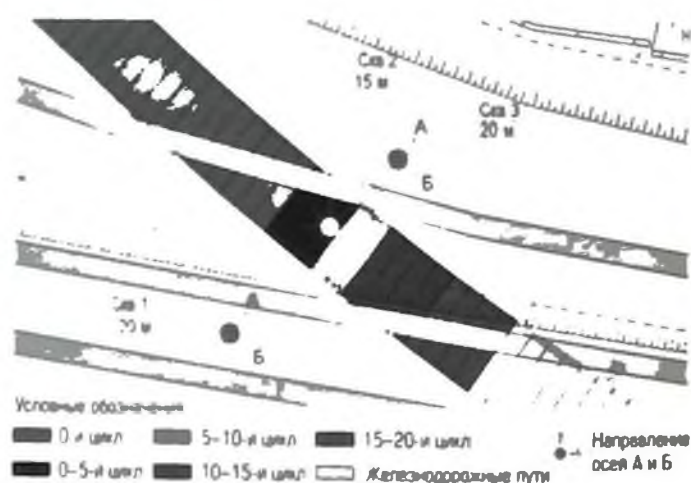


Рис. 7. План расположения железнодорожных путей и измерительных скважин, а также связь положения забоя щитовой проходки с измерительным циклом

и измерительных скважин, а также связь положения забоя щитовой проходки с измерительным циклом представлены на рис. 7.

Выводы

В ходе строительства были зафиксированы деформации толщи грунтового массива на глубине. Эти данные позволили спрогнозировать появление деформации на поверхности и были оперативно переданы в организацию осуществляющую горнопроходческие работы для корректировки технологических режимов щитовой проходки. Также были оповещены организации отвечающие за сохранность объектов железнодорожной инфраструктуры. В район прогнозируемой зоны осадок земной поверхности была отправлена аварийная группа для ликвидации ожидаемых просадок. При просадках

свыше 50 мм аварийной бригадой была выполнена подсыпка щебня (земельного полотна) и выправка верхнего строения пути.

Таким образом, использование системы online-мониторинга позволило избежать аварийной ситуации в процессе ведения щитовой проходки.

В связи с тем, что до корректировки технологических параметров щитовой проходки в приконтурном массиве произошли деформационные процессы, вскоре на земной поверхности были выявлены осадки земельного полотна и рельсошпальной решетки классическими методами мониторинга, что подтвердило прогнозируемые осадки с помощью автоматизированного мониторинга грунтового массива.

Библиографический список

1. СП 22.13330.2016 Основания зданий и сооружений (СНиП 2.02.01–83). – М.: Стандартинформ, 2017. – 162 с.
2. Барвашов В. А., Болдырев Г. Г., Уткин М. М. Расчет осадок и кренов сооружений с учетом неопределенности свойств грунтовых оснований // Геотехника. 2016. № 1. С. 4–21.
3. Барвашов В. А., Болдырев Г. Г., Каширский В. И. Неопределенности данных инженерно-геологических изысканий и численное моделирование поведения сооружения // Инженерные изыскания. 2015. № 8. С. 14–25.
4. Чернышев С. Н., Мартынов А. М. Погрешность интерполяции при построении границ на инженерно-геологических разрезах для создания расчетных моделей геологической среды // Инженерные изыскания. 2017. № 11. С. 32–43.
5. СП 305.1325800.2017. Здания и сооружения. Правила проведения геотехнического мониторинга при строительстве. – М.: Стандартинформ, 2017. – 61 с.
6. Рыкова В. В. Геотехнический мониторинг: анализ информационных массивов зарубежных и российских баз данных // Строительство и техногенная безопасность. 2019. № 15(67). С. 199–208.
7. Иванова А. В., Соловьева Т. А., Бугакова Т. Ю. Геотехнический мониторинг – основа жизненного цикла зданий и сооружений // Интерэкспо Гео-Сибирь. 2019. Т. 6. № 1. С. 214–220.
8. Ломов П. О., Попов А. М., Ковалева О. В., Сподарева Л. А. Геотехнический мониторинг при возведении многоэтажных зданий // Вестник Сибирского государственного университета путей сообщения. 2020. № 4(55). С. 86–93.

«GORNYI ZHURNAL». 2021, № 5, pp. 53–57
DOI: 10.17580/gzh.2021.05.04

Automated geotechnical monitoring in construction of running tunnels in subways under operating railroads

Information about authors

T. N. Dymbrenov¹, CEO, Candidate of Engineering Sciences, dtm@ssste.ru

R. R. Nasibullin¹, Engineer

M. V. Bushtak¹, Engineer

V. I. Leizer¹, Senior Engineer

¹SpetsStroiEkspert, Moscow, Russia

Abstract

The city of Moscow is currently faced with the extremely aggravating problem connected with traffic. Hereupon, majority of transportation systems are being expanded and upgraded. Construction of new running tunnels and subway stations, road spans, crossovers, underground parking lots, etc. is in process. The new construction affects the existing development sites in the time of surplus fallout, which leads to emergency situations. It is required to provide geotechnical monitoring of soil mass in the influence zone of new construction. To this effect, the wireless online monitoring system has been designed and introduced into surveillance of building structures and soil mass. The system is meant for the integrated and continuous observation of a control object.

The operation charts and advantages of the wireless monitoring system are presented. The introduction experience of the automated geotechnical monitoring in the process of construction is described. The observation of a railroad overpass used the tilt sensors and crack meters. The deformation monitoring in soil mass was carried out using borehole deviation devices and extensometers. It is demonstrated that the time of the measurement cycles is related with the position of the shield tunneling face relative to the measurement boreholes. The interpreted data analysis proves correlation of the measured and predicted deformations. The deformation propagation in depth of soil mass is characterized.

The data analysis made it possible to predict deformations of ground surface and, thereby, to eliminate a potential accident during shield tunneling under the surface railroad.

Keywords: automated geotechnical monitoring, railroad, soil mass, deformations, urban development.

References

1. SP 22.13330.2016. Foundations of buildings and structures (SNIP 2.02.01–83). Moscow: Standartinform, 2017. 162 p.

9. Brandi I. V., Barbosa M. R., Guimarães de Paula R., Araújo R. N., Vieira de Moura R. S., Mota de Lima H. Instrumented geotechnical monitoring of a natural cave in a near mine operation – Towards a sustainable approach to mining and preservation of speleological heritage // Journal of Cleaner Production. 2019. Vol. 239. 118040. DOI: 10.1016/j.jclepro.2019.118040
10. Rocchi I., Gragnano C. G., Govoni L., Bittelli M., Gottardi G. Assessing the performance of a versatile and affordable geotechnical monitoring system for river embankments // Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C. 2020. Vol. 117. 102872. DOI: 10.1016/j.pce.2020.102872
11. Cheskidov V. V., Lipina A. V., Melnichenko I. A. Integrated monitoring of engineering structures in mining // Eurasian Mining. 2018. No. 2. P. 18–21. DOI: 10.17580/em.2018.02.05
12. Кудрявцев С. А., Маоцаи Чжао, Бузунов С. А., Котенко Ж. И., Шемякин В. Ю., Бугунова Ю. А. Использование оптоволоконных технологий в геотехническом мониторинге транспортных сооружений // Транспорт Азиатско-Тихоокеанского региона. 2019. № 4(21). С. 50–54.
13. Yong Zheng, Zheng-Wei Zhu, Wang Xiao, Quan-Xiang Deng. Review of fiber optic sensors in geotechnical health monitoring // Optical Fiber Technology. 2020. Vol. 54. 102127. DOI: 10.1016/j.yofte.2019.102127
14. Hongkui Gong, Kizil M. S., Zhongwei Chen, Amanzadeh M., Ben Yang, Aminossadat S. M. Advances in fibre optic based geotechnical monitoring systems for underground excavations // International Journal of Mining Science and Technology. 2019. Vol. 29. Iss. 2. P. 229–238.
15. Хельмих М. Мониторинг инфраструктуры во время работы под железнодорожными путями // Метро и тоннели. 2020. № 2. С. 48–53. 
2. Barvashov V. A., Boldyrev G. G., Utkin M. M. Calculation of settlements and tilts of engineering structures taking into account uncertainty of foundation soil properties. *Geotekhnika*. 2016. No. 1. pp. 4–21.
3. Barvashov V. A., Boldyrev G. G., Kashirskiy V. I. Geological engineering survey data uncertainty and numerical modeling of behavior of a structure. *Inzhenernye izyskaniya*. 2015. No. 8. pp. 14–25.
4. Chernyshev S. N., Martynov A. M. The inaccuracy of interpolation at the construction of boundaries in the engineering geological soil profiles for the generation of calculated models of geological medium. *Inzhenernye izyskaniya*. 2017. No. 11. pp. 32–43.
5. SP 305.1325800.2017. Buildings and structures. Regulations for geotechnical monitoring in construction. Moscow: Standartinform, 2017. 61 p.
6. Rykova V. V. Geotechnical monitoring: documents analysis of russian and foreign databases. *Straitstvo i tekhnogennaya bezopasnost*. 2019. No. 15(67). pp. 199–208.
7. Ivanova A. V., Soloveva T. A., Bugakova T. Yu. Geotechnical monitoring of buildings and structures for the control and construction safety. *Interexpo Geo-Sibir*. 2019. Vol. 6. No. 1. pp. 214–220.
8. Lomov P. O., Popov A. M., Kovaleva O. V., Spodareva L. A. Geotechnical monitoring of high-rise buildings. *Vestnik Sibirskogo gosudarstvennogo universiteta putey soobshcheniya*. 2020. No. 4(55). pp. 86–93.
9. Brandi I. V., Barbosa M. R., Guimarães de Paula R., Araújo R. N., Vieira de Moura R. S., Mota de Lima H. Instrumented geotechnical monitoring of a natural cave in a near mine operation – Towards a sustainable approach to mining and preservation of speleological heritage. *Journal of Cleaner Production*. 2019. Vol. 239. 118040. DOI: 10.1016/j.jclepro.2019.118040
10. Rocchi I., Gragnano C. G., Govoni L., Bittelli M., Gottardi G. Assessing the performance of a versatile and affordable geotechnical monitoring system for river embankments. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*. 2020. Vol. 117. 102872. DOI: 10.1016/j.pce.2020.102872
11. Cheskidov V. V., Lipina A. V., Melnichenko I. A. Integrated monitoring of engineering structures in mining. *Eurasian Mining*. 2018. No. 2. pp. 18–21. DOI: 10.17580/em.2018.02.05
12. Kudryavtsev S. A., Maocai Chgao, Bugunov S. A., Kotenko Zh. I., Shemyakin V. Yu., Bugunova Yu. A. Use of optical fiber technologies in geotechnical monitoring of transport facilities. *Transport Aziatsko-Tikhookeanskogo regiona*. 2019. No. 4(21). pp. 50–54.
13. Yong Zheng, Zheng-Wei Zhu, Wang Xiao, Quan-Xiang Deng. Review of fiber optic sensors in geotechnical health monitoring. *Optical Fiber Technology*. 2020. Vol. 54. 102127. DOI: 10.1016/j.yofte.2019.102127
14. Hongkui Gong, Kizil M. S., Zhongwei Chen, Amanzadeh M., Ben Yang, Aminossadat S. M. Advances in fibre optic based geotechnical monitoring systems for underground excavations. *International Journal of Mining Science and Technology*. 2019. Vol. 29. Iss. 2. pp. 229–238.
15. Hellmich M. Monitoring the infrastructure while working under railway tracks. *Metro i tonneli*. 2020. No. 2. pp. 48–53.

УДК 622 281 5

ПОВЫШЕНИЕ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ШАХТНОЙ РАМНОЙ КРЕПИ ПУТЕМ ПРИМЕНЕНИЯ УСИЛИТЕЛЕЙ ПРОФИЛЕЙ МЕТАЛЛИЧЕСКОГО ПРОКАТА

М. А. БАЙЖЕНЖИН доцент канд. техн. наук
Ж. М. АСАНОВА докторант Zhanaigaliyev@yandex.kz

Кафедра разработки месторождений полезных ископаемых Карагандинского технического университета Караганда, Казахстан

Введение

Углубление добычи угля на шахтах угольных бассейнов сопровождается увеличением горного давления, зачастую приводящим к деформациям крепи подземных горных выработок и их ремонту. В настоящее время одной из основных целей подземной добычи угля является эффективность и стабильность горнодобывающих предприятий, в том числе и за счет сохранения в рабочем состоянии и снижения стоимости поддержания выработок, что естественно отражается на себестоимости добываемого полезного ископаемого.

Из-за сложных горно-геологических и горно-технических условий подготовительные выработки зачастую находятся в неудовлетворительном состоянии [1–15]. Осложняется работа подземного транспорта, вентиляции очистных и подготовительных выработок, что приводит к увеличению объемов восстановления горных работ. Большой расход металла на дополнительное крепление отрицательно сказывается на технико-экономических показателях горных предприятий. Очевидна актуальность поиска надежного и экономичного способа поддержания выработок, особенно подготовительных, попадающих в зону действия опорного горного давления в процессе очистных работ.

Целью работы является обоснование использования в горных выработках усилителей крепи, позволяющих увеличить моменты сопротивления сечений на участках крепежной рамы, в которых расчетным путем определяются наибольшие изгибающие моменты, и тем самым увеличить несущую способность крепи, снизив при этом металлоемкость крепления.

Методика расчетов

Длительное воздействие повышенного горного давления и приложения опорного давления ведут к необходимости увеличения несущей способности крепи [10–23]. Применяемая в угольной промышленности практика наращивания сопротивляемости рамной арочной крепи горному давлению путем ее утяжеления, т. е. последовательного перехода от специальных профилей проката (СВП) меньшего типоразмера к большим неэкономична, поскольку увеличивается расход стали, из которой изготавливают крепь. На шахтах Карагандинского бассейна спецпрофиль СВП-14 еще в 1970-х годах вышел из употребления. В последующие годы эта тенденция сохранилась и уже к 2003 г. СВП-17 также вышел из обращения. Основными типоразмерами в настоящее время являются СВП-22, СВП-27 и СВП-33, что связано и с увеличением средних сечений поддерживаемых выработок. Указанная тенденция предполагает заметное усложнение и удорожание процесса изготовления арочной крепи из

Предложено использование усилителей рамной крепи на участках, наиболее подверженных повышенному горному давлению. Приведены расчеты момента сопротивления крепи, анализ напряженно-деформированного состояния горного массива с помощью программы ANSYS. Показана экономическая эффективность использования СВП-17, СВП-22 и СВП-27.

Ключевые слова: горная выработка, давление, арочная крепь, сталь, деформация, сопротивление, изгибающий момент, специальный взаимозаменяемый профиль.

DOI: 10.17580/gzh.2021.05.05

профилем большего, чем СВП-33, типоразмера, а операции, связанные с ее установкой, станут более трудоемкими.

Повышение горного давления ведет и к увеличению плотности крепи, что естественно увеличивает трудоемкость работ, связанных с креплением и поддержанием выработок в рабочем состоянии. Все перечисленное увеличивает себестоимость добываемого угля. Поэтому снижение затрат на крепление выработок не в ущерб ее несущей способности является в настоящее время актуальной проблемой угольной отрасли промышленности.

Возможным решением данного вопроса является использование усилителей рамной крепи на участках, наиболее подверженных деформациям.

Суть названного решения заключается в следующем. Известно, что металлическую арочную крепь выбирают на основании расчета, позволяющего определить изгибающие моменты в каждом сечении арки и выявить наибольшие значения этих моментов на конкретных участках. Зная величину максимального изгибающего момента, вычисляемого по известным формулам, можно определить требуемый момент сопротивления сечения крепи [1, 3]. $M_{\max}/W_{\text{гп}} \leq N/F_{\text{гп}} \leq R/L$, где $M_{\max}$ – максимальный изгибающий момент, кНм; $W_{\text{гп}}$ – момент сопротивления, м³; N – нормальная сила в сечении, в котором определен $M_{\max}$, кН; $F_{\text{гп}}$ – площадь поперечного сечения профиля, м²; R – расчетное сопротивление изгибу прокатной стали, которое может быть принято 230 МПа; L – шаг крепи, принимается 0,33, 0,5, 0,75, 1.

Моменты сопротивления крепи и площади поперечных сечений профилей определены в табл. 1.

В результате крепь выбирается таким образом, словно в каждом сечении по периметру рамы действует максимальный момент. Соответственно достаточно увеличить моменты сопротивления в тех сечениях, в которых определены наибольшие моменты (на зпюрах изгибающих моментов для арочных трехзвенных крепей их три).

Решено, что на участках с наибольшими изгибающими моментами необходимо вложить отрезки СВП того же типоразмера, что и вся крепь. Математическое моделирование применения усилителей крепи показало, что длину отрезков СВП достаточно принять в 30 см. Несложные расчеты показали, что вместо СВП-27 можно применить

Таблица 1. Характеристики специальных профиля проката

Типоразмер профиля	Вес 1 м, кг	Площадь поперечного сечения, F , см ²	Моменты сопротивления W_x , см ³	Моменты сопротивления W_y , см ³
СВП-17	17,06	21,73	50,3	57,9
СВП-22	21,9	27,91	81,3	77,8
СВП-27	27,0	34,3	100,2	101,5
СВП-33	33,8	42,46	138,5	148,0

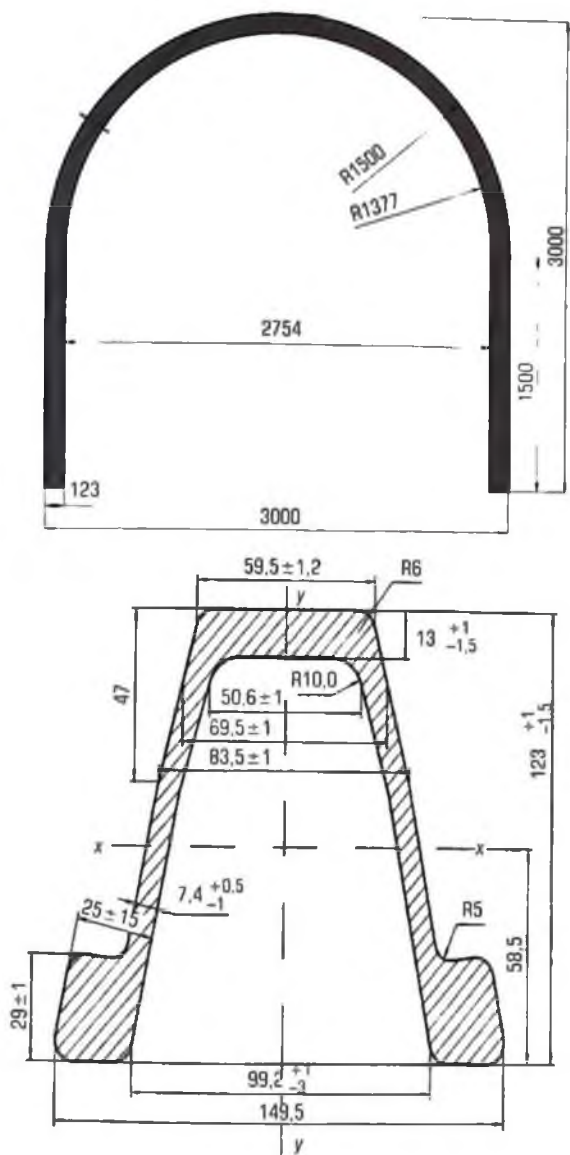


Рис. 1. Арочная крепь из СВП-27:
 R – радиусы закругления

СВП-17 с вкладышами из отрезков того же типоразмера и сэкономить около 10 кг стали с каждого метра рамы, т. е. мы получаем эффективный, менее трудоемкий и экономичный вариант крепления.

Для обоснования предлагаемого решения были проведены следующие исследования.

- определение изгибающих моментов и нормальных сил в металлической арочной трехзвенной крепи по методике ВНИИ [2], реализованной на ЭВМ для конкретных, существующих условий, с последующим выбором требуемого типоразмера крепи;

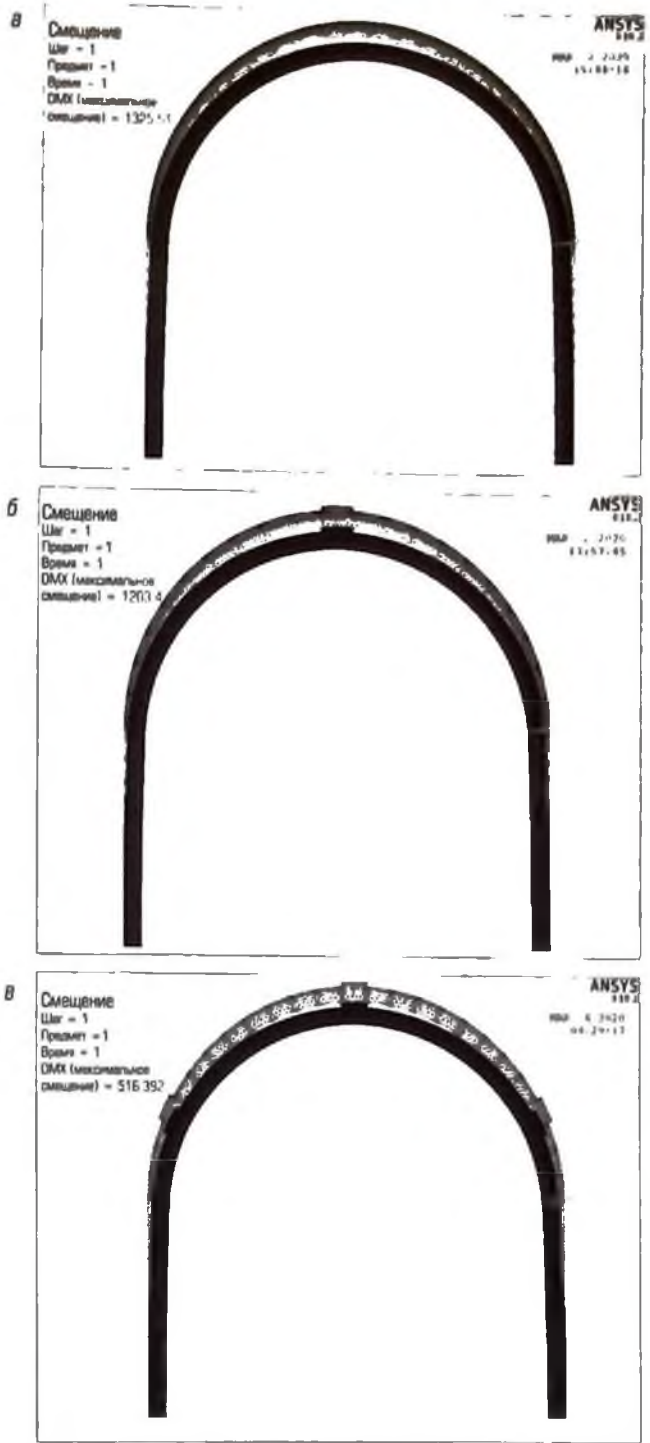


Рис. 2. Деформированная форма объектов в зависимости от варианта применяемой крепи: без усилителя (а), с одним усилителем (б) и с тремя усилителями (в)

- анализ напряженно-деформированного состояния горного массива и крепи с использованием программного комплекса ANSYS [4]; задача рассматривалась в трех вариантах: крепь без усилителей, крепь с одним усилителем на участке с максимальным изгибающим моментом, крепь с тремя усилителями на участках с наибольшими изгибающими моментами;
- экономический расчет эффективности применения предлагаемого решения.

Наибольший интерес в проведенных исследованиях представляет

Таблица 2 Результаты математического моделирования

Параметры	Кресть без усилителя	Кресть с одним усилителем	Кресть с тремя усилителями
перемещение, мм	132,55	126,04	116,4
Нагрузка по оси у, тПа	20766,2	18443,1	15012,7
Интенсивность напряжений, тПа	84936,7	64069,9	38942,4

Таблица 3. Характеристика сечения однопутной выработки с двумя симметричными проходами

Параметры	Сечение выработки, м ²				Крестья в одну сторону, мм
	Ширина выработки, м	Высота выработки, м	Ширина прохода, м	Высота прохода, м	
СВП 27	12,6	11,2	16,1	16,3	15,0

анализ напряженно-деформированного состояния крепи под воздействием внешней нагрузки для чего использовался программный комплекс ANSYS. Моделировалась арочная крепь из СВП-27, геометрические параметры которой представлены на рис. 1

На рис. 2–4 представлены результаты моделирования

Численные результаты математического моделирования отражены в табл. 2

Как видно из результатов моделирования, при установке трех усилителей уменьшились модуль сдвига в 2,4 раза, напряжение по оси у в 1,4 раза, интенсивность напряжения в 1,8 раз

Для расчета ориентировочной экономической эффективности предлагаемого решения выбрано сечение, широко применяемое на шахтах Карагандинского угольного бассейна и предусматривающее крепление рамной арочной трехзвенной крепью из СВП 22 или СВП-27. Основные размеры сечения и крепи представлены в табл. 3

Общую необходимую длину стальной арочной крепи на 100 м выработки с шагом крепления 0,5 м определяют по формуле $l_{\text{арч}} = (P_{\text{арч}} - B_{\text{арч}}) (l_{\text{выг}} / l - 1)$, где $P_{\text{арч}}$ – периметр одной арочной крепи, м, $B_{\text{арч}}$ – ширина арочной крепи, м, l – шаг крепи, м, $l_{\text{выг}}$ – длина выработки, м. Для СВП 22 $l_{\text{арч}} = 1694$ м, для СВП-27 $l_{\text{арч}} = 2140$ м

По состоянию на 1 октября 2019 г. в Казахстане стоимость крепей СВП-22 и СВП 27 составляла 756,4 долл/т и 764,1 долл/т соответственно. Учитывая, что 1 м профиля весит 22 и 27 кг соответственно, стоимость крепи (C) для 100 м выработки составит для СВП 22 $C = 1694 \text{ м} \cdot 756,4 \text{ долл/т} \cdot 0,022 \text{ т/м} = 28189,5 \text{ долл}$, для СВП-27: $C = 2140 \text{ м} \cdot 764,1 \text{ долл/т} \cdot 0,027 \text{ т/м} = 44149,7 \text{ долл}$

Стоимость 30 см накладки усилителя ($C_{\text{у}}$) для СВП-22: $C_{\text{у}} = 0,3 \text{ м} \cdot 756,4 \text{ долл/т} \cdot 0,022 \text{ т/м} = 5 \text{ долл}$, для СВП-27: $C_{\text{у}} = 0,3 \text{ м} \cdot 764,1 \text{ долл/т} \cdot 0,027 \text{ т/м} = 6,2 \text{ долл}$

Стоимость крепежных рам на 100 м выработки с одним усилителем (C_1) определяют по формуле $C_1 = C + l_{\text{рам}} / L \cdot C_{\text{у}}$. Для СВП-22 $C_1 = 28189,5 \text{ долл} + 100 \text{ м} / 0,5 \text{ м} \cdot 5 \text{ долл} = 29189,5 \text{ долл}$; для СВП-27 $C_1 = 44149,7 \text{ долл} + 100 \text{ м} / 0,5 \text{ м} \cdot 6,2 \text{ долл} = 45389,7 \text{ долл}$

Стоимость 100 м выработки с тремя усилителями определяют по формуле $C_3 = C + l_{\text{рам}} / L \cdot 3 \cdot C_{\text{у}}$. Для СВП-22 $C_3 = 28189,5 \text{ долл} + 100 \text{ м} / 0,5 \text{ м} \cdot 3 \cdot 5 \text{ долл} = 31189,5 \text{ долл}$, для СВП-27 $C_3 = 44149,7 \text{ долл} + 100 \text{ м} / 0,5 \text{ м} \cdot 3 \cdot 6,2 \text{ долл} = 47869,7 \text{ долл}$

Рис. 3. Изменение напряжений по оси у в зависимости от варианта применяемой крепи: без усилителя (а), с одним усилителем (б) и с тремя усилителями (в)

Так как напряжение по оси у для СВП-27 без усилителя составляет примерно такую же величину, как и для СВП-22 с тремя усилителями, то целесообразным авторы считают применение второго варианта.

Предлагаемый метод усиления профиля проката СВП позволит сэкономить со 100 м выработки: $C_{\text{СВП-27}} - C_{\text{3СВП-22}} = 44149,7 - 31189,5 = 12960,2 \text{ долл}$

Очевидно, аналогичные результаты будут получены при замене других типоразмеров СВП большего типоразмера на меньший, но с соответствующим числом усилителей.

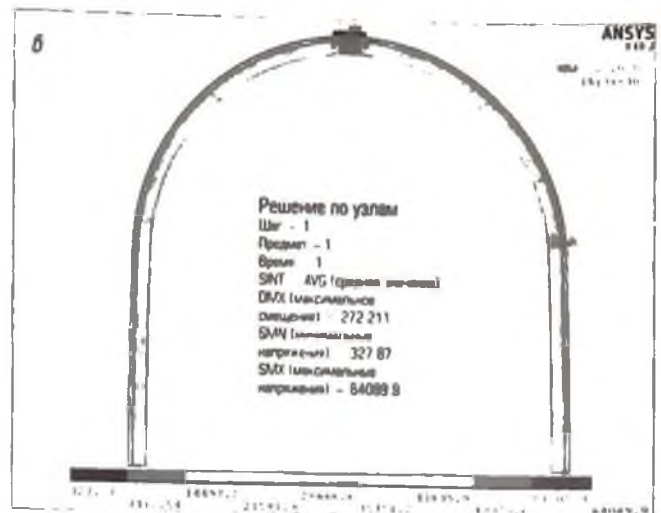
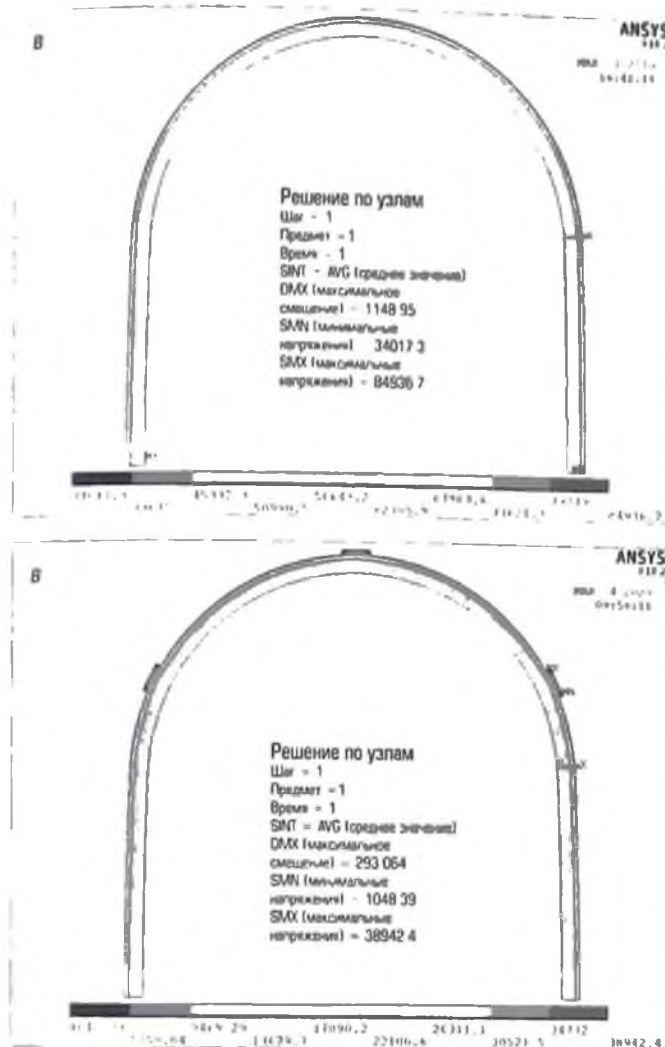


Рис. 4. Изменение интенсивности напряжений в зависимости от варианта применяемой крепи: без усилителя (а), с одним усилителем (б) и с тремя усилителями (в)

затрат времени, материалов и трудовых ресурсов, например при установке ремонтин при прохождении опорного давления.

Заключение

Проведенные исследования дают основание полагать, что рекомендуемый вариант повышения несущей способности крепи, изготавливаемой из стального профиля проката, может существенно улучшить состояние горных выработок. Предлагаемое решение, очевидно, можно применить не только к арочным, но и к другим конструкциям крепи из металлопроката.

Следует отметить, что применение усилителей крепи требует достаточного точного определения участков, на которые воздействуют наибольшие изгибающие усилия, особенно при несимметричной нагрузке на крепь.

Библиографический список

1. Баклашов И. В., Картозия Б. А. Механика подземных сооружений и конструкции крепи. учебник. – 3-е изд. – М.: Студент, 2012. – 543 с.
2. Руководство по проектированию подземных горных выработок и расчету крепи. – М.: Стройиздат, 1983. – 272 с.
3. Картозия Б. А., Борисов В. Н. Инженерные задачи механики подземных сооружений: учеб. пособие. – М.: Изд-во МГТУ, 2001. – 246 с.
4. Нургузин М. Р., Даненова Г. Т. Инженерные расчеты в ANSYS: сборник примеров. – Караганда: Изд-во КарГТУ, 2006. – 319 с.
5. Zong Yijiang, Han Lijun, Wei Jianjun, Wen Shengyong. Mechanical and damage evolution properties of sandstone under triaxial compression // International Journal of Mining Science and Technology. 2016. Vol. 26. Iss. 4. P. 601–607.
6. Сытник А. А., Зигель Ф. С., Кампанец В. Ф., Поляковский В. С. Рамные крепи горных выработок: обзорная информация и справочные материалы. – Донецк, 1992. – 36 с.
7. Каспарьян Э. В., Козырев А. А., Иофис М. А., Макаров А. Б., Куликова Е. Ю. Геомеханика: учебник. – Мурманск. Изд-во МГТУ, 2016. Ч. 1. – 272 с.
8. Bieniawski Z. T. Rock mechanics design in mining and tunneling. – Rotterdam: A.A. Balkema, 1984. – 272 p.
9. Курленя М. В., Барышников В. Д., Гахова Л. Н. Развитие экспериментально-аналитического метода оценки устойчивости горных выработок // ФТПРПИ. 2012. № 4. С. 20–28.
10. Масаев Ю. А., Масаев В. Ю., Филина Л. Д. Новые разработки в области крепления и повышения устойчивости породных обнажений в горных выработках // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2015. № 1(107). С. 41–44.
11. Hoek E., Brown E. T. Empirical Strength Criterion for Rock Masses // Journal of the Geotechnical Engineering Division. 1990. Vol. 106. P. 1013–1035.
12. Калмыков В. Н., Латкин В. В., Зубков А. А., Неугомонов С. С., Волков П. В. Технологические особенности возведения усиленной комбинированной крепи на подземных рудниках // ГИАБ. 2015. Спец. выпуск 15. Вып. 3. Условия устойчивого функционирования минерально-сырьевого комплекса России. С. 63–69.
13. Hoek E., Brown E. T. Practical estimates of rock mass strength // International Journal of Rock Mechanics and Mining Science. 1997. Vol. 34. No. 8. P. 1165–1186.
14. Байкенжин М. А., Манасбаева А. К. Оценка геодинамической устойчивости горных выработок // Интернаука. 2017. № 6-1(10). С. 62–64.
15. Hongpu Kang. Support technologies for deep and complex roadways in underground coal mines: a review // International Journal of Coal Science & Technology. 2014. Vol. 1. Iss. 3. P. 261–277.
16. Shaohui Wang, Wei Zhou, Qingxiang Cai, Xuyang Shi, Xiang Lu, Boyu Luan. The Coal Mining Model Under Slippery Slope in Yiminhe Open Pit Coal Mines // Geotechnical and Geological Engineering. 2019. Vol. 37. Iss. 5. P. 3727–3737.
17. Демин В. Ф., Маусымбаева А. Д. Основы горного производства: учебник. – Караганда: Карту, 2018. – 295 с.
18. Hao Wu, Kulatilake P. H. S. W., Guoyan Zhao, Weizhong Liang, Enjie Wang. A comprehensive study of fracture evolution of brittle rock containing an inverted U-shaped cavity under uniaxial compression // Computers and Geotechnics. 2019. Vol. 116. 103219. DOI: 10.1016/j.compgeo.2019.103219.
19. Songfeng Guo, Shengwen Qi, Yu Zou, Bowen Zheng. Numerical Studies on the Failure Process of Heterogeneous Brittle Rocks or Rock-Like Materials under Uniaxial Compression // Materials. 2017. Vol. 10. Iss. 4. 378. DOI: 10.3390/ma10040378.
20. Лушников В. Н., Еременко В. А., Сэнди М. П., Бухер Р. Крепление горных выработок в условиях деформируемых и удароопасных массивов горных пород // Горный журнал. 2014. № 4. С. 37–43.

21. Терпигов А. М. О методе расчета напряженного состояния горных пород с учетом их влияния на контактное взаимодействие с крепью выработок // ОТПРП. 2016. № 5. С. 21–28.
22. Протопина А. Г., Мурин М. Б. Прогноз напряженного состояния массива на участке

«ГОРНЫЙ ЖУРНАЛ», 2021, № 5, pp. 58–62
DOI: 10.17580/gzh.2021.05.05

Improvement of load-bearing capacity of arched support using rolled steel reinforcement in mines

Information about authors

M. A. Baikentzin Associate Professor, Candidate of Engineering Sciences

Zh. M. Asanova Doctoral Candidate, Zhener.s@yandex.ru

Mineral Mining Department, Karaganda Technical University, Karaganda, Kazakhstan

Abstract

The economic efficiency of coal mining at the reduced cost is directly related with maintenance of operating conditions in temporary roadway. This article proposes a method of increasing the load-bearing capacity of the three-link arched support made of a special rolled profile (SRP) by increasing the stiffness moments of arched support sections subjected to the greatest bending moments.

It is determined to be necessary to install the same size SRP in the support sections exposed to the greatest bending moment. Mathematical modeling of the reinforcement shows that the sufficient length of SRP segments is 10 m. The calculations show that SRP is replaceable by SRP 17 with the same size inserts, which allows saving of 10 kg of steel per each meter of the arched support. The proposed method of increasing the load-bearing capacity of the support will reduce the specific content of steel in the mine support manufacture and thereby will enable significant saving of material and labor resources.

The studies conducted to substantiate the proposed solution include: determination of bending moment and axial force in the three-link steel arched support by the computer-aided procedure of VNIIM (AN Union Research Institute of Mining Geomechanics and Mine Surveying) for the specific mining conditions; with the subsequent choice of the required size of the support; stress-strain analysis of rock mass and mine support in ANSYS environment; economic calculation of the proposed solution effectiveness.

The implemented researches give grounds to believe that the proposed variant of increasing the load-bearing capacity of the support made of the rolled steel profile can significantly improve stability of mine roadways.

It is possible to strengthen the support without reducing the metal content in cases of expected deformation of the support under the influence of the confining pressure, when the other methods of maintenance-free support in roadways are ineffective or require a lot of time, materials and labor.

Keywords: roadway pressure, arched support, steel, deformation, resistance, moment, special interchangeable profile

References

1. Baikentzin M. A., Kartozhya B. A. Mechanics of underground structures and mine supports. Textbook. Inted Moscow Student 2017. 543 p.
2. Guidance on design of underground digging and lining calculation. Moscow: Stroyizdat, 1983. 272 p.
3. Kartozhya B. A., Borozov V. N. Engineering problems in underground structure mechanics. Educational aid. Moscow: Izdatelstvo MGGU, 2001. 246 p.

горных стволов и горизонтальной выработки // Известия вузов. Горный журнал. 2015. № 7. С. 50–55.

23. Демин В. Ф. Управление геомеханическими процессами при ведении подземных горных работ: учеб. пособие. – Алматы: ССК, 2018. – 272 с. [1]

4. Baikentzin M. A., Baikentzin G. T. Engineering calculations in ANSYS. Collection of examples. Karaganda: Izdatelstvo KarGTU, 2006. 319 p.
5. Zong Yipang, Han Lijun, Wen Junjun, Wen Shengyong. Mechanical and damage evolution properties of sandstone under triaxial compression. International Journal of Mining Science and Technology. 2016. Vol. 26. Iss. 4. pp. 601–607.
6. Sytnik A. A., Zigel F. S., Kompanets V. F., Polyakovskiy V. S. Mine arched support: Review and references. Donetsk: 1992. 36 p.
7. Kasparyan E. V., Rozynko A. A., Iodis M. A., Mahanov A. B., Kulikov E. Ye. Geomechanics. Textbook. Muminov: MGITU, 2016. Part 1. 272 p.
8. Bieniawski Z. T. Rock mechanics design in mining and tunneling. Rotterdam: A. A. Balkema, 1984. 272 p.
9. Baikentzin M. A., Baikentzin G. T., Baikentzin I. N. Experimental and analytical method for assessing stability of slopes. Journal of Mining Science. 2012. Vol. 48. Iss. 4. pp. 609–615.
10. Musayev A. A., Musayev V. M., Fikina L. O. New developments in the field of bolting and increase of stability of rock outcrops in mines. Vestnik Karakumskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. 2015. No. 1-107. pp. 41–44.
11. Hoek E., Brown E. T. Empirical Strength Criterion for Rock Masses. Journal of the Geotechnical Engineering Division. 1990. Vol. 106. pp. 1013–1035.
12. Kalmykov V. M., Lashin V. M., Zubov A. A., Koryakovskiy S. S., Volkov P. V. The feature of construction increased combined for an underground mines. GAZ. 2015. Iss. 3. Conditions of stable functioning of mineral resource complex of Russia. Special issue 15. pp. 63–69.
13. Hoek E., Brown E. T. Practical estimates of rock mass strength. International Journal of Rock Mechanics and Mining Science. 1997. Vol. 34. No. 8. pp. 1165–1186.
14. Baikentzin M. A., Manasbarmay A. B. Geodynamic stability of underground excavations. International. 2017. No. 6-1101. pp. 62–64.
15. Managou Kang. Support technologies for deep and complex roadways in underground coal mines: a review. International Journal of Coal Science & Technology. 2014. Vol. 1. Iss. 3. pp. 261–277.
16. Shaochun Wang, Wen Zhou, Qingzhang Cai, Yangang Shi, Xiang Lu, Boyu Luan. The Coal Mining Model Under Steeply Slope in Fuminhe Open Pit Coal Mines. Geotechnical and Geological Engineering. 2019. Vol. 37. Iss. 5. pp. 3727–3737.
17. Demin V. F., Maysymbayeva A. G. Basics for mining practice. Textbook. Karaganda: KarGTU, 2018. 295 p.
18. Hao Wu, Kulabekov P. H. S. W., Guoyan Zhao, Wenzhang Liang, Enpei Wang. A comprehensive study of fracture evolution of brittle rock containing an inverted U-shaped cavity under uniaxial compression. Computers and Geosciences. 2019. Vol. 116. 103219. DOI: 10.1016/j.cageo.2019.103219.
19. Songling Guo, Shengwen Qi, Fei Zou, Bowen Zheng. Numerical Studies on the Failure Process of Heterogeneous Brittle Rocks or Rock-Like Materials under Uniaxial Compression. Materials. 2017. Vol. 10. Iss. 4. 378. DOI: 10.3390/ma10040378.
20. Lashchikov V. M., Ereminov V. A., Sandy M. P., Bucher R. Underground excavation support in deformable and rockburst hazardous rock mass conditions. Горный журнал. 2014. No. 4. pp. 37–43.
21. Seryakov V. M. Calculation of rock mass stresses considering rock mass–support interaction in mines. Journal of Mining Science. 2016. Vol. 52. Iss. 5. pp. 851–856.
22. Protopenya A. G., Iuguen N. B. The forecast of stress state of massif at the area of mine shaft and gallery junction. Известия вузов. Горный журнал. 2015. No. 7. pp. 50–55.
23. Demin V. F. Geomechanical control in underground mining. Educational aid. Almaty: SSK, 2018. 272 p.

КАНТОВИЧУ ЛЕОНИДУ ИВАНОВИЧУ – 85 ЛЕТ



27 мая 2021 г. исполняется 85 лет Леониду Ивановичу Кантовичу – доктору технических наук, профессору кафедры горного оборудования, транспорта и машиностроения НИТУ «МИСиС», заместителю председателя Экспертного совета по проблемам разработки месторождений твердых и полезных ископаемых ВАК РФ, заслуженному деятелю науки и техники Российской Федерации, дважды лауреату премии Правительства Российской Федерации, лауреату премии имени А. М. Терпигорева, полному кавалеру почетного знака «Шахтерская слава», Почетному строителю Российской Федерации.

Научная, педагогическая и производственная деятельность Леонида Ивановича Кантовича многогранна и охватывает горное дело и машиностроение.

В течение 35 лет (1980–2015 гг.) Л. И. Кантович возглавлял кафедру «Горные машины и оборудование». Им подготовлено более 200 горных инженеров, 48 кандидатов и 15 докторов технических наук. Стаж его научной и педагогической деятельности – более 50 лет.

Являясь ведущим ученым в области создания и исследования карьерных буровых станков, проходческого оборудования и автоматизированных фронтальных агрегатов для выемки угля без присутствия людей в забое, он возглавляет научную школу создания машин для горной промышленности и городского подземного строительства.

Коллектив НИТУ «МИСиС», Экспертный совет Высшей аттестационной комиссии, редколлегия и редакционная коллегия «Горного журнала», коллеги, друзья и соратники от всей души поздравляют Леонида Ивановича с юбилеем и желают ему крепкого здоровья, благополучия, творческого вдохновения и новых достижений в профессиональной деятельности.

УДК 622.235

ИННОВАЦИОННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ВЗРЫВАНИЯ СКВАЖИННЫМИ ЗАРЯДАМИ НАПРАВЛЕННОГО ДЕЙСТВИЯ С КУМУЛЯТИВНЫМ ЭФФЕКТОМ

Ф. Я. УМАРОВ¹, директор, д-р техн. наукГ. С. НУТФУЛЛОВ¹, начальник отдела, канд. техн. наук, gafurcom@mail.ruВ. А. БЕЛИН², проф., д-р техн. наукЗ. С. НАЗАРОВ³, доцент, канд. техн. наук¹Алмалыкский филиал НИТУ «МИСиС», Алмалык, Узбекистан²Горный институт НИТУ «МИСиС», Москва, Россия³Навоийский государственный горный институт, Навои, Узбекистан

Введение

Одним из наиболее энергоемких процессов при разработке месторождений твердых полезных ископаемых является взрывная подготовка горной массы, которая во многом определяет эффективность и себестоимость добычи. От качества взрывной подготовки зависят результаты работы всего технологического комплекса. Повышение эффективности горных работ за счет совершенствования взрывных технологий позволяет обеспечить поступательное развитие горнодобывающих отраслей.

Широкий диапазон изменения физико-механических характеристик и многообразие горно-технологических свойств пород сложноструктурных месторождений требуют индивидуального подхода при выборе рациональных технологических параметров ведения горных работ для каждого разрабатываемого участка. В первую очередь это касается подготовки пород к выемке взрывным способом.

Буровзрывные работы (БВР) на современных горнодобывающих предприятиях пока остаются практически единственным способом разрушения прочных горных пород. Являясь начальным процессом технологии добычи, они определяют эффективность всех последующих процессов — от погрузки и транспортирования до механического дробления и переработки минерального сырья. Равномерность и крупность дробления массива, процент выхода негабарита, проработка подошвы уступа, величина перебур скважин, ширина развала горной массы — эти и другие характеристики определяют качество выполненных БВР. Исследование и разработка новых конструкций скважинных зарядов, позволяющих обеспечить необходимое качество взорванной массы, уменьшить величину перебур скважин и улучшить проработку подошвы уступа, является важной задачей, от успешного решения которой в конечном счете будет зависеть экономическая эффективность работы горных предприятий.

При реализации известных способов взрывного разрушения массива разнопрочных горных пород не обеспечивается равномерное дробление крепких пропластков [1–5], что ведет к ухудшению качества подготовки горной массы и повышенным затратам на экскавацию. При изучении процессов взрывного разрушения массива разнопрочных горных пород сложноструктурных месторождений с применением скважинных зарядов ВВ необходимо особое внимание уделять выявлению физических особенностей их разрушения в зависимости от конкретных структурных и прочностных свойств взрывающего массива.

Существующая технология ведения взрывных работ с использованием сплошных или рассредоточенных скважинных зарядов ВВ предполагает наличие перебур на нижележащий горизонт для

Выполнен анализ перспективных методов совершенствования взрывной подготовки горной массы. Разработана конструкция скважинного заряда направленного действия с использованием кумулятивного эффекта, что позволяет уменьшить расходы на буровзрывные работы. Предлагаемая технология предусматривает рассредоточение заряда ВВ инертным промежутком. При этом нижний элемент заряда изготавливают из ВВ, соответствующего прочностным характеристикам пород в подошве уступа, а верхняя часть должна соответствовать категории взрываемости пород, слагающих уступ. Расположение в донной части скважины кумулятивной воронки оказывает влияние на интенсивность взрывного разрушения пород. Определены эффективные параметры кумулятивной воронки в конструкции скважинного заряда ВВ.

Ключевые слова: скважина, заряд ВВ, конструкция, кумулятивный эффект, подошва уступа, высота кумулятивной облицовки, действие детонационной волны, численное моделирование.

DOI: 10.17580/gzh.2021.05.08

проработки подошвы разрабатываемого уступа. При этом происходит разрушение верхней части нижележащего уступа, что обуславливает обрушение устьев взрывных скважин при последующем обрушении нижележащего горизонта. Потеря части скважин в результате обрушения наносит технический и экономический ущерб горному предприятию, разрабатывающему крепкие породы сложноструктурного месторождения, каковым является Алмалыкский горно-металлургический комбинат (АГМК) (Узбекистан) [6], который на сегодняшний день является одним из лидеров в разработке месторождений открытым способом. Здесь пристальное внимание уделяют прогрессивным способам добычи, а также инновационным проектам.

Разработка месторождения медно-порфировых руд Сары-Чеку была начата в 1974 г. В геологическом отношении месторождение представлено вулканогенными образованиями нижнего девона, которые подразделяются на три горизонта (снизу вверх): андезитовых порфиров, кварцевых порфиров и андезитодацитовых порфиров с коэффициентом крепости по шкале проф. М. М. Протодакенова $f = 14\div 15$. Руду данного карьера перерабатывают на медной обогатительной фабрике № 2. В целях дальнейшего повышения производительности и увеличения выпуска цветных и драгоценных металлов ее проектную мощность увеличили до 5 млн т руды в год. Проектная мощность карьера до реконструкции составляла 4 млн т руды в год.

Анализ существующих технических решений

Наличие перебур взрывных скважин требует дополнительных затрат на бурение и расход взрывчатых веществ. При этом в процессе взрывания повреждается нижележащий горизонт, что снижает эффективность буровзрывных работ. Кроме того, взрыв части заряда в перебуре вызывает сейсмическую волну, которая может негативно сказаться на целостности охраняемых объектов [7, 8]. Главным образом это относится к змудсионным ВВ высокой

плотности [9–12]. Выполненные ранее теоретические и лабораторные исследования [13–14] и анализ существующих технических решений показывают, что форма донной части заряда оказывает существенное влияние на состояние поверхности и качество подошвы уступа после взрыва. Различные формы донной части предлагаются выполнять с помощью кумулятивных воронок, представляющих собой конус, изготовленный из инертного материала. При определенных геометрических параметрах кумулятивной воронки обеспечивается расширение зоны усиленного динамического нагружения на донную часть скважины и уменьшение воздействия отраженной ударной волны на материал забойки.

Создание камуфлетной выемки в нижней части скважинного заряда возможно за счет поливинилхлоридных скважинных затворов (ПЭСЗ) конструкции ИГД им. А. А. Скочинского [15], представляющих собой эластичные конусы, к основанию которых крепят опоры с подпятниками. Установку ПЭСЗ в скважинах на заданной глубине выполняют посредством жесткой и прочной опоры, в качестве которой используют деревянные стержни или промышленные трубы из поливинилхлорида (ПВХ). Длина опоры равна длине воздушного промежутка. При поступлении первой порции ВВ в скважину эластичный конус раскрывается, образуя камуфлетную выемку и надежно перекрывая сечение скважины.

С помощью физического моделирования действия взрыва скважинных зарядов ВВ в разнородном горном массиве [16–21] была разработана технология взрывания скважинного заряда ВВ с кумулятивной выемкой в его нижней части, позволяющая в условиях широкого диапазона изменения горно-геологических свойств пород повысить эффективность дробления массива, обеспечив создание компактного однородного по фракционному составу развала.

Таким образом, используя полученные результаты, была разработана конструкция заряда, в которой на дне скважины расположена кумулятивная воронка. Это позволяет снизить величину перебура скважинных зарядов, выйти на проектную отметку подошвы уступа и обеспечить необходимый гранулометрический состав взорванной массы.

Данная конструкция благодаря расположению заряда ВВ с кумулятивной выемкой непосредственно над зоной подошвы уступа позволяет усилить воздействие взрыва на нее. Кумулятивная выемка образует струю, которая создает волну напряжения, направленную вниз и в стороны от скважины. В свою очередь, волны напряжений от кумулятивного заряда, направленные вверх, осуществляют дополнительное дробление вышележащих пород. Направление энергии части заряда ВВ в нижнюю часть скважины увеличивает время воздействия взрыва на массив и создает дополнительные напряжения в разрушаемом массиве.

Заряд данной конструкции формируют следующим образом (рис. 1).

На дно скважины опускают поливинилхлоридный или картонный отрезок трубы с внешним диаметром, соответствующим диаметру скважины 1, который служит для создания фокусного расстояния; над ним устанавливают кумулятивную воронку 2, засыпают ВВ 3, опускают промежуточный детонатор 4, заряжают остальное количество ВВ и формируют забойку 5.

При этом диаметр конусной воронки на 10–20 % меньше диаметра скважины, а ее высота для скважин диаметром 250 мм должна быть равна 210–280 мм. Оптимальный угол между образующими конуса воронки должен составлять 40–50° со стенками скважины в зависимости от крепости взрываемых пород, находящихся в нижней части уступа.

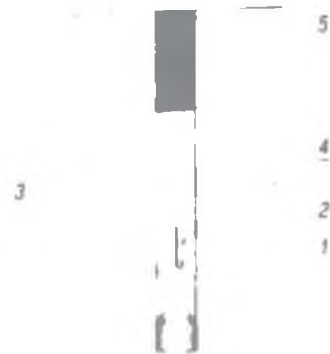


Рис. 1. Конструкции скважинного заряда ВВ с использованием кумулятивного эффекта:
1 – отрезок пластиковой или картонной трубы;
2 – кумулятивная воронка;
3 – заряд ВВ;
4 – промежуточный детонатор, 5 – забойка

Скважины заряжают теми же ВВ, которые приняты к использованию на данном предприятии. При наличии в зоне подошвы взрываемого уступа скальных «репчи» пород рекомендуется применять ВВ с большей скоростью детонации и повышенной бризантностью. Для выбора этих ВВ предварительно определяют пределы прочности взрываемых пород. При этом выбор ВВ для скважинного заряда осуществляют по величине скорости детонации ВВ, рассчитываемой из соотношения

$$D_A = D_0 \sqrt{2 \frac{\sigma_{\text{ср}}^{\text{схл}}}{\sigma_{\text{ср}}^{\text{вм}}} - 2 \sqrt{\frac{\sigma_{\text{ср}}^{\text{схл}}}{\sigma_{\text{ср}}^{\text{вм}}} + 1}},$$

где D_0 – скорость детонации ВВ для заряжания донной части скважин, м/с; D_A – скорость детонации ВВ для заряжания основных скважин, м/с; $\sigma_{\text{ср}}^{\text{схл}}$ – предел прочности скальных пород на растяжение, Па; $\sigma_{\text{ср}}^{\text{вм}}$ – предел прочности вмещающих пород на растяжение, Па.

Предлагаемая технология предусматривает и рассредоточение заряда взрывчатых веществ инертным промежутком. Нижний элемент заряда изготавливают из ВВ, соответствующего прочностным характеристикам пород зоны подошвы уступа, а верхняя часть должна соответствовать категории взрываемости пород, слагающих уступ. Данная технология представляет собой усовершенствованный вариант технологии взрывания разнородных пород, защищенный патентом РФ [22]. Основное отличие заключается в том, что при наличии твердых включений в нижней части уступа кумулятивные выемки создают в основных скважинах, а укороченные скважины используют только при соответствующих горно-геологических условиях.

Промышленные испытания способа разрушения массива горных пород скважинными зарядами ВВ с кумулятивным эффектом

Для проведения испытаний в промышленных условиях согласно разработанной и утвержденной программе был выделен участок массива с коэффициентом крепости пород по шкале проф. М. М. Протодьяконова $f = 14\div 16$ на горизонте 1160–1145 м карьера «Сары-Чеку» АГМК.

Был подготовлен экспериментальный взрывной блок № 8: скважины диаметром 250 мм бурили станком СБШ-250МН, расстояние между скважинами 7 м, между рядами скважин 8 м. Блок состоял из 21 скважины глубиной 16 м с уменьшением перебура на 2 м по сравнению с базовым способом. Для заряжания скважин использовали взрывчатое вещество типа ANFO, применяемое при базовом способе взрывания на карьере «Сары-Чеку» (рис. 2).

На участке экспериментального блока глубина скважин составляла 16 м, а при базовом варианте она равна 18 м. Конструкция



Рис. 2. Экспериментальный участок для проведения опытно-промышленных испытаний разработанного способа дробления

заряда была принята сплошной колонковой с обратным инициированием одним промежуточным детонатором (рис. 3)

Масса основного заряда аммиачно-селитренного ВВ типа ANFO на экспериментальном участке составляла для каждой скважины 400 кг с удельным расходом ВВ 0,44 кг/м³. При базовом варианте масса заряда составляет 550 кг, удельный расход ВВ 0,61 кг/м³. Для инициирования основного заряда ANFO использовали промежуточный детонатор из патронированного эмульсионного взрывчатого вещества (ЗВВ) «Алманит» диаметром 90 мм и массой 2 кг.

Технические характеристики патронированного ВВ «Алманит» приведены ниже.

Расчетные характеристики	
Кислородный баланс, %	-0,54
Теплота взрыва, кДж/кг (ккал/кг)	2,93 (701)
Объем газов, м ³ /кг	921
Тротильный эквивалент по теплоте взрыва	1
Экспериментальные данные	
Скорость детонации, км/с для диаметра 90±2 мм	5,2–5,4
Критический диаметр, мм	20
Температура вспышки, °C	375
Работоспособность, см ³	430

Взрывчатое патронированное ЗВВ «Алманит» допущено для применения на открытых и подземных горных работах в условиях, не опасных по газу и пыли, а также при механизированном и ручном способах заряжания скважин и шпуров.

Взрывание скважинных зарядов осуществляли с применением неэлектрической системы инициирования «Искра».

Для создания конструкции скважинного заряда ВВ с кумулятивным эффектом был применен металлический конус, изготовленный из стали толщиной 2 мм. Диаметр конуса был равен 220 мм, что на 30 мм меньше диаметра скважины. Далее скважину заряжали ВВ (ANFO) над металлическим конусом. Над конусной облицовкой вместе с зарядом ВВ устанавливали промежуточный детонатор, выполненный из патронированного ЗВВ «Алманит», инициируемый НСИ «Искра». Конструкция заряда была принята сплошной колонковой с обратным инициированием одним промежуточным детонатором.

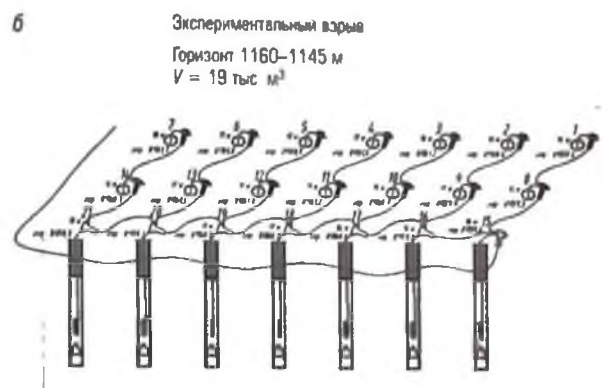
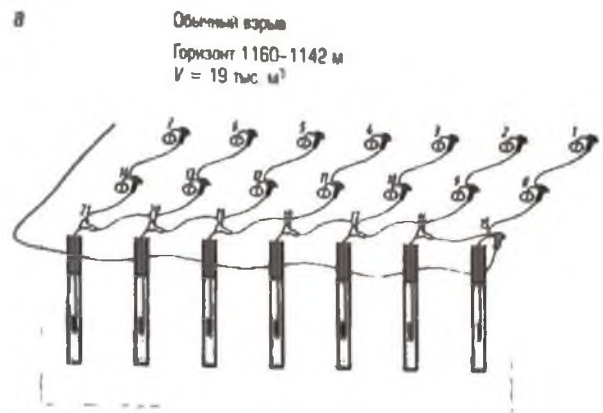


Рис. 3. Неэлектрическая схема взрывания обычным способом (а) и с кумулятивным эффектом (б)

При промышленных испытаниях разработанной конструкции скважинного заряда ВВ с кумулятивным эффектом была взорвана горная масса в объеме 19 тыс м³. После взрыва обнаружить элементы кумулятивной выемки практически не удалось.

Основными факторами, определяющими эффективность предлагаемого способа взрывания по отношению к базовому варианту, приняты гранулометрический состав взорванной горной массы и качество проработки подошвы уступа.

Гранулометрический состав взорванной горной массы и качество проработки подошвы уступа определяли посредством маркшейдерской съемки. Применение разработанной конструкции скважинного заряда ВВ с кумулятивным эффектом позволило обеспечить снижение среднего размера куска взорванной горной массы, а также добиться удовлетворительного качества проработки подошвы уступа с уменьшением перебура скважин на 2 м (рис. 4).

После каждого взрыва в процессе экскавации пород был проанализирован гранулометрический состав взорванной горной массы. Сравнительные данные по гранулометрическому составу при базовом и разработанном способах дробления разнопрочных горных пород приведены в табл. 1 и на рис. 5.

При числе скважин, равном 21, достигнуто сокращение объемов бурения на 42 м, что также позволило сократить расход ВВ ANFO на 3150 кг.

Основываясь на результатах промышленных испытаний, определено, что снижение затрат на бурение скважин составило 8 тыс. руб. при себестоимости бурения 1 м 190 руб. Снижение расходов на ВВ составляет 38,5 тыс. руб. при стоимости ВВ ANFO 12 тыс. руб./т. Сокращение объемов бурения позволило достичь снижения расхода вспомогательных материалов и фонда зарплаты (шарошечные



Рис. 4. Средний размер кусков при использовании базового (а) и разработанного (б) способов дробления массива горных пород

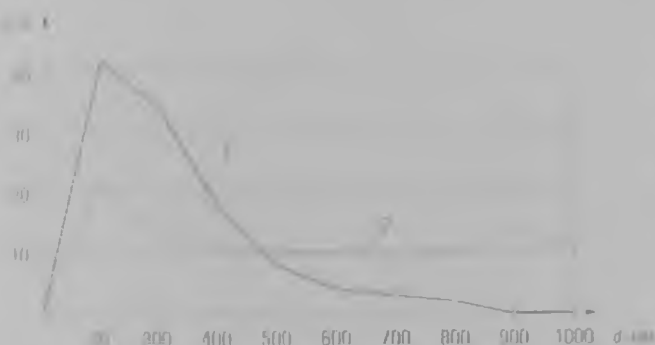


Рис. 5. Гранулометрический состав взорванной горной массы при разработанном (1) и базовом (2) способах дробления массива горных пород

долота, буровые штанги, основная зарплата, амортизация, общецеховые расходы) на сумму 21,7 тыс. руб. Общее снижение затрат при взрывании 21 скважинного заряда ВВ при применении разработанного способа превысило 67 тыс. руб. Для проведения взрывных работ был изготовлен 21 конус стоимостью 959 руб. каждый. Общая стоимость конусов составила 20 тыс. руб. Экономический эффект при взрывании 19 тыс. м³ горной массы составляет 47 тыс. руб., а экономия средств на 1 м³ взорванной массы 2,5 руб. (табл. 2).

Выводы

1. Предложенная новая конструкция скважинного заряда с кумулятивной выемкой в донной части явилась развитием технологии взрывания разнопрочных пород, защищенная патентом РФ. Основное отличие заключается в том, что при наличии твердых включений в нижней части уступа кумулятивные выемки создают в основных скважинах, а укороченные скважины используют только при соответствующих горно-геологических условиях.

Разработанный способ взрывания разнопрочных пород позволил обеспечить равномерное дробление горных пород за счет направленной энергии взрыва в зоне подошвы уступа, снизить удельный расход ВВ на 10 % и затраты на бурение взрывных скважин.

2. Определены эффективные параметры кумулятивной воронки в конструкции скважинного заряда ВВ.

3. Разработана методика расчета параметров буровзрывных работ при дроблении горных пород зарядами с кумулятивными выемками в донной части, размещаемыми на уступе без перебура, что позволяет оптимизировать затраты на бурение и взрывание.

Таблица 1. Сравнительные данные по гранулометрическому составу при базовом и разработанном способах дробления массива горных пород

Линейный размер фракций d, мм	Содержание фракций в зависимости от способа дробления n, %	
	Базовый	Новый
0–300	21,1	41,1
301–400	11,1	31,2
401–500	10,3	17,0
501–600	11,9	7,2
601–700	11,4	1,9
701–800	6,2	0,9
801–900	7,1	0,5
901–1000	10,7	–
Более 1000	10,2	–

Таблица 2. Экономические показатели разработанного способа дробления горных пород скважинными зарядами ВВ с кумулятивным эффектом

Показатели	Способы взрывания массива горных пород	
	Базовый	Новый
Высота уступа, м	15	15
Глубина скважин базовый вариант, м	18	–
Глубина скважин с кумулятивной выемкой, м	–	16
Диаметр скважин, мм	250	250
Сетка взрывных скважин, м	7×8	7×8
Число основных взрывных скважин в блоке, ед.	21	21
Масса ВВ в основной скважине, кг	550	400
Общая масса ВВ в скважинах, кг	11550	8400
Длина заряда в скважине, м	11	8
Объем взорванной горной массы, м ³	19000	19000
Удельный расход ВВ, кг/м ³	0,61	0,44
Стоимость 1 т ВВ, руб.	12000	12000
Затраты на ВВ, руб.	138000	116300
Затраты на вспомогательные материалы (шарошечные долота, буровые штанги, масло и др.) на 1 м скважин, а также основная зарплата, отчисления, амортизация, общецеховые расходы, электроэнергия и т. д., руб.	5170	
Конусная облицовка (21 ед.), руб.	–	20000
Фактически экономический эффект на 19 тыс. м ³ взорванной горной массы (в ценах на 10.04.2019 г.), руб.	–	47000

Библиографический список

1. Котенко Е. А., Мальгин О. Н., Сытенков В. Н., Рубцов С. К. Опыт применения БВР при поточной технологии разработки разнопрочных пород на карьерах пластовых месторождений осадочного типа // Горный вестник Узбекистана. 2001. № 1. С. 52–57.
2. Мосинцев В. Н., Котенко Е. А., Мальгин О. Н., Рубцов С. К., Климов Ю. В. Внедрение метода дифференцированного выбора параметров БВР при взрывании разнопрочных массивов пород с крепкими пропластками для поточной технологии на урановых карьерах пластовых месторождений Учкудук и Меловое // Горный вестник Узбекистана. 2001. № 1. С. 57–63.
3. 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.
4. Оверченко М. Н., Толстунов С. А., Мозер С. П. Влияние горно-геологических условий и техногенных факторов на устойчивость взрывных скважин при открытой разработке апатит-нефелиновых руд // Записки Горного института. 2018. Т. 231. С. 239–244.
5. Zong-Xian Zhang. Rock Fracture and Blasting. Theory and Applications. Oxford: Butterworth-Heinemann, 2016. – 528 p.
6. Фарманов А. К. Алмалыкскому ГМК – 60 лет // Горный журнал. 2009. № 8. Спец. выпуск. С. 5–11.
7. Белин В. А., Кутузов Б. Н., Ганопольский М. И., Оверченко М. Н. Технология и безопасность взрывных работ. Сер. Библиотека горного инженера. – М.: Горное дело ООО «Киммерийский центр», 2016. Т. 10. Взрывное дело. Кн. 2. – 423 с.
8. Gui Y. L., Zhao Z. Y., Jayasinghe L. B., Zhou H. Y., Goh A. T. C., Tao M. 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.
9. Barton N., Choubey V. The shear strength of rock joints in theory and practice // Rock Mechanics and Rock Engineering. 1977. Vol. 10. Iss. 1. P. 1–54.
10. Pettersson K. E. Die Kaimauerrufschung in Gothenburg. – Tehnisk Tidskrift, 2016.
11. Hemant Agrawal, Arvind Kumar Mishra. A Study on Influence of Density and Viscosity of Emulsion Explosive on Its Detonation Velocity // Modelling, Measurement and Control C. 2018. Vol. 78. No. 3. P. 316–336.

«GORNYI ZHURNAL», 2021, № 2, pp. 63–68
DOI: 10.17580/gzh.2021.05.06

Innovative technology of directional blasting using shaped charges

Information about authors

F. Ya. Umarov¹, Director, Doctor of Engineering Sciences

G. S. Nutfulloev¹, Head of a Department, Candidate of Engineering Sciences, gafurcom@mail.ru

V. A. Belin², Professor, Doctor of Engineering Sciences

Z. S. Nazarov³, Associate Professor, Candidate of Engineering Sciences

¹HUST MISIS Division in Almalyk, Almalyk, Uzbekistan

²HUST MISIS College of Mining, Moscow, Russia

³Navoi State Mining Institute, Navoi, Uzbekistan

Abstract

Enhancement of mining performance is inseparable from blasting improvement. The quality of rock fragmentation by blasting for further processing and manufacture of final products governs the rate and efficiency of advance in the mining sector. The analysis of promising approaches to improvement of quality of rock fragmentation by blasting shows that the main way is to use modern physical fields to intensify detonation processes, for instance, to utilize cumulative effect of blasting. The authors have designed a shaped charge with cumulative effect, which allows making the bench bottom lower and enables the blasting expenses to be reduced. With this charge design, an explosive charge is located immediately above the bench bottom, which increases the detonation wave impact on the bottom. The shaped charge generates a jet that creates a shock wave directed downward and sideways from the borehole. The stress waves directed upward from the shaped charge ensure additional fragmentation of overlying rocks. Direction of some explosive charge energy to the bottom of the borehole extends the time of the blast energy effect on enclosing rock mass and creates two stress waves. The proposed technology allows also decoupling of explosive charges with an inert gap. The lower charge element is made of an explosive conformable with the strength characteristics of rocks in the bench bottom, and the upper part of the charge is to conform with the blastability category of the bench rocks. Making a charge cavity at the bottom of the borehole allows having influence on the intensity of rock fragmentation by blasting. Efficient parameters of the charge cavity in the shaped charge design are determined.

Keywords: borehole, explosive charge, design, cumulative effect bench bottom, jet lining height, detonation wave effect, numerical modeling.

12. Mertuszka P., Cenian B., Kramarczyk B., Pytel W. Influence of Explosive Charge Diameter on the Detonation Velocity Based on Emulinit 7L and 8L Bulk Emulsion Explosives // Central European Journal of Energetic Materials. 2018. Vol. 15(2). P. 351–363.
13. Arvind Kumar Mishra, Manamohan Rout, Deepanshu Ranjan Singh, Sakti Pada Jana. Influence of Gassing Agent and Density on Detonation Velocity of Bulk Emulsion Explosives // Geotechnical and Geological Engineering. 2018. Vol. 36. Iss. 1. P. 89–94.
14. Воробьев В. В., Пеев А. М., Щетинин В. Т. Снижение динамического воздействия ударных волн на материал забойки скважинного заряда // Вестник Кременчугского государственного политехнического университета. 2004. Вып. 6(29). С. 124–126.
15. Воробьев В. В., Пеев А. М., Славко Г. В. Изменение степени проработки подошвы уступа при взаимодействии зарядов с различной формой донной части // Научный вестник Национального горного университета. 2005. № 3. С. 31–33.
16. Методические указания по применению зарядов рациональной конструкции с активной забойкой скважин на угольных разрезах. – М.: ИГД им. А. А. Скочинского, 1979. – 29 с.
17. Бунин Ж. В., Нутфуллоев Г. С. Методика исследования действия зарядов взрывчатых веществ с кумулятивным эффектом в разнопрочных горных породах. – М.: Изд-во РГГУ, 2014. – 50 с.
18. Годовников Н. А., Дунаев В. А., Изгантенов И. М. Методика построения прогнозно-деформационной модели прибортовой зоны карьера в массивах скальных пород // ГИАБ. 2018. Спец. выпуск 1. Труды международного научного симпозиума «Неделя горняка-2018». С. 72–78.
19. Белин В. А., Холодилов А. Н., Господариков А. П. Методические основы прогнозирования сейсмического действия массовых взрывов // Горный журнал. 2017. № 2. С. 66–69. DOI: 10.17580/gzh.2017.02.12
20. Aloui M., Bleuzen Y., Essafi E., Abbes C. Ground Vibrations and Air Blast Effects Induced by Blasting in Open Pit Mines. Case of Mellouli Mining Basin, Southwestern Tunisia // Journal of Geology & Geophysics. 2016. Vol. 5. Iss. 3. DOI: 10.4172/2381-8719.1000247
21. Оверченко М. Н., Мозер С. П., Толстунов С. А., Белин В. А. Расчет элементов управления энергией взрыва эмульсионных взрывчатых веществ с применением программируемых устройств для их инициирования // ГИАБ. 2020. № 2. С. 92–100.
22. Пат. 2594236 РФ. Способ взрывного разрушения массива разнопрочных горных пород расщедоточенными и укороченными скважинными зарядами с кумулятивным эффектом / Р. А. Рахманов, Г. С. Нутфуллоев, С. Д. Виктор и др.; заявл. 27.05.2015; опубл. 10.08.2016, Бюл. № 22. 

References

1. Kotenko E. A., Malgin O. N., Sytenkov V. N., Rubtsov S. K. Experience of blasting in continuous flow process technology for open pit mining of different-strength stratified sedimentary deposits. *Gornyi vestnik Uzbekistana*. 2001. No. 1. pp. 52–57.
2. Mosinets V. N., Kotenko E. A., Malgin O. N., Rubtsov S. K., Klimov Yu. V. Introduction of method to select differentiated drilling and blasting pattern designs for different strength rock masses with hard bands in continuous flow process technology of open pit uranium mining at Uchkuduk and Melovoe stratified deposits. *Gornyi vestnik Uzbekistana*. 2001. No. 1. pp. 57–63.
3. 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.
4. Overchenko M. N., Tolstunov S. A., Mozer S. P. Influence of mining-geological conditions and technogenic factors on blastholes stability during open mining of apatite-nepheline ores. *Journal of Mining Institute*. 2018. Vol. 231. pp. 239–244.
5. Zong-Xian Zhang. Rock Fracture and Blasting. Theory and Applications. Oxford: Butterworth-Heinemann, 2016. 528 p.
6. Farmanov A. K. Almalyk Mining and Processing Works is 60. *Gornyi Zhurnal*. 2009. No. 8. Special issue. pp. 5–11.
7. 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.
8. Gui Y. L., Zhao Z. Y., Jayasinghe L. B., Zhou H. Y., Goh A. T. C., Tao M. 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.
9. Barton N., Choubey V. The shear strength of rock joints in theory and practice. *Rock Mechanics and Rock Engineering*. 1977. Vol. 10, Iss. 1. pp. 1–54.
10. Pettersson K. E. Die Kaimauerrufschung in Gothenburg. *Tehnisk Tidskrift*, 2016.
11. Hemant Agrawal, Arvind Kumar Mishra. A Study on Influence of Density and Viscosity of Emulsion Explosive on Its Detonation Velocity. *Modelling, Measurement and Control C*. 2018. Vol. 78, No. 3. pp. 316–336.
12. Mertuszka P., Cenian B., Kramarczyk B., Pytel W. Influence of Explosive Charge Diameter on the Detonation Velocity Based on Emulinit 7L and 8L Bulk Emulsion Explosives. *Central European Journal of Energetic Materials*. 2018. Vol. 15(2). pp. 351–363.

1. Kumar, R. S., Manuvelan, R., Deepanish, R., Singh, J., Parth, S. A. Influence of loading speed and density on Detonation Velocity of Bulk Emulsion Explosives. *Geotechnical and Geophysical Engineering*. 2018. Vol. 16, No. 1. pp. 87–94.
2. Gopal, R. C., Gopal, A. M., Gopal, V. I. Influence of shock wave impact on emulsion charge formation. *Geotechnical Engineering, Geotechnical Engineering, Geotechnical Engineering*. 2018. Vol. 16, No. 1. pp. 124–128.
3. Gopal, V. I., Gopal, R. C., Gopal, V. I. Change in degree of the bench bottom shaped emulsion charge density of charges with different shaped bottom. *Geotechnical Engineering, Geotechnical Engineering*. 2018. Vol. 16, No. 1. pp. 131–135.
4. Gopal, V. I., Gopal, R. C., Gopal, V. I. Change in degree of the bench bottom shaped emulsion charge density of charges with different shaped bottom. *Geotechnical Engineering, Geotechnical Engineering*. 2018. Vol. 16, No. 1. pp. 131–135.
5. Gopal, V. I., Gopal, R. C., Gopal, V. I. Change in degree of the bench bottom shaped emulsion charge density of charges with different shaped bottom. *Geotechnical Engineering, Geotechnical Engineering*. 2018. Vol. 16, No. 1. pp. 131–135.

6. Gopal, V. I., Gopal, R. C., Gopal, V. I. Change in degree of the bench bottom shaped emulsion charge density of charges with different shaped bottom. *Geotechnical Engineering, Geotechnical Engineering*. 2018. Vol. 16, No. 1. pp. 131–135.
7. Gopal, V. I., Gopal, R. C., Gopal, V. I. Change in degree of the bench bottom shaped emulsion charge density of charges with different shaped bottom. *Geotechnical Engineering, Geotechnical Engineering*. 2018. Vol. 16, No. 1. pp. 131–135.
8. Gopal, V. I., Gopal, R. C., Gopal, V. I. Change in degree of the bench bottom shaped emulsion charge density of charges with different shaped bottom. *Geotechnical Engineering, Geotechnical Engineering*. 2018. Vol. 16, No. 1. pp. 131–135.
9. Gopal, V. I., Gopal, R. C., Gopal, V. I. Change in degree of the bench bottom shaped emulsion charge density of charges with different shaped bottom. *Geotechnical Engineering, Geotechnical Engineering*. 2018. Vol. 16, No. 1. pp. 131–135.
10. Gopal, V. I., Gopal, R. C., Gopal, V. I. Change in degree of the bench bottom shaped emulsion charge density of charges with different shaped bottom. *Geotechnical Engineering, Geotechnical Engineering*. 2018. Vol. 16, No. 1. pp. 131–135.

БРЮХОВЕЦКОМУ ОЛЕГУ СТЕПАНОВИЧУ – 80 ЛЕТ



21 апреля 2021 г. исполнилось 80 лет Олегу Степановичу Брюховецкому – крупному ученому и специалисту в области гидравлики и гидрофизических процессов в геологоразведочном и горном деле, профессору, доктору технических наук, заслуженному деятелю науки Российской Федерации, действительному члену Российской академии естественных наук, члену редакционной коллегии «Горного журнала».

Окончив с отличием в 1964 г. Московский государственный геологоразведочный институт (ныне – Российский государственный геологоразведочный университет (МГРИ)), О. С. Брюховецкий в течение 57 лет работает в родном вузе, занимая различные должности – от младшего научного сотрудника до первого проректора, от старшего преподавателя до заведующего кафедрой. С июня 2019 г. работает профессором кафедры «Горное дело».

В 1968 г. он защитил кандидатскую, а в 1991 г. – докторскую диссертацию.

Круг научных интересов О. С. Брюховецкого – комплексные задачи горно-геологических технологий, решаемые с привлечением методов гидравлики, гидрофизических теории и экспериментов, изучение гидросмесей минерального вещества и различных форм их движения в геотехнических системах, бинарные геофизические технологии, скважинные волоконно-оптические измерительные системы.

Им впервые научно обоснована идея гидротранспортной технологии, изучены гидродинамические аспекты движения полидисперсных гидросмесей в докритической зоне. Он является одним из разработчиков гидрофизической модели движения пластовых флюидов в земной коре, позволяющей вычислительными методами прогнозировать продуктивные залежи полезных ископаемых. Значительную часть своей творческой жизни О. С. Брюховецкий посвятил решению научно-технических проблем на ряде предприятий среднего машиностроения (Навоинский ГМК, Узбекистан, СГАО-ВИСМУТ, ГДР, Приаргунский ГХК), черной (КМА) и цветной (СУБР, Салаирский рудник, Гайский ГОК) металлургии. Особо следует отметить работу О. С. Брюховецкого по прогнозу развития научного потенциала в области глубокой переработки угля и углеводородов с оценкой источников комплексного месторождения угля и метана.

О. С. Брюховецкий – инициатор и создатель в РГГУ (МГРИ) кафедры гидравлики и гидрофизических процессов геологоразведочных и горных работ, двух учебно-научных лабораторий и специализации

«Комплексное использование водных ресурсов при освоении недр». По его инициативе в составе университета были созданы новые организационные структуры: Научно-исследовательский институт природопользования, Центр научно-технической и экологической экспертизы горно-геологических работ. При активном участии О. С. Брюховецкого разработана стратегия и приоритетные направления развития университета на ближайшие годы.

На протяжении 15 лет Олег Степанович являлся организатором и активным участником международных научных конференций «Новые идеи в науках о Земле», «Наука и новейшие технологии при поисках разведке и разработке месторождений полезных ископаемых», «Молодые – наукам о Земле», проводимых в стенах РГГУ (МГРИ) и получивших широкую известность в стране и за рубежом.

О. С. Брюховецкий является основателем научной школы по комплексному использованию водных ресурсов в недропользовании; автором более 390 научных работ, в том числе 30 монографий, учебников, учебных пособий, 25 авторских свидетельств на изобретения, имеет 6 патентов РФ. Им подготовлено 8 кандидатов и 2 доктора наук.

Олег Степанович ведет большую общественную работу, являясь членом трех диссертационных советов, заместителем руководителя геологоразведочного отделения РАЕН, членом редакционной коллегии «Горного журнала».

За большой вклад в развитие теории и практики горных наук, подготовку кадров для геологоразведочной и горной отраслей промышленности Олег Степанович Брюховецкий награжден государственными наградами и ведомственными знаками отличия, в том числе орденом Почета, Почетной грамотой Президента Российской Федерации, медалями «Ветеран труда», «В память 850-летия Москвы», «За заслуги в разведке недр» I степени, почетным знаком «Шахтерская слава» всех трех степеней и др. Он является Почетным профессором Ляонинского технического университета (КНР).

Сердечно поздравляя Олега Степановича Брюховецкого со знаменательной датой, горно-геологическая общественность желает ему крепкого здоровья, творческих успехов и плодотворной научной и педагогической деятельности.

Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе (МГРИ),
Министерство образования и науки РФ,
Министерство атомной промышленности РФ,
Российская академия естественных наук,
редколлегия и редакция «Горного журнала»

УДК 622 349 3

ТЕХНОГЕННЫЕ ОТХОДЫ – ЦЕННЫЙ ИСТОЧНИК РЕДКИХ МЕТАЛЛОВ ИЛИ ОБЪЕКТЫ РЕКУЛЬТИВАЦИИ?

Е. П. БУГРИЕВА, начальник сектора, bugrieva@yandex.ru

А. В. ТАРКАНОВ, главный научный сотрудник, д-р геол.-минерал. наук

А. В. ЛАВРЕНТЬЕВ, начальник лаборатории

Е. Б. СОЛНЦЕВА, руководитель направления – зам. начальника Центра по редким, редкоземельным и радиоактивным элементам

Ведущий научно-исследовательский институт химической технологии Госкорпорации «Росатом», Москва, Россия

Введение

Вопросы использования текущих и накопленных техногенных отходов (далее ТО), содержащих ценные компоненты, изучали многие отраслевые и академические научные организации, университеты и заинтересованные промышленные предприятия страны. АО «ВНИИХТ» более 30 лет занимается технологией переработки ТО с извлечением из них редких и редкоземельных металлов, а также утилизацией отходов с получением из них материалов, используемых в разных отраслях промышленности. В той или иной степени в АО «ВНИИХТ» изучено девять типов ТО, полученных при добыче и переработке полезных ископаемых (см. таблицу).

Техногенные отходы принято рассматривать в качестве реальных источников РМ и РЗМ, способных заменить природные месторождения для воспроизводства минерально-сырьевой базы [1–3]. Однако анализ результатов многолетнего изучения приводит к отличному от общепринятого мнению, что накопившиеся в огромном количестве ТО не только не являются особо ценным источником металлов, а, напротив, представляют собой вредные для окружающей среды объекты, занимающие огромные полезные площади; их ликвидация или хотя бы сокращение неблагоприятных последствий хранения требуют больших затрат и невозможны без участия государства.

Из девяти рассмотренных типов несомненный практический интерес представляют лишь некондиционные руды и пиритные огарки при условии получения из них реализуемой конкурентоспособной продукции и сокращения экологического ущерба.

Краткая характеристика типов техногенных отходов и их перспективность

Отвалы некондиционных руд

Некондиционные руды в принципе не являются ТО, так как они состоят на учете добывающего предприятия и представляют собой резервное сырье, но в случае, когда предприятие закрывается, как это произошло с Забайкальским ГОКом, забалансовые руды, например Завитинского бериллий-литиевого месторождения, можно рассматривать в качестве ТО (рис. 1).

Исследования, проведенные ранее, показали, что прямая флотация забалансовых руд по действующей на обогатительной фабрике технологии не дает удовлетворительных показателей по

Рассмотрены девять типов техногенных отходов, образующихся в различных отраслях промышленности. Выполнен анализ перспективности использования отходов в качестве источника сырья для получения редких, в том числе редкоземельных, металлов и побочных продуктов

Ключевые слова: техногенные отходы, некондиционные руды, пиритные огарки, шламохранилище, фосфогипс, красные шламы, золошлаки, рекультивация.

DOI: 10.17580/gzh.2021.05.07

качеству получаемых концентратов и извлечению в них ценного компонента. Содержание оксида лития в концентрате не превысило 2–2,5 %, а извлечение составило всего около 30 %.

В АО «ВНИИХТ» разработана комплексная технология обогащения (последовательно фотометрическая и рентгенолюминесцентная сепарации). Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки России в рамках договора на выполнение НИОКТР «Разработка промышленной технологии получения сподуменового концентрата и соединений лития из отвалов Завитинского месторождения для организации промышленного производства» (проект № 03 G25.31.0263), Постановление Правительства Российской Федерации от 9 апреля 2010 г. № 218.

Применение фотометрического метода сортировки позволяет выделить в хвосты около 40–50 % всех сланцев, содержащихся в руде (рис. 2). Темноцветные сланцы имеют повышенное содержание железа и оказывают отрицательное влияние на последующие технологические процессы. Флотация же концентратов фотометрической и рентгенолюминесцентной сепарации забалансовых руд позволила получить кондиционные литиевые концентраты с содержанием 4–4,5 % оксида лития при извлечении его в пределах 60–65 %. В настоящее время создано и выпускается оборудование нового поколения для фотометрического и рентгенолюминесцентного обогащения. Фотометрические (полихромные) сепараторы с высоким уровнем



Рис. 1. Отвалы забалансовых руд Завитинского месторождения

Характеристика техногенных отходов

Отрасль промышленности	Стадия производства	Номер	Тип техногенных отходов	Размеры отходов	Содержащиеся полезные компоненты
Горнорудная	Обогащение	1	Отвалы вскрышных и вмещающих пород, некондиционных руд	Млрд т	Li, Be, Nb, Ta
		2	Насыпные отвалы хвостов СМС, РС, ФМС, РПС и др.	Сотни млн т	Zr, PЗМ, Nb, Ta
		3	Шламохранилища хвостов ММС железных руд	Десятки км ²	Sc, U, PЗМ
		4	Шламохранилища хвостов флотации апатита и флюорита	Десятки км ²	P ₂ O ₅ , Ti, PЗМ
Химическая	Производство удобрений	5	Отвалы фосфогипса	250 млн т	PЗМ, Sr
	Производство глинозема	6	Шламохранилища «красных» шламов»	Десятки км ²	Sc, Ga, Y
	Производство H ₂ SO ₄	7	Отвалы пиритных огарков	4–10 млн т	Au, Ag
Металлургическая	Выплавка черных и цветных металлов	8	Отвалы шлаков и золы рудов	Млн т	Re, Cd, In, Au, As
Электроэнергетическая	Сжигание твердого топлива	9	Отвалы и шламоохранилища золы и шлаков	Млрд т	Ge, Ga, Sc, PЗМ

Примечание: РМ – редкие металлы, PЗМ – редкоземельные металлы, СМС – сухая магнитная сепарация, ММС – мокрая магнитная сепарация, РС – радиометрическая сепарация, ФМС – фотометрическая сепарация, РПС – рентгенолюминесцентная сепарация.

распознавания объектов производятся на основе достижений цифровой фототехники и модернизации электронных систем. Этими способами содержание Li₂O в предконцентрате удалось повысить до 0,56 %, что позволило направить его на флотацию вместе с кондиционной рудой по технологической схеме, представленной на рис. 3.

При переработке 1,8 млн т забалансовой руды из полученного флотационного концентрата можно извлечь 4000 т оксида лития [4, 5]. Другие попутные компоненты (бериллий, тантал, ниобий) присутствуют в незначительных количествах.

Отвалы пиритных огарков

Пиритные огарки, являющиеся отходами производства серной кислоты из пирита, давно и успешно перерабатываются в европейских странах. В Великобритании еще в 1900 г переработано 415 тыс. т огарков. В Германии в 1933 г хлорирующему обжигу подверглись 536 тыс. т пиритных огарков, из них извлечено 321 тыс. т железа, 9,1 тыс. т меди, 6,8 тыс. т цинка, 21 т серебра и 5,4 т золота. В Италии, Японии и Австрии пиритные огарки составляют половину сырья для выплавки железа. Переработка их ведется также в Испании, Польше, Чехословакии, Румынии и других странах [6].

В России накоплены десятки миллионов тонн пиритных огарков. На сернокислотном заводе АО «Аммофос» в г. Череповце в год образуется более миллиона тонн, на АО «Минудобрения» в г. Мелеузе (Башкортостан) – до 500 тыс. т. Известно несколько вариантов технологии переработки огарков с получением железных окатышей, цветных металлов, золота и серебра. Но нигде в России огарки не перерабатывались, возможно, это связано с незаинтересованностью металлургических предприятий, обеспеченных кондиционной железной рудой. Перевозка небольшого количества железа, получаемого из пиритных огарков, на большие расстояния экономически неоправдана. Как правило, железо извлекается из пиритных огарков только в тех странах, где нет собственных железорудных месторождений.



Рис. 2. Качественная оценка площади, занимаемой минералами в сподуменовом концентрате (белый цвет – поверхность, имеющая цветовую характеристику сподумена; темный – с цветовой характеристикой минералов вмещающих пород)

Насыпные отвалы хвостов обогащения

Единственным примером переработки такого рода ТО являются хвосты СМС Ковдорского ГОКа, отработывающего с 1963 по 1980 г. Ковдорское железорудное месторождение с извлечением только железа. За это время было накоплено 70 млн т хвостов, содержащих 11 % P₂O₅ и 0,26 % ZrO₂. Для их переобогащения была использована гравитационно-флотационная схема, в результате было получено 4 млн т апатитового и 19 тыс. т бадделитового концентратов [7]. Однако осталось более 60 млн т новых хвостов, более вредных, чем хвосты СМС, так как они загрязнены флотореагентами и требуют консервации.

Рядом с Ковдором находится Ловозерский ГОК, разрабатывающий месторождения лопарита (Nb, Ta, PЗМ). В хвостах обогащения лопаритовых руд накоплено большое количество эвдиалита. В пределах Ловозерского массива разведано крупнейшее месторождение этого минерала – Аллуайв. В АО «ВНИИХТ» совместно с Гиредметом разработана комплексная магнитно-электрическая сепарация эвдиалитовых руд [8]. Эвдиалитовый концентрат

с 1930 г. годов ежегодно добывается 27–30 млн т руды, извлекается до 10 млн т апатитового концентрата, а 18–20 млн т уходят в хвосты, сбрасываемые в плеса Имандра, Сеидозера и реку Белую. За 80 лет накопилось 870 млн т отходов обогащения. В них заключено примерно 50 млн т апатита, 500 млн т нефелина, 25 млн т сфена и 20 млн т титаномагнетита [7]. Была попытка разведать и переработать отходы 1930–1964 гг. в реке Белой, но технико-экономические расчеты показали, что переработка хвостов даже на обогащенных участках является нерентабельной, и дальнейшие работы в этом направлении были прекращены. Тем более что в настоящее время не перерабатываются даже более удобные для технологии текущие отходы из за несопоставимых количеств потенциальных продуктов и потребностей в них.

Отвалы фосфогипса

На заводах по производству фосфорной кислоты для минеральных удобрений из апатитовых концентратов Хибинской группы месторождений накоплено более 250 млн т фосфогипса. При этом отчуждаются большие площади земель, вредные вещества из отвалов проникают в почву, происходит пыление и выделение в газовую фазу фтора, что загрязняет атмосферу (рис. 4). Фосфогипс обогащен редкоземельными элементами (РЗМ) и стронцием. Сумма РЗМ колеблется от 0,2 до 0,5 %, они имеют ярко выраженный цериевый состав. Разработано много вариантов технологических схем переработки фосфогипса [9, 10], в частности, в АО «ВНИИХТ» предложена комплексная переработка методом углеаммониевой конверсии с последующей азотнокислотной обработкой конверсионного мела и выделением дезактивированного суммарного оксидного концентрата. При этом можно получить дополнительную продукцию для различных отраслей промышленности: сульфат аммония, аммиачную селитру, чистый карбонат кальция, высококачественный гипс. Извлечение РЗМ составляет 90–95 %. Опыт работы нескольких организаций, в том числе ИХТРЭМС КНЦ РАН, на Воскресенском заводе показал, что главным препятствием переработки фосфогипса является отсутствие потребности на внутреннем рынке в концентратах оксидов РЗМ и побочных продуктов [11].

Практически переработкой фосфогипса занимаются только мелкие предприятия, использующие незначительную часть отвалов. Полная переработка отвалов экономически неоправдана. Есть более дешевая альтернатива РЗМ, извлекаемым из фосфогипса, в виде получения их непосредственно из концентратов апатита в процессе производства удобрений [12]. Различные виды стройматериалов, производимые из отвалов, могут быть использованы в небольшом количестве. Для этого достаточно отвалов текущей переработки, тогда как, например, на АО «Аммофос» в г. Череповце складировано более 15 млн т и на АО «Воскресенские минудобрения» – около 20 млн т фосфогипса.

Полностью ликвидировать отвалы удастся в редких случаях. Например, в некоторых приморских странах фосфогипс используется для создания искусственных островов, а в США – для создания рифов для разведения креветок.

Шламохранилища «красных шламов»

Красные шламы (КШ) являются наиболее емким типом отходов химической промышленности, получаемых на алюминиевых



Рис. 4. Отвалы фосфогипса Уваровского химического завода

заводах по производству глинозема. Шламохранилища занимают огромные площади. Например, на Уральском и Богословском заводах – по 6,5 км².

КШ относятся к высокотоксичным отходам и представляют опасность для почвы, поверхностных вод и атмосферы [13]. Кроме того, шламы могут прорвать ограждающие дамбы, как это случилось в 2010 г. в Венгрии, затопить огромные площади земель и попасть в речную систему.

КШ содержит в разных количествах повышенные содержания скандия, РЗМ, галлия, титана, циркония и стронция. Проблемой утилизации КШ безуспешно занимаются уже более 50 лет [2, 14]. Разработано несколько вариантов технологии извлечения скандия и РЗМ из хвостов текущей переработки бокситов и галлия из продуктивных растворов. Отработанная пульпа поступала частично на получение коагулянтов, а часть – на изготовление строительных материалов: кирпича, строительных блоков и облицовочной плитки. Несмотря на успешное проведение полупромышленных испытаний на опытной заводе, промышленное производство организовать не удалось из-за отсутствия потребителей РМ и РЗМ.

Небольшая часть КШ используется для производства строительных материалов. Например, на Николаевском заводе несколько тысяч тонн КШ потребляют 15 цементных заводов в качестве железистой добавки к цементу, тогда как в шламохранилищах накоплены сотни миллионов тонн. Ликвидировать старые шламохранилища, переработав все КШ на полезную продукцию, невозможно. Действующие предприятия не могут позволить себе такие большие затраты, так как это скажется на себестоимости основной продукции, что сделает их неконкурентоспособными.

Золошлаковые отвалы

Отвалы шлаков, золы и пыли, образующиеся при выплавке черных и цветных металлов, занимают особенно большие площади на Урале. Только в Свердловской области насчитывается 188 объектов ТО с общей массой 8,5 млрд т [2]. Отходы содержат благородные металлы, висмут, кадмий, селен и другие РМ. Подавляющая часть отходов не используется. На предприятии «Уралредмет» работают 12 частных компаний, извлекающих из отходов цветные и благородные металлы. Эпизодически собирают и перерабатывают шламы очистки электропечей [2]. Все эти работы не



Рис. 5. Опробование золошлаковых отвалов сотрудниками АО «ВНИИХТ»

улучшают экологическую обстановку. После кучного выщелачивания золота способом цианирования остаются штабели, представляющие большую опасность, чем отвалы шламов. При извлечении цветных металлов используется обычно серная кислота, что, конечно, не обезвреживает оставшиеся кеки

Золошлаковые отвалы электростанций занимают площадь порядка 20 тыс. км², их масса составляет 1,5 млрд т. В России используется менее 10 % массы отвалов, тогда как в Европе около 90 %, главным образом для изготовления цемента и бетона. В золошлаковых отвалах содержатся в повышенных концентрациях германий, галлий, РЗМ, ванадий, молибден, скандий, уран, иногда золото и серебро.

В АО «ВНИИХТ» с начала 1990-х годов проводились работы по изучению отвалов 18 ТЭЦ и ГРЭС, работающих на углях Подмосковского, Кузнецкого, Забайкальского, Экибастузского, Приморского и Павлоградского бассейнов (рис. 5). Была разработана технология извлечения РЗМ, ванадия, скандия, германия и галлия, но все эти металлы имеют альтернативные источники получения, и извлекать их из золы экономически не оправданно.

Германий ранее в СССР извлекался из золы уноса углей Тарбагатайского разреза, сжигаемых на Читинской ТЭЦ-2. На предприятии «Германий» в г. Красноярске [15] производилось 600 кг монокристаллического германия. В настоящее время ООО «Германий» собирает зольные уносы на специальных фильтрах при сжигании углей Павловского месторождения в Приморье. Это обеспечивает производство в объеме 10 т в год.

В Европе производителями электроэнергии основана «Европейская Ассоциация продуктов сжигания углей», регулирующая переработку образующихся отходов. Большая часть отходов подвергается гидроклассификации, и мелкие фракции используют при производстве цемента и бетона. В России нет организации, которая отвечала бы за удаление или хотя бы за сокращение неблагоприятных последствий хранения отходов сжигания углей.

Выводы

Невозможность полной ликвидации крупных техногенных объектов делают необходимым проведение работ хотя бы по

снижению неблагоприятных последствий хранения ТО, которые заключаются в рекультивации этих объектов.

Рекультивация представляет собой комплекс горнотехнических, инженерно-строительных, сельскохозяйственных и озеленительных работ, направленных на восстановление ландшафтов, продуктивности земель и улучшение условий окружающей среды. Проведение таких работ, по мнению большинства специалистов, немыслимо без участия государства. Необходимо по примеру передовых зарубежных стран создавать специальную государственную организацию типа «Агентство по обращению с техногенными отходами», в задачи которого должны входить:

- создание кадастра техногенных объектов с указанием их размеров и степени опасности для окружающей среды;
- оценка возможности их рекультивации и частичной переработки с учетом возможности использования полученных материалов в конкретных регионах;
- создание и финансирование предприятий для выполнения запланированных мероприятий по рекультивации объектов.
- осуществление экологического контроля над основными производителями техногенных отходов.

Рекультивация касается лежалых отходов, но предприятия продолжают работать и накапливать новые отходы. Как выходить из этого положения? Ответ однозначен. Проблема ТО должна решаться созданием малоотходных и экологически безопасных технологий, при которых все ценные металлы извлекаются, по-возможности, в процессе основного производства, а хвосты текущей переработки полностью используются для производства материалов для местной промышленности.

На путь создания безотходной технологии встали крупнейшие российские предприятия: Объединенная компания «РУСАЛ» и ГК «Ростех». Целью новых технологий прежде всего является снижение себестоимости основной продукции, что позволяет накапливать средства на экологические и природоохранные мероприятия.

Эти работы находятся пока в начальной стадии и не имеют практического значения, но компании находятся на правильном пути, потому что при завершении и внедрении этих исследований в производство разработанные технологии приведут к снижению зараженности ТО, что даст возможность их рекультивации.

РУСАЛ создал революционную технологию электролиза, значительно снизившую себестоимость производимого алюминия, активно разрабатывает технологию «ультрасухого» складирования красных шламов, позволившую снизить нагрузку на шламохранилище, уменьшить риск загрязнения почв и подземных вод щелочами [16].

Редкие и редкоземельные металлы извлекаются на стадии переработки бокситов и получения глинозема по уникальной карбонатизационной технологии. Мощность модулей учитывает спрос на металл. Сейчас извлекают всего 100 кг скандия, но при увеличении спроса выпуск может быть доведен до 3 тыс. кг и до 10 тыс. кг в год. Чем больше скандия будет извлекаться в процессе переработки бокситов, тем меньше его будет уходить в отвалы.

Самым большим недостатком промышленности по производству РМ является низкий спрос на редкие металлы. РУСАЛ и Ростех стремятся создавать полный цикл производства для инициирования спроса, от добычи и переработки руд до получения

«чистых» соединений и использования их в новой технике и науко-
емких производствах. ГК «Ростех» планирует довести внутренний
спрос на РЗМ до 2000 т, а импорт РЗМ, которые начнут добы-
вать на месторождении Токтор уже в 2020 г., – до 10 тыс. т [17].
РУСАЛ работает над снижением стоимости скандий-алюминиевых
сплавов, которые в этом случае найдут применение в аэрокосми-
ческой, транспортной и энергетической отраслях промышленности.

Главной целью ликвидации всех накопленных за многие
годы техногенных отходов является решение экологической про-
блемы, которое возможно лишь путем рекультивации РЗМ и дру-
гие полезные продукты выгоднее извлекать из текущих отхо-
дов в количествах достаточных для удовлетворения внутренних
потребностей, а переработка лежалых отходов приведет к еще
большему обострению экологической обстановки.

Библиографический список

1. Верзханский А. П. Техногенное сырье – важнейший резерв развития // *Редкие земли*. 2016. № 2(7). С. 101–109.
2. Леонтьев Л. И. Промышленные отходы – «мемодан без ручки» // *Редкие земли*. 2016. № 2(7). С. 112–117.
3. Карелин С. В., Набоченко Е. С., Моисеичев С. В. Оценка эколого-экономической эффективности переработки вторичного сырья и техногенных отходов // *Записки Горного института*. 2001. Т. 149. С. 203–205.
4. Бугриева Е. П., Далин В. И., Крылова О. К., Тарханов А. В. Перспективные источники редких и редкоземельных элементов (Sr, Zr, Li, Ti) // *ВНИИХТ – 65 лет (1951–2016)* сб. науч. тр. М.: ООО «Винпресс», 2016. С. 56–65.
5. Подригиль А. Н., Балакина И. И. Оценка возможности предварительного обогащения лабальсовых руд отвалов Замитинского месторождения // *ВНИИХТ – 65 лет (1951–2016)* сб. науч. тр. М.: ООО «Винпресс», 2016. С. 90–94.
6. Li R., Pan I., Zhu X., Bai S. Arsenic by acid leaching-deep reduction-magnetic separation processing iron-increase and impurity removal for pyrite cinder with high content of // *Chinese Journal of Environmental Engineering*. 2018. Vol. 12. No. 9. P. 2680–2689.
7. Техногенные минерально-сырьевые ресурсы / под ред. Б. К. Михайлова. – М.: Научный мир, 2012. – 234 с.
8. Тарханов А. В., Ауров А. В., Ильин А. К. Перспективы освоения комплексных редкометалло-редкоземельных медальитовых руд Повозерского месторождения // *Горный журнал*. 2012. № 4. С. 54–56.
9. Pevov A. S., Pazylova O. T., Pevova S. I. Modern state of the problem of phosphogypsum – waste of wet process phosphoric acid production and prospects of its processing // *Industrial Technology and Engineering – IV International Conference*. – Shymkent. 2017. Vol. 1. P. 235–238.
10. Lutskiy D., Litnovo I., Ignatovich A., Fialkovskiy I. Complex Processing of Phosphogypsum – a Way of Recycling Dumps with Reception of Commodity Production of Wide Application // *Journal of Ecological Engineering*. 2018. Vol. 19. Iss. 2. С. 221–225.
11. Локшин Э. П., Тареева О. А. Разработка технологии извлечения редкоземельных элементов при серно-кислотной переработке хибинского апатитового концентрата на минеральные удобрения. – Апатиты: КНЦ РАН, 2015. – 268 с.
12. «Азрон» – секрет успеха. *Редкие земли*. 2017. № 1(8). С. 76–81.
13. Корнеев В. И., Сусс А. Г., Цеховый А. И. Красные шламы. Свойства, складирование и применение. – М.: Металлургия, 1991. – 143 с.
14. Mishra B., Gostu S. Materials sustainability for environment: Red-mud treatment // *Frontiers of Chemical Science and Engineering*. 2017. Vol. 11. Iss. 3. P. 483–496.
15. Наумов А. В. Геманитизм // *Редкие земли*. 2016. № 2(7). С. 140–148.
16. «РУСАЛ» – экологические и скандиновые проекты // *Редкие земли*. 2016. № 3(8). С. 112–117.
17. «Ростех» – редкое земельное направление // *Редкие земли*. 2017. № 1(8). С. 82–85. □

«GORNYY ZHURNAL», 2021, № 5, pp. 69–74
DOI: 10.17580/gzh.2021.05.07

Industrial waste – A valuable source of rare metals or a reclamation object?

Information about authors

E. P. Bugrieva – Head of a Sector, bugrieva@yandex.ru
A. V. Tarhanov – Chief Researcher, Doctor of Geological and Mineralogical Sciences
A. V. Leonov – Head of Laboratory
L. B. Solntseva – Research Course Manager – Deputy Head of Rare, Rare Earth and Radioactive Elements

¹BOSATOM s Research Institute for Chemical Technology, Moscow, Russia

Abstract

The scope of the analysis embraces nine types of industrial waste: low-grade ore piles, pyrite cinder dumps, tailings dumps, wet magnetic separation and flotation tailings ponds, phosphogypsum piles, red mud ponds, as well as dumps of metallurgical and electric power industries. The prospects of using the industrial waste as a source for production of rare metals, rare earths and other by-products are discussed. The practical interest lies only in the use of low-grade ore and pyrite cinder. Recovery of valuable components from the other types of industrial waste is incapable to solve the problem connected with the waste management but can only aggravate it. It is expedient to extract valuable components from waste of current processing in amount to be sufficient to satisfy the related demand. To this effect, it is necessary to create new no-waste technologies. This is the way taken by Russia's largest companies, RUSAL and ROSTEC, reduction in cost of the main production releases funds for the implementation of environmental and nature-oriented activities. The problem connected with the use of many millions of tons of ecologically hazardous old waste is solved in a big way by means of reclamation, which is only possible in association with the government, through establishment of a public institution on industrial waste management.

Keywords: industrial waste, low-grade ore, pyrite cinder, tailings pond, phosphogypsum, red mud, ash dump, reclamation.

References

1. Verzhanskiy A. P. Industrial waste – The critical source of development. *Reddie zemli*. 2016. No. 2(7). pp. 103–109.

2. Leonov L. I. Industrial waste – A sulfate without a handle. *Reddie zemli*. 2016. No. 2(7). pp. 112–117.
3. Karlov S. V., Babochkin E. S., Mamyachenkov S. V. Evaluation of ecological and economic efficiency of second-hand material and industrial waste processing. *Journal of Mining Institute*. 2001. Vol. 149. pp. 203–205.
4. Bugrieva E. P., Dyakon V. I., Krylova O. K., Tarhanov A. V. Promising sources of rare and rare earth elements (Sr, Zr, Li, Ti). *VNIICHT n 65 (1951–2016) Collection of Scientific Papers*. Moscow: Vngress, 2016. pp. 56–65.
5. Leonov L. I., Balakina I. G. Estimating feasibility of pretreatment of low-grade ore from piles of the Zavitinskoe Deposit. *VNIICHT n 65 (1951–2016) Collection of Scientific Papers*. Moscow: Vngress, 2016. pp. 90–94.
6. Li R., Pan I., Zhu X., Bai S. Arsenic by acid leaching-deep reduction-magnetic separation processing iron-increase and impurity-removal for pyrite cinder with high content of // *Chinese Journal of Environmental Engineering*. 2018. Vol. 12. No. 9. pp. 2680–2689.
7. Mikhailov B. K. (Ed.). *Man-Made Mineral Resources*. Moscow: Nauchnyi mir, 2012. 234 p.
8. Tarhanov A. V., Kurkov A. V., Il'in A. K. The prospects of the development of the complex rare-metal and rare earth eudalyte ores of Lovozersky Deposit. *Gornyy Zhurnal*. 2012. No. 4. pp. 54–56.
9. Pevov A. S., Pazylova O. T., Pevova S. I. Modern state of the problem of phosphogypsum – waste of wet-process phosphoric acid production and prospects of its processing. *Industrial Technology and Engineering – IV International Conference*. Shymkent. 2017. Vol. 1. pp. 235–238.
10. Lutskiy D., Litnovo I., Ignatovich A., Fialkovskiy I. Complex Processing of Phosphogypsum – a Way of Recycling Dumps with Reception of Commodity Production of Wide Application. *Journal of Ecological Engineering*. 2018. Vol. 19. Iss. 2. pp. 221–225.
11. Lokshin E. P., Tareeva O. A. Technologies development for the extraction of rare earth elements while sulfuric acid processing of the Khibiny apatite concentrate for mineral fertilizers production. *Apatity KNTs RAN*, 2015. 268 p.
12. Azron – A recipe for success. *Reddie zemli*. 2017. No. 1(8). pp. 76–81.
13. Korneev V. I., Suss A. G., Tselikovsky A. I. Red muds. Properties, storing and use. Moscow: Metallurgy, 1991. 143 p.
14. Mishra B., Gostu S. Materials sustainability for environment: Red-mud treatment. *Frontiers of Chemical Science and Engineering*. 2017. Vol. 11. Iss. 3. pp. 483–496.
15. Naumov A. V. Features of germanium. *Reddie zemli*. 2016. No. 2(7). pp. 140–148.
16. RUSAL. Eco-technologies and scandium project. *Reddie zemli*. 2016. No. 3(8). pp. 112–117.
17. ROSTEC – Route to rare earths. *Reddie zemli*. 2017. No. 1(8). pp. 82–85.

УДК 622 831

ПРИМЕНЕНИЕ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ ДЛЯ ОЦЕНКИ ДОСТОВЕРНОСТИ МОДЕЛЕЙ КРАТКОСРОЧНОГО ПРОГНОЗА СОСТОЯНИЯ ГОРНОШАХТНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

В. В. КУПРИЯНОВ, проф., д-р техн. наук

И. С. БОНДАРЕНКО, доцент, канд. техн. наук, innasbondarenko@gmail.com

НИТУ «МИСиС», Москва, Россия

Введение

В настоящее время на предприятиях многих отраслей промышленности все еще актуальны выявление и предотвращение нештатных и аварийных ситуаций с технологическим оборудованием, различных опасных явлений. Среди них угольные шахты и транспортные системы [1–14]. Особый интерес представляет прогнозирование остаточного ресурса горношахтного оборудования (ГШО) в период его эксплуатации. Их решение, по сути, опирается на использование текущей информации об объекте, полученной в условиях нечетких мониторинговых данных [10, 15].

Необходимо прогнозировать переменные, описывающие технологическое состояние очистного оборудования на стадии эксплуатации. Иными словами, определять: какие переменные успешно прогнозируются и какие не прогнозируются, поскольку от этого зависит оценка рисков по отношению к аварийным ситуациям. Практическая реализация данных вопросов невозможна без обеспечения качественной информации процесса принятия решений. А это требует разработки алгоритмов оценки и повышения достоверности информационных данных с целью минимизации риска возникновения аварий. Такие алгоритмы являются основой для автоматизированной оценки ситуационной обстановки в шахте.

Теоретическое обоснование исследований

Формирование точных прогнозов на основе регрессионных алгоритмов усложняется тем, что многие случайные процессы настолько стохастичны, что принципиально не поддаются математическому или иному прогнозированию [16]. А как быть с предсказанием единичных событий, например ситуаций с ГШО, всегда функционирующим в условиях всевозможных помех и шумов, обусловленных влиянием природных, природно-техногенных, технических и человеческих факторов? Допустим, что необходимо получить информацию об изменении состояния технологического объекта, описываемого двумя множествами в начале и в конце его переходного состояния, в основе которых лежат, как правило, ковариационные матрицы. Однако оценка этих матриц, а также общая статистическая оценка реальных случайных событий, которая возможна только по ансамблю реализаций, остаются нереализованными. Заметим, что хорошо известные и широко применяемые алгоритмы дисперсионного анализа в информационном смысле решают частные задачи статистической обработки результатов наблюдений (измерений), и поэтому не дают адекватного представления о состоянии объекта.

Можно привлечь экспертов для оценки текущей информации. Но они не предсказывают значения случайных событий. В принципе эксперты могут предсказать возможность возникновения того или иного события. Можно сказать, что предсказание единичных событий не

Показана возможность применения параметрического краткосрочного прогноза и методов нечеткой логики для переменных, характеризующих нештатные ситуации с горношахтным оборудованием (ГШО). Приведен алгоритм повышения достоверности краткосрочного прогнозирования многомерного процесса изменения среднегодовых значений переменных, описывающих технологические ситуации. Дано обоснование появления непрогнозируемых переменных с помощью нечеткой логики. Предпринята попытка смоделировать нечеткость информации при прогнозе ситуаций с ГШО. Показана возможность повышения достоверности комплексных прогнозов в условиях неполноты и нечеткости данных мониторинга за счет использования нескольких моделей предсказания.

Ключевые слова: нечеткая переменная, прогноз, аналог, сплайн-функции, критерий, модель, функция принадлежности, технологическая ситуация, комбайн, крепь, метод комплексирования, вариация

DOI: 10.17580/gzh.2021.05.08

отличается от прогнозирования непрерывных случайных процессов. Как известно [17], обычные измерительные устройства и измерительные системы, основанные на их применении и находящиеся в распоряжении современных угольных предприятий, в процессе работы отфильтровывают часть информации. Так возникают потери информации, которые никакими дополнительными мерами, например увеличением времени наблюдения или числа экспертов, невозможно возместить, поскольку это описывается совершенно другим критерием, а именно – критерием достаточности статистики, который действительно влияет на точность прогноза. С учетом роли информации как единственного адекватного отображения реально существующего состояния ГШО или значений того или иного его параметра можно считать приемлемым краткосрочный прогноз единичных событий с ГШО при наличии некоторого числа типовых единиц этого оборудования. Это позволит в какой-то мере стабилизировать неизвестный закон распределения случайных событий как случайных величин.

Технологические ситуации с ГШО относятся к единичным событиям, которые изменяются под воздействием случайных факторов, некоторые из которых учесть строго математически сложно, а другие возможно, хотя бы с определенной степенью точности. Например, обрыв цепи конвейера, его заштыбовка – это примеры единичного события. Поэтому прогноз единичных событий, которые случались в прошлом, возможен. Задача состоит в выборе и обосновании подходящей модели для реализации прогноза.

Как правило, изменения технологических параметров ГШО часто приводят к возникновению аварий. Как известно, аварии – это события, повторяющиеся с определенными циклами [11, 17, 18]. Есть определенные циклы и периоды, когда события могут повторяться каждые 5–7 лет или каждые 10–12 лет, и их число должно быть одинаковым. Это обосновывает возможность применения для предсказания состояний ГШО одной модели или нескольких моделей в предыстории. То, что случилось в прошлом, повторяется еще раз в данное время, если исходное состояние было аналогичным.

Поскольку при прогнозе состояния очистного забоя число предсказываемых переменных увеличивается, принимается число точек прогноза (три наблюдения) на основании метода «комплексирования» прогнозов по нечетким моделям.

В итоге прогноза каждой переменной технологической ситуации с ГШО назначаются по величине вариации [13].

Планируя прогноз каждой переменной считается успешным, если вариация $\delta^2(x) = 1$. Общим показателем успешности предсказания многомерного процесса считается процент или доля переменных t (%), для которых $\delta^2(x) = 1$. При этом появляется возможность ранжировать переменные ГШО по эффективности прогнозирования при переборе трех моделей, начиная с одной модели [18].

Методы исследования

Комплексирование прогнозов по нескольким моделям параметров ГШО базируется на использовании сплайн-функции со степенью коэффициентами по критерию вариации прогноза. Это позволяет не только установить, чьи успешно прогнозируемые переменные, но и выявить «разнотипные» переменные. Для объяснения появления последних рассмотрен подход к обеспечению достоверности информационных сообщений как получения информации, релевантной состоянию ГШО при нечетких и нечетких данных. Его обоснованием служат описание условия наблюдаемости ГШО на базе нечетких множеств и принцип множественности решений [19–20].

Исходные предположения следующей модели есть проекция объекта на пространственно-матричную разнотипность, поэтому чем глубже проникать в суть явления, тем больше требуется вариантов моделей. Кроме того, однажды построенная модель не может удовлетворять по истечении некоторого периода времени определенным требованиям. Следовательно, необходимо введение информационной избыточности.

Для комплексирования использовалась экстраполяция пространства признаков с помощью сплайн-функции, но при допущении, что в каждой точке этого пространства присутствует значение прогноза, вычисляемое при помощи прогнозов, полученных в соседних точках пространства. В качестве сплайн-функции применяли $\delta^2(x)$ попарно, учитывая все три аналога.

Данные наблюдения были получены на шахте «Северная» шахтоуправления «Норкунтуголь» за 8 лет (с 2005 по 2012 г.). Наблюдению подлежали 12 переменных ($M = 12$): x_1 – заштыбовка конвейера, x_2 – и пил конвейера в горизонтальной плоскости, x_3 – порывы замковых соединений конвейера, x_4 – механические повреждения земника конвейера, x_5 – отрывы гидростоек от опор крепи лавы, x_6 – деформация раздвижных механизмов перекрытий крепи лавы, x_7 – порывы тяг крепи, x_8 – проваливания основания крепи, x_9 – порывы проушин крепи, x_{10} – перекосы секции крепи на сборном штреке, x_{11} – перекосы секции крепи на тапавном штреке, x_{12} – заваливания секции.

Исходные данные рассматривали в качестве координат восьми точек наблюдения в 12-мерном пространстве переменных, они представлены выборкой разнотипности $N \times M$ ($N = 8$). Были выбраны три ближайших точки в качестве модели аналогов A_1, A_2, A_3 .

Определили пространство прогнозов, аппроксимация которого сплайн-функциями с вычислением значения прогноза в выходной точке и обеспечили комплексирование. Подробно процедура формирования пространства прогнозов описана в [18]. Успешность прогноза каждой переменной в этой точке определяется по вариации $\delta^2(x)$. Результаты вычисления приведены в таблице данных, которые свидетельствуют, что наибольшее число успешно прогнозируемых переменных достигается при наличии трех аналогов A_1, A_2 и A_3 . Их сами в таблице они отмечены знаком «+», а «разнотипные»

прогнозы – знаком «-». Первые семь обычно считают предикторами прогноза. Все переменные можно ранжировать по вариации прогноза и получить следующий ряд

$$\frac{\delta^2(x) = 1}{x_{10}x_{11}x_{12}x_7x_4x_5} \mid \frac{\delta^2(x) \geq 1}{x_9x_{12}x_8x_3x_1}$$

Очевидно, что лучшим предиктором является доля перекосов секции крепи на сборном штреке, а худшим – заштыбовка конвейера очистного забоя. Прогноз по трем аналогам на 2012 г. (последний год исходной выборки данных) выполняли с целью выявления оптимального числа учитываемых моделей и прогнозируемых переменных (7 переменных) ГШО.

Аналогичны будут данные за 2006–2008 и 2009 гг.

При анализе данных таблицы возникает вопрос: почему пять прогнозов платились «разнотипными»? Очевидно, это связано с обеспечением достоверности информационных сообщений, а именно с получением информации, релевантной состоянию ГШО при неполных и нечетких данных. Требуется смоделировать нечеткость информации при прогнозе «разнотипных» событий с ГШО.

Нечеткость информационных сообщений, как правило, являющаяся следствием ограниченного числа наблюдений за происходящими процессами, недостатка информации о возмущениях, ограниченной точности самих замеров, неоднозначной интерпретации ситуации с ГШО, наличия трендов в протекающих процессах и т. п., означает, что если $A(I_p, y) = \{ \tilde{y} \in Y \mid I_p(y) = E(I(\tilde{y}), \rho) \}$ – множество элементов $\tilde{y}$ не отличимых от элементов y с помощью информации I_p , то $I(y)$ может служить нечеткой информацией, причем E – оператор информационной нечеткости, а $E(I(\tilde{y}), \rho)$ – множество, обуславливающее нечеткую информацию об y . В этом случае знание только $I_p(y)$ не позволяет определить, какое из множеств $D(\tilde{y}, \epsilon)$, $\tilde{y} \in A(I_p, y)$ дает нужное ϵ -приближение.

Для решения задач краткосрочного предсказания нестационарных многомерных процессов можно использовать методы вариаций, баланса дискретизации, паттерн-анализа, группового учета аргументов [18]. Однако их реализация для нашей задачи в нечетких условиях связана с некорректностью решения. Если обозначить через $\Pi(u) = \{ (f(u), \varphi) \in P \}$ – множество результатов применения к $u = I_p(y)$ всех перечисленных методов из класса возможных методов P , то знание только $I_p(y)$ не позволяет определить, какой из методов P обеспечит решение задачи прогнозирования при существующих условиях.

Комплексированное прогнозирование по аналогам, примененное в данной работе, обусловлено описанием условия наблюдаемости ГШО с помощью нечетких множеств. Поэтому такое прогнозирование можно рассматривать на основе принципа многовариантности модели, обобщающего принцип «свободы выбора решения», согласно которому требуется находить не одну модель, а несколько альтернативных по смыслу с целью уменьшения вероятности потери наилучшей из них.

Выявленные нами аналоги позволили сформировать несколько моделей, дополняющих друг друга, так как одна модель может отразить только часть свойств реального процесса или объекта. Например, рассмотрим модели состояния ГШО. К ним неприменимы абсолютные критерии адекватности: каждая из моделей в определенных условиях может оказаться наиболее подходящей для описания ГШО. Поскольку при углублении состояния ГШО зависит от большого числа факторов, многие из которых являются неконтролируемыми, то создание точных моделей при нынешних знаниях о ГШО в процессе эксплуатации не представляется возможным. На практике, как правило, вместо точных моделей используют их весьма грубые приближения, имеющие характер эмпирических зависимостей.

Данные для выбора эффективных прогнозов по критерию вариации $\delta Z(n)$

Идентификация модели	Вариации прогноза												Число использованных прогнозов	$\gamma, \%$
	Z_1	Z_2	Z_3	Z_4	Z_5	Z_6	Z_7	Z_8	Z_9	Z_{10}	Z_{11}	Z_{12}		
A_1 2005 г	4,6	0,50	1,60	2,43	1,22	3,48	2,45	4,06	1,64	0,52	0,70	3,30	3	25
A_1 2005 г A_1 2007 г	5,4	0,80	1,90	0,96	1,60	2,30	1,42	1,50	0,97	0,30	0,50	2,47	5	41,7
A_1 2005 г A_1 2007 г A_1 2008 г	5,1	0,85	0,66	0,70	1,20	0,40	0,24	2,00	1,15	0,16	0,24	1,13	7	58,3

В данной работе повышение достоверности прогнозов обеспечивали за счет введения информационной избыточности, что равносильно использованию ряда альтернативных моделей, содержащих сведения, служащие для оценки аналогичной информации в реальном ГШО. Эта оценка может быть представлена в виде некоторого отношения индивидуального предпочтения. Задача компьютерного прогноза при таком подходе сводится к анализу данных мониторинга за ГШО и сопоставлению их результатов с некоторыми моделями прогноза. Предсказанные значения по одному, двум, трем аналогам с помощью одного из перечисленных выше методов, например метода вариаций с использованием сплайн-функции, формируют пространство прогнозов. Если мера несоответствия реальных результатов и прогнозных моделей не превышает некоторого порога, то задача прогнозирования считается решенной. Меры несоответствия могут служить степень близости элементов множеств, функции расстояния в некоторой метрике или дополнение до единицы функции принадлежности. В случае нечеткости исходных данных, когда требуется дополнительная информация, минимальный объем информации, необходимой для решения данной задачи с требуемой степенью достоверности, можно определить из выражения: $I_{\min} = \inf\{\epsilon: \cap D(\tilde{y}, \epsilon) \neq \emptyset\}$, $\forall y \in Y$, которое свидетельствует, что пересечение множества $D(\tilde{y}, \epsilon)$ должно быть непустым. Другими словами, повышение достоверности информации возможно за счет использования дополнительных процедур для формирования новых множеств на основе всей доступной информации. Алгоритм, решающий эту задачу, состоит из следующих основных шагов.

1. Формирование пространства прогнозов (множеств прогнозов) $\{Z(nbi)\}$ с помощью предварительно определенных по одному, двум и трем аналогам B альтернативных моделей на основе сплайн-функции в точках $i \in M$, где i – число параметров ГШО; $M = 12$.

2. Формирование нечеткого множества $\{Z(ni)\}$, соответствующего фактически наблюдаемым двенадцати параметрам ГШО в ранее зафиксированных точках $i \in M$.

3. Выбор отношения упорядоченности на множествах, определенных шагами 1 и 2 в виде нечеткой совокупности M упорядоченных экстраполированных и фактических параметров ГШО, эту нечеткую совокупность задают функции принадлежности $\mu(i) = \mu\{Z(ni), Z(nbi)\}$.

4. Оценка меры близости множеств $\{Z(nbi)\}$ и $\{Z(ni)\}$ с помощью процедур геометрического подхода, рассматривающего сформированные множества как созвездия в i -мерном пространстве параметров ГШО

$$r^{(bi)} = [(M-1)^{-1} \sum_{i=1}^M |Z(ni) - Z(nbi)|^2]^{1/2} \quad (1)$$

5. Выявление модели, наиболее близко описывающей поведение ГШО на основе решающего правила:

$$r_{\text{opt}}^{(bi)} = \min\{r^{(1)}, r^{(2)}, \dots, r^{(M)}\} = r_0 \quad (2)$$

где r_0 – допустимый порог недоверия; в нашем случае r_0 принимают равным допустимой вариации прогноза переменных, т. е. $r_0 = \delta_i^2 = 1$.

6. Коррекция выбранной модели в пространстве прогнозов, если мера близости превышает допустимый предел, на основе

$$\sup |Z_{\text{нб}} - Z_{\text{нб}}| = \alpha r_{\text{opt}}^{(bi)} \quad \alpha < 1 \quad (3)$$

7. Вычисление функций принадлежности

$$r^{(1)} = 0,47 |1 - r^{(bi)} / r_0| \quad (4)$$

и оценка доверительного интервала α для $\mu(b)$ на основе распределения Стьюдента.

8. Уточнение на основе результатов сопоставления выражений (2) и (3) эффективного числа предикторов прогноза и числа аналогов

На основании данных таблицы по формуле (1) были найдены значения $r^{(1)} = 0,47$, $r^{(2)} = 0,41$, $r^{(3)} = r_{\text{opt}} = 0,34$, а по формуле (4) – значения функции принадлежности $\mu(b) = \{0,53, 0,59, 0,66\}$. Очевидно, что наибольшая принадлежность или совпадение экстраполированных величин параметров ГШО с их фактическими значениями соответствует случаю использования трех аналогов при формировании пространства прогнозов и составляет 0,66. Наименьшее совпадение результатов прогноза с реальными данными имеет место при выборе одного аналога в предыстории наблюдений за ГШО. При этом функции принадлежности 12 предсказанных параметров ГШО при трех аналогах составили: $\mu x_1 = 0$, $\mu x_2 = 0,2$, $\mu x_3 = 0,4$; $\mu x_4 = 0,35$, $\mu x_5 = 0,1$, $\mu x_6 = 0,6$, $\mu x_7 = 0,85$, $\mu x_8 = 0,005$; $\mu x_9 = 0,01$, $\mu x_{10} = 0,9$, $\mu x_{11} = 0,8$; $\mu x_{12} = 0,15$.

Для трех значений $\mu(b)$ при вычислении 90%-ного доверительного интервала для $\mu(3)$ имеем

$$m - 1 = n(n - 1)/2 = 2; \alpha/2 = (1 - 0,9)/2 = 0,05.$$

По таблицам распределения Стьюдента находим $t_{\alpha/2} = 1,92 = 3,182$. Стандартное отклонение σ равно 0,0033. Тогда интервал α для $\mu(3)$ составляет: $\alpha = 3,182 \cdot 0,0033 = 0,0105$, т. е. $0,66 \pm \pm 0,0105$.

Дополнительным условием эффективности метода альтернативных моделей является использование представительного объема нечеткого множества $\{Z(ni)\}$ и, соответственно, объема пространства прогнозов, что возможно при наличии достаточной априорной информации.

Пространства прогнозов можно формировать с помощью информационных фреймов, содержащих, помимо исходной информации, также предысторию, сопутствующие данные, включая сведения о корреляционных связях между отдельными элементами фрейма, интерполяционные и экстраполяционные зависимости и др. Возможно формирование логико-алгебраических уравнений, устанавливающих те или иные зависимости в терминах булевой (BOOL) или многозначной (MULL) логики между элементами фреймов или результатами математической обработки данных, относящихся к элементам фреймов. Уравнение характеризует в относительных единицах на нечеткой шкале $[0, 1]$ степень достоверности информации:

$$C\{F(i), y, \epsilon\} = \max\{MULL[MATH\{FR(1), \dots, FR(k)\}]\}, j \in J, i \in I,$$

где J – множество всех используемых типов логических операций MULL (BOOL); I – множество всех используемых типов математических операций MATH; $FR(i)$ – i -й элемент фрейма (данные, зависимости), $i \in L$; L – множество всех элементов фрейма, причем $k \leq L$.

Поскольку данные, вводимые во фреймы, могут быть искажены под влиянием случайных шумов, а зависимости между элементами фреймов часто носят стохастический характер, то оценка достоверности информации может быть выражена в терминах теории

вероятностей. При этом степень уверенности в гипотезе h по наблюдению q определяют как

$$CF(h, q) = \frac{\left| \rho \left(\frac{h}{q} \right) - \rho(h) \right|}{\left| 1 - \rho(h) \right|} = \frac{\left| \rho(h) - \rho \left(\frac{h}{q} \right) \right|}{\left| \rho(h) \right|},$$

где $\rho(h/q)$ – экспертная оценка условной вероятности h при известном q ; $\rho(h)$ – экспертная оценка вероятности h при известных сопутствующих факторах.

Выводы и рекомендации

Предпринята попытка объединить возможности методов самоорганизации и нечеткой логики для повышения достоверности информации при комплексных прогнозах состояния ГШО в условиях нечетких

мониторинговых данных. Предложен алгоритм адаптивного введения информационно избыточности путем использования нескольких моделей предсказания. Это позволило объяснить результаты комплексов прогнозов по двум-трем аналогам по критерию вариации при выборе успешных предсказаний многомерных нестационарных событий. Учитывая значимость для горнодобывающей промышленности процессов перевозки и добычаемых полезных ископаемых, можно развить и применить комплексные модели прогноза для автомобильных и железнодорожных транспортных систем. По ним ведут достаточно жесткий хронометраж, но аварии (столкновения, взрывы, пожары, сход с рельсов и т. д.) возникают, приводя к несчастным случаям со смертельным исходом. В совокупности это будет влиять на формирование более обоснованного механизма принятия управленческих решений в сфере безопасности.

Библиографический список

1. Смирняков В. В., Смирнякова В. В. Трудноуправляемые факторы в статистике причин аварийных пылегазовых взрывов в угольных шахтах России // Горный журнал. 2016. № 1. С. 30–34. DOI: 10.17580/gzh.2016.01.07.
2. Елисейкин М. А. Пути развития методических основ повышения качества оценивания рисков опасных производственных объектов // ГИАБ. 2018. № 3. С. 193–199.
3. Шопинцева О. В., Ганова С. Д., Демин Н. В., Попичев В. И. Комплексный метод снижения пылевой и газовой опасности в угольных шахтах // Горный журнал. 2018. № 11. С. 97–100. DOI: 10.17580/gzh.2018.11.18.
4. Кубрин С. С. Многофункциональная система прогноза опасных газодинамических явлений в угольных шахтах // Горный журнал. 2017. № 11. С. 97–100. DOI: 10.17580/gzh.2017.11.18.
5. Синельник А. С. Аварийное восстановление технических средств // Автоматика, связь, информатика. 2019. № 10. С. 18–40.
6. Анискин В. В. Эффективность безопасности. Инновационность // Автоматика, связь, информатика. 2017. № 4. С. 14–17.
7. Голанович Я. А., Румянцев С. В. Современный комплекс безопасности // Автоматика, связь, информатика. 2019. № 6. С. 16–18.
8. Наумова Д. В. Цифровизация – мера повышения безопасности движения // Автоматика, связь, информатика. 2018. № 12.
9. Грызун В. В., Пекарчук Д. С. Качественный анализ структуры травматизма на угледобывающих объектах // Горный журнал. 2017. № 10. С. 61–64. DOI: 10.17580/gzh.2017.10.13.
10. Демин Н. В., Бондаренко И. С., Гончаренко С. Н., Чан Н. Ф. Компьютерные методы анализа экологической безопасности проекта строительства коммуникацион-

- ных тоннелей // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2015. № 11-1. С. 203–216.
11. Куприянов В. В., Стадник Д. А., Компаньетт Б. И. Оценка остаточного ресурса горношахтного оборудования – одна из важнейших задач при управлении выемочным участком угольной шахты // ГИАБ. 2008. Отдельный выпуск 10. Информатизация и управление. 1. С. 329–336.
12. Jones A. P., Lytle R. R., Wilson S. Proactive safety programs provided to help protect workers at the face // Canadian Mining Journal. 2015. April.
13. Coalmining Accidents and Deaths // The Coalmining History Resource Centre, 2021. URL: <https://www.cmhrc.co.uk/site-disasters/index.html> (дата обращения: 15.10.2020).
14. Wise C. J. (ed.). Modern American Coal Mining: Methods and Applications. – Englewood: Society for Mining, Metallurgy, and Exploration. 2013. – 576 p.
15. Kavanagh P. Health and safety are about prevention and response // Canadian Mining Journal. 2015. April.
16. Hahm F. S., Lieberman G. J. Introduction to stochastic models in operations research. – New York: McGraw-Hill. 1990. – 448 p.
17. Куприянов В. В., Моисеевич О. А., Бондаренко И. С. Параметрические и непараметрические модели прогнозирования нештатных ситуаций в подземных горных выработках // ГИАБ. 2018. № 3. С. 200–207.
18. Куприянов В. В. Complexion of forecasts of technological situations with equipment in the coal mine cleaning face // East European Scientific Journal. 2019. No. 2(42). Part 1. P. 25–31.
19. Gerardo R. Experiments with some methods for the identification of finite-state systems // International Journal of General Systems. 1983. Vol. 9. Iss. 4. P. 197–203.
20. Puri M. L., Ralescu D. A possibility measure is not a fuzzy measure // Fuzzy Sets and Systems. 1982. Vol. 7. Iss. 3. P. 311–313. 

«GORNYI ZHURNAL», 2021, № 5, pp. 75–79
DOI: 10.17580/gzh.2021.05.00

Fuzzy logic in reliability assessment of short-term forecast models for mining equipment

Information about authors

V. V. Kupyryanov – Professor, Doctor of Engineering Sciences

I. S. Bondarenko – Associate Professor, Candidate of Engineering Sciences, innesbondarenko@gmail.com
MUST MISIS, Moscow, Russia

Abstract

Many industries are yet being faced with the critical problems connected with prediction and prevention of process equipment accidents and hazardous events including coal mines and transportation systems. Specific interest lies in prediction of the remaining life of mining equipment in the period of its operation. The authors try to attempt an integration of the self-organization and fuzzy logic methods to enhance reliability of forecasts for mining equipment status given the monitoring data uncertainty. The algorithm is proposed for the adaptive introduction of excessive information using a few forecast models. As a result, complexing of forecasts by two–three analogs of the variation criterion in selection of efficient forecast of multi-dimensional nonstationary events is explained. Considering the importance of haulage processes in the mining industry, the integrated forecast models can be extended for motor road and rail transport. In motor road and rail transportation, the traffic timing is strict; however, accidents yet occur and can lead to injuries and even death. In the aggregate, the managerial solutions on safety can be better substantiated.

Keywords: fuzzy variable, forecast, analog, spine function, criterion, model, membership function, process situation, cutter–loader, support, complexing method, variation.

References

1. Smirnyakov V. V., Smirnyakova V. V. Unhandy factors in statistics of accidental gas and dust explosions in coal mines in Russia. *Gornyi Zhurnal*. 2016. No. 1. pp. 30–34. DOI: 10.17580/gzh.2016.01.07.
2. Eiseeva M. A. Developing methodical framework for enhanced-quality risk management at hazardous industrial objects. *GIAБ*. 2018. No. 3. pp. 193–199.
3. Shopinseva O. V., Ganova S. D., Demin N. V., Papichev V. I. Integrated method of dust and gas hazard reduction in coal mines. *Gornyi Zhurnal*. 2018. No. 11. pp. 97–100. DOI: 10.17580/gzh.2018.11.18.
4. Kubrin S. S. Multifunction system to predict hazardous gas-dynamic phenomena in coal mines. *Gornyi Zhurnal*. 2017. No. 11. pp. 97–100. DOI: 10.17580/gzh.2017.11.18.
5. Sinelsky A. S. Fall-back recovery of equipment. *Avtomatika, svyaz, informatika*. 2019. No. 10. pp. 38–40.
6. Anishkin V. V. Efficiency Safety. *Moskva. Avtomatika, svyaz, informatika*. 2017. No. 4. pp. 13–17.
7. Gapanovich V. A., Rumyantsev S. V. Modern system of safety. *Avtomatika, svyaz, informatika*. 2019. No. 6. pp. 16–18.
8. Naumova D. V. Digitalization – Way of improving traffic safety. *Avtomatika, svyaz, informatika*. 2018. No. 12.
9. Gryzunov V. V., Pekarchuk D. S. Qualitative analysis of traumatism structure in coal mines. *Gornyi Zhurnal*. 2017. No. 10. pp. 61–64. DOI: 10.17580/gzh.2017.10.13.
10. Telkin I. O., Bondarenko I. S., Goncharenko S. N., Chan N. F. Computer methods of analysis of the environmental safety of the projects construction of communication tunnels. *Izvestiya Tushkogo gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskie nauki*. 2015. No. 11-1. pp. 203–216.
11. Kupyryanov V. V., Stadnik D. A., Kompaniets B. I. Residual life estimation of mining equipment—One of the critical tasks in coal longwall operation control. *GIAБ*. 2008. Special Issue 10. Informatization and control—1. pp. 329–336.

12. Jones A. P., Lyle R. R., Wilson S. Proactive safety programs provided to help protect workers at the face. *Canadian Mining Journal*. 2015. April.
13. Coalmining Accidents and Deaths. The Coalmining History Resource Centre, 2021. Available at: <https://www.cmhc.co.uk/site/disasters/index.html> (accessed: 15.10.2020).
14. Bose C. J. (Ed.) Modern American Coal Mining: Methods and Applications. Englewood: Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, 2013. 576 p.
15. Kavanagh P. Health and safety are about prevention and response. *Canadian Mining Journal*. 2015. April.
16. Hillier F. S., Lieberman G. J. Introduction to stochastic models in operations research. New York: McGraw-Hill, 1990. 448 p.

17. Kupriyanov V. V., Matshevich O. A., Bondarenko I. S. Parametric and nonparametric models for predicting off-normal situations in underground mines. *GIA*. 2018. No. 3. pp. 200–207.
18. Kupriyanov V. V. Complexification of forecasts of technological situations with equipment in the coal mine cleaning face. *East European Scientific Journal*. 2019. No. 2(42), Part 1. pp. 25–31.
19. Gerardy R. Experiments with some methods for the identification of finite-state systems. *International Journal of General Systems*. 1983. Vol. 9, Iss. 4. P. 197–203.
20. Puri M. L., Ralescu D. A possibility measure is not a fuzzy measure. *Fuzzy Sets and Systems*. 1982. Vol. 7, Iss. 3. pp. 311–313.

УДК 622.23

УСТАНОВЛЕНИЕ МАКСИМАЛЬНОЙ ЖЕСТКОСТИ УПРУГОДЕМПФИРУЮЩЕГО УСТРОЙСТВА В МЕХАНИЗМЕ ТЯГИ ДРАГЛАЙНА

И. Н. КЛЕМЕНТЬЕВА, старший преподаватель, канд. техн. наук
Д. А. КУЗИЕВ, доцент, канд. техн. наук, da.kuziev@misis.ru

НИТУ «МИСиС», Москва, Россия

Введение

Долгосрочной программой развития угольной промышленности на период до 2030 г., утвержденной Правительством РФ, предусматривается «значительное развитие добычи угля наиболее эффективным открытым способом на основе широкого применения прогрессивных технологий и выемочно-погрузочного оборудования большой мощности» [1]. Сегодня наблюдаемая с 1970-х годов мировая тенденция роста единичной мощности одноковшовых экскаваторов привела к тому, что ведущие производители стали выпускать драглаины массой более 10 тыс. т и вместимостью ковша более 100 м³ [2].

Однако опыт эксплуатации сверхмощных машин в РФ показал экономическую нецелесообразность их использования. Современному горному предприятию выгодно иметь несколько единиц выемочно-погрузочного оборудования средней и большой мощности, чем единичные сверхмощные агрегаты, требующие для их эффективного использования целый парк разнообразных вспомогательных машин.

Длительный опыт эксплуатации драглаинов, в основном выпускаемых ПАО «Уралмашзавод», показал, что доля затрат на их содержание в себестоимости продукции разрезов и карьеров РФ составляет от 18 до 43 %. Одной из основных причин относительно невысокой надежности при эксплуатации одноковшовых экскаваторов являются простои в ремонтах. Их продолжительность составляет до 28,6 % календарного фонда времени, в том числе неплановые простои достигают 9,2 % [3–5]. Это объясняется тем, что на продолжительность одноковшовых экскаваторов существенное влияние оказывают параметры отработки уступа, физико-механические свойства экскавируемого угля [3], климатические условия эксплуатации [5], а также уровень динамических нагрузок в металлоконструкциях [6] и приводах их основных механизмов в течение рабочего цикла.

Известно, что механизмы подъема и тяги драглайна состоят из приводных лебедок и канатно-блочных передач. При этом длительность копания (экскавации) у драглайна составляет до 30 % его рабочего

Наглядно показано, что установка рычажного упругодемпфирующего устройства в канатно-блочную передачу тягового механизма драглайна уменьшает ее жесткость, что позволяет эффективно эксплуатировать машины для открытых горных работ. Установлено, что диссипативные (демпфирующие колебания) силы в колебательной системе «тяговые канаты – ковш» в основном определяются трением ковша о забой и являются закритическими.

Ключевые слова: добыча угля, открытый способ, экскаватор-драглайн, канатно-блочная передача, тяговый механизм, упругодемпфирующее устройство

DOI: 10.17580/gzh.2021.05.09

цикла, в течение которого механизм тяги, его привод, зубчатые трансмиссии и канатно-блочные передачи испытывают значительные динамические нагрузки. При этом жесткость и демпфирование в системе тяговые канаты – ковш обусловлены только конструкцией трансмиссий приводов и канатно-блочных передач.

Теоретические аспекты снижения динамических нагрузок в приводах и металлоконструкциях машин для открытых горных работ при заданных характеристиках породы и параметрах отработки уступа нашли отражение в трудах докторов технических наук Н. Г. Домбровского [4], Р. Ю. Подэрни [7] и других. На основе выполненных ими исследований были предложены некоторые методы и средства снижения динамических нагрузок в приводах и металлоконструкциях горных машин, в том числе с применением упругодемпфирующих устройств (УДУ). Однако до настоящего времени в технической литературе отсутствует достаточно обоснованная методика выбора максимальной жесткости УДУ в копающих механизмах одноковшовых экскаваторов, в том числе и драглаинов.

Динамические нагрузки, возникающие в процессе копания в элементах механизмов, непосредственно участвующих в копании, существенно превышают динамические нагрузки тех же механизмов в переходных процессах пуска и торможения. Особенно большие нагрузки возникают при внезапной встрече ковша с непреодолимым препятствием, когда ковш останавливается практически мгновенно, время же остановки двигателя и механизма определяется

податливостью кинематической связи привода копающего механизма (в основном упругостью стальных тросов канатно-блочных передач и податливостью других элементов механизма) и инерционностью масс двигателя, редуктора и барабана. Запасенная во вращающихся инерционных массах кинетическая энергия при быстрой остановке ковша переходит в основном в потенциальную энергию упругих деформаций элементов копающего механизма в целом.

Поэтому для снижения динамических нагрузок в копающих механизмах «одноковшовых» экскаваторов поиск новых технических решений УДУ и их частотных параметров, позволяющих эффективно эксплуатировать экскаваторы в различных горнотехнических условиях, остается по-прежнему актуальным.

Методика расчета частотных параметров УДУ

Рассмотрим подробно схемы сил, действующие на ковш драглайна по пути его наполнения породой, в начале и в конце черпания (рис. 1).

Анализ сил, действующих на ковш драглайна при его движении в забое (см. рис. 1), при допущении, что геометрический объем ковша по пути его наполнения породой x с i -м удельным сопротивлением копания K_i , в диапазоне $0 < x < l_{\text{пут}}(i)$ заполняется по линейному закону, приводит нас к следующим аналитическим представлениям сил:

- составляющая от сил сопротивления черпанию $F_c(x)$ равна, Н

$$F_c(x) = K_i E \frac{1 + \lambda_i}{k_p l_{\text{пут}}(i)} x, \quad (1)$$

- касательная составляющая от веса ковша $F_t(x)$ равна, Н

$$F_t(x) = g \left(m + \rho_i E \frac{1 + \lambda_i}{k_p l_{\text{пут}}(i)} x \right) \sin \alpha, \quad (2)$$

где g – ускорение свободного падения, $g = 9.81 \text{ м/с}^2$,

- сила инерции при страгивании ковша $F_{\text{ин}}(x)$ [7, 8] равна, Н

$$F_{\text{ин}}(x) = 0.2mg \left(1 - \frac{x}{l_{\text{раз}}(i)} \right), \quad (3)$$

причем $F_{\text{ин}}(x = l_{\text{раз}}(i)) = 0$, здесь $l_{\text{раз}}(i)$ – длительность разгона ковша до номинальной скорости черпания, с.

- сила трения ковша о забой $F_{\text{тр}}(x)$ [7–10] равна, Н:

$$F_{\text{тр}}(x) = \mu g \left(m + \rho_i E \frac{1 + \lambda_i}{k_p l_{\text{пут}}(i)} x \right) \cos \alpha. \quad (4)$$

где μ – коэффициент трения ковша драглайна о забой (сталь–порода), $\mu \approx 1$ [9], m – масса непосредственно ковша с упряжью Пейджа, кг, ρ_i – плотность экскавируемой i -й горной породы, кг/м^3 , E – геометрическая вместимость ковша драглайна м^3 , k_p – коэффициент разрыхления породы в ковше драглайна i -м удельным сопротивлением копания, λ – отношение i -го объема призмы вложения к объему ковша (принимается равным для легких пород $\lambda = 0.4$ при $k_p = 1.25$, $k_p = 0.12 \cdot 10^4 \text{ Па}$ для средних пород $\lambda = 0.3$ при $k_p = 1.3$, $k_p = 0.29 \cdot 10^4 \text{ Па}$ для тяжелых пород $\lambda = 0.2$ при $k_p = 1.37$, $k_p = 0.3 \cdot 10^4 \text{ Па}$ соответственно) [8], $l_{\text{пут}}(i)$ – путь наполнения ковша породой с i -м удельным сопротивлением копания, м.

Абсолютное суммарное усилие в тяговых канатах ковша драглайна $F_{\Sigma}(x)$ при черпании породы больше или равно сумме сил $F_c(x)$, $F_t(x)$, $F_{\text{тр}}(x)$ и $F_{\text{ин}}(x)$ действующих на ковш. Значение усилия в тяговых канатах драглайна при угле наклона забоя $\alpha = \pi/6$ (см. рис. 1) будет различным в момент страгивания ковша при условии $x = 0$ (см. рис. 1, а) и в момент окончания черпания при условии $x = l_{\text{пут}}(i)$ (см.

рис. 1, б). С учетом изложенного выше абсолютное суммарное усилие в тяговых канатах ковша драглайна при черпании в относительной форме имеет следующий вид:

$$\bar{F}_{\Sigma}(x) = \frac{F_c(x)}{F_{\text{трmax}}(x)} + \frac{F_t(x)}{F_{\text{трmax}}(x)} + \frac{F_{\text{тр}}(x)}{F_{\text{трmax}}(x)} + \frac{F_{\text{ин}}(x)}{F_{\text{трmax}}(x)} \quad (5)$$

Графическая интерпретация этого положения приведена на рис. 2.

Проведенный анализ на основе описанных ранее зависимостей составляющей от сил сопротивления черпанию $F_c(x)$, касательной составляющей от веса ковша $F_t(x)$ и силы трения ковша о забой $F_{\text{тр}}(x)$ в уравнениях (1), (2) и (4) в относительной форме, а также представленной графической интерпретации свидетельствует, что с увеличением пути наполнения ковша породой все вышеперечисленные силы существенно возрастают вследствие увеличения массы, присоединенной к тяговым канатам. Одновременно с этим повышается и жесткость тяговых канатов, характеризующаяся зависимостью [11], Н/м:

$$d(x) = E_s \frac{nS}{l_0 - x} = E_s \frac{nS}{l_{\text{пут}} \left(\frac{l_0}{l_{\text{пут}}} - \frac{x}{l_{\text{пут}}} \right)}, \quad (6)$$

где E_s – модуль упругости стальных канатов, $E_s = kE_0$, Н/м^2 (k – безразмерный коэффициент, характеризующий конструкцию стального троса и тип свивки его прядей, $k < 1$ [9], E_0 – модуль упругости Юнга Н/м^2 [12]), n – число тяговых канатов, ед., S – сечение одного стального каната, м^2 , l_0 – длина одного каната от упряжи Пейджа до барабана тяговой лебедки, м.

Собственная частота колебаний $\omega_0(x)$ в системе тяговые канаты – ковш в зависимости от пути наполнения ковша драглайна определяется как корень из отношения жесткости тяговых канатов к весу ковша [13]. В каждый конкретный момент времени собственная частота колебаний будет иметь различные значения, зависящие непосредственно от пройденного пути при наполнении ковша породой.

Анализируя значение собственной частоты колебаний в системе тяговые канаты – ковш для конкретных точек по пути движения и наполнения ковша породой (в момент страгивания ковша при условии $x = 0$ (см. рис. 1, а) и в момент окончания черпания при условии $x = l_{\text{пут}}(i)$ (см. рис. 1, б)), можно сделать вывод, что собственная частота системы тяговые канаты – ковш является величиной переменной и существенно изменяется от момента страгивания ковша в начале черпания породы до момента окончания черпания.

Дальнейшая интерпретация и анализ полученных выражений собственной частоты колебаний в системе тяговые канаты – ковш позволяют сделать вывод, что собственная частота в момент страгивания ковша драглайна в начале черпания больше собственной частоты этой системы в момент окончания черпания: $\omega_0(x = 0) > \omega_0(x = l_{\text{пут}}(i))$.

Тщательное рассмотрение выражения, характеризующего силу трения ковша о забой по пути наполнения ковша драглайна породой в момент окончания черпания $F_{\text{тр}}(x = l_{\text{пут}}(i))$ и при страгивании $F_{\text{тр}}(x = 0)$ приводит к выводу, что сила трения в конце черпания превышает силу трения в момент начала движения ковша в забой.

В свою очередь, дополнительно были проанализированы и представлены аналитические отношения амплитуд выходного и входного сигналов колебательной системы тяговые канаты – ковш в функции вынужденной частоты колебаний, представляющие собой амплитудно-частотную характеристику (АЧХ) $\xi(\omega)$, которая в соответствии с результатами, приведенными в [13–15], имеет вид

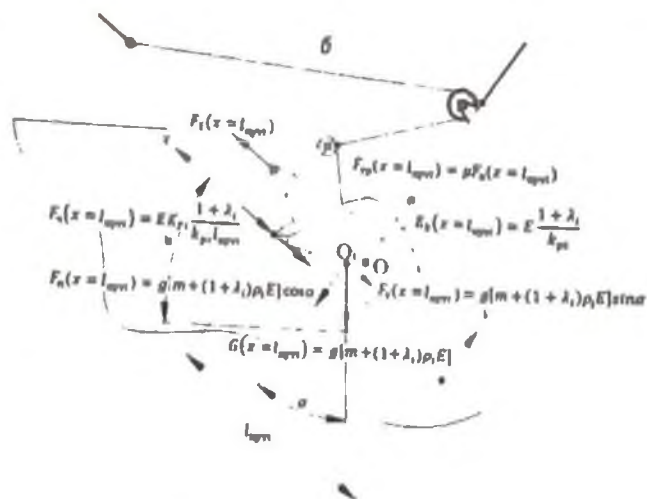
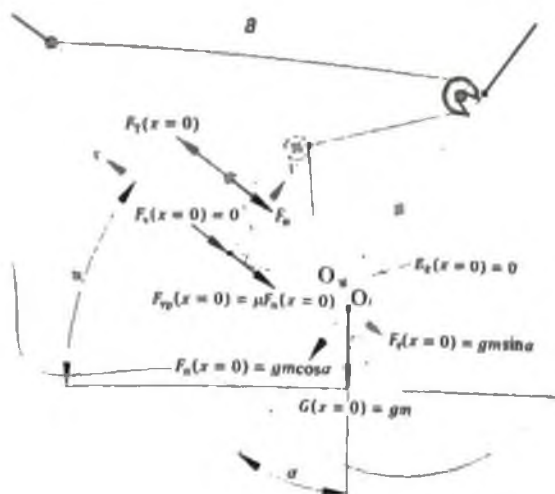


рис. 1. Схема сил, действующих на ковш драглайна по пути его наполнения породой: а – в начале черпания ($x = 0$); б – в конце черпания ($x = l_{\text{нп}}$)

$$\xi(\omega) = \frac{k\omega_0^2}{\sqrt{(\omega_0^2 - \omega^2) + 4\zeta^2(x)\omega_0^2\omega^2}} \quad (7)$$

где k – безразмерный коэффициент пропорциональности; ω – частота вынужденных колебаний, рад/с; $\zeta(x)$ – коэффициент затухания колебаний в системе тяговые канаты – ковш, характеризующий влияние диссипативных сил (в основном силы трения ковша о забой) на форму АЧХ; так, с уменьшением коэффициента затухания вынужденная частота приближается к собственной, и резонансный пик АЧХ становится выше и острее, $0 < \zeta(x) < 2^{-0.5}$.

Величину модального значения АЧХ можно определить из описанного выше выражения амплитудно-частотной характеристики при равенстве частот $\omega_0 = \omega$:

$$\xi(\omega_0 = \omega) = \frac{k}{2\zeta(x)}, \quad 0 \leq x \leq l_{\text{нп}} \quad (8)$$

Поскольку диссипативные силы в системе тяговые канаты – ковш в основном определяются силой трения ковша о забой, естественно предположить, что отношение модальных значений АЧХ в момент окончания черпания и в момент его начала с большой степенью точности [16–18] аналогично подобному отношению силы трения в конце черпания к силе трения в момент начала движения ковша в забое. Иными словами, модальное значение амплитудно-частотной характеристики системы тяговые канаты – ковш в момент начала страгивания ковша драглайна меньше, чем ее модальное значение в конце черпания.

В свою очередь, последовательная установка рычажного УДУ в канатно-блочную передачу тягового механизма драглайна (рис. 3) позволит уменьшить ее жесткость. С учетом этого была получена собственная частота колебательной системы УДУ – тяговые канаты – ковш, которая имеет вид, рад/с:

$$\omega_{\text{УДУ}}(x) = \frac{c_{\text{УДУ}} E_y a n S}{\sqrt{[c_{\text{УДУ}} \alpha(l_0 - x) + E_y n S(a + b)] \left[m + \rho_1 E \frac{1 + \lambda_1}{k_{\text{рп}}} \frac{x}{l_{\text{нп}}} \right]}} \quad (9)$$

Используя в качестве предельного значения коэффициента затухания колебаний в системе УДУ – тяговые канаты – ковш неравенство $\zeta(x) < 2^{-0.5}$, аналитически можно представить выражение для собственной частоты колебаний системы УДУ – тяговые канаты – ковш в виде произведения правой части неравенства и собственной частоты

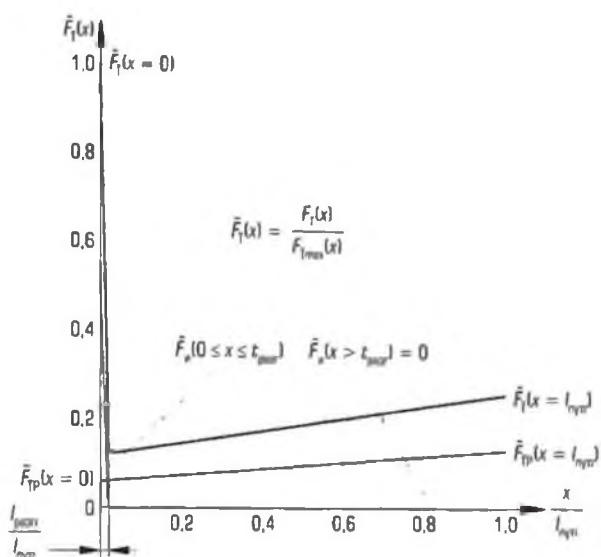


рис. 2. Зависимость относительного усилия в тяговых канатах драглайна от пути наполнения ковша породой в соответствии со схемой сил, действующих на ковш в начале ($x = 0$) и в конце черпания ($x = l_{\text{нп}}$)

колебаний в системе тяговые канаты – ковш. Продолжая алгебраические преобразования с учетом полученных ранее зависимостей собственной частоты колебаний при различных отрезках пройденного пути наполнения ковша породой и собственной частоты колебательной системы УДУ – тяговые канаты – ковш относительно $c_{\text{УДУ}}$ имеем, Н/м:

$$c_{\text{УДУ}}(x) = \frac{a}{a + b} E_y \frac{nS}{l_0 - x} \quad (10)$$

Анализируя полученное выражение, делаем вывод, что величина $c_{\text{УДУ}}$, Н/м, принимает максимальное значение в момент окончания черпания при $x = l_{\text{нп}}$:

$$c_{\text{УДУmax}} = E_y \frac{nS}{l_0 - l_{\text{нп}}} \frac{a}{a + b} \quad (11)$$

Дальнейшие преобразования полученных зависимостей позволяют установить частоту собственных колебаний системы УДУ – тяговые канаты – ковш драглайна, рад/с:

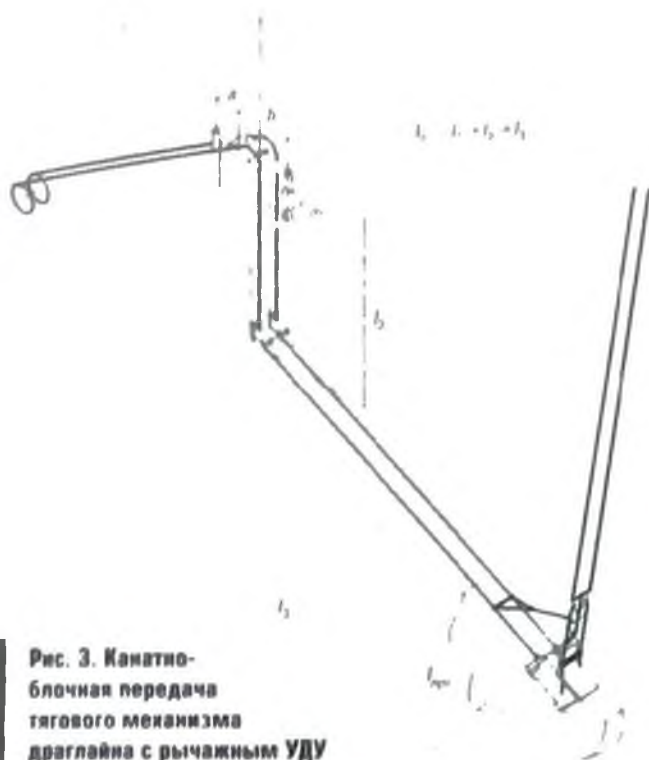


Рис. 3. Канатно-блочная передача тягового механизма драглайна с рычажным УДУ

$$\omega_{\text{уду}}(x = l_{\text{уду}}) = \sqrt{\frac{2E_y n S}{(l_0 - l_{\text{уду}}) \left(m + \rho E \frac{1 + \lambda}{k_p} \right)}} \quad (12)$$

Графическая интерпретация зависимости модальных значений амплитуд колебаний $\xi(\omega_0 = \omega, x)$ систем тяговые канаты – ковш и УДУ – тяговые канаты – ковш в функции относительного пути наполнения ковша $x/l_{\text{уду}}$ представлена на рис. 4.

Анализ зависимостей, приведенных на рис. 4, свидетельствует, что канатно-блочная передача тягового механизма драглайна, оснащенная рычажным УДУ, имеющим жесткость, определенную по формуле (11), обеспечивает меньшие модальные значения амплитуд колебаний на всем пути наполнения ковша.

Следует отметить, что нагрузочная способность упругого элемента рычажного УДУ обеспечивается подбором величин длин a и b рычага, m , удовлетворяющим неравенству

$$\Delta_{\text{уду}} \leq \frac{a}{b + c} \frac{F_T}{c_{\text{уду}}} \quad (13)$$

где $\Delta_{\text{уду}}$ – максимальная осадка упругого элемента рычажного УДУ, F_T – номинальное усилие в тяговых канатах драглайна,

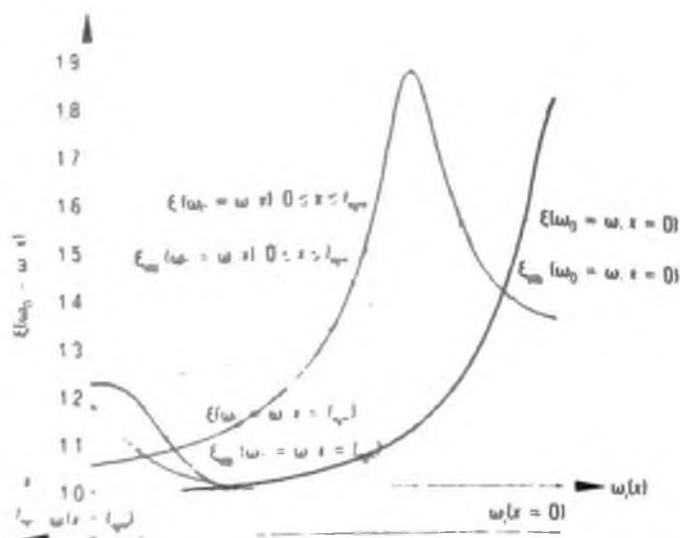


Рис. 4. Зависимость модальных значений амплитуд колебаний $\xi(\omega_0 = \omega, x)$ систем тяговые канаты – ковш и УДУ – тяговые канаты – ковш в функции относительного пути наполнения ковша $x/l_{\text{уду}}$

соответствующее касательному усилию на барабане тяговой лебедки при полной нагрузке электродвигателей ее привода.

Заключение

На основе вышеизложенного можно констатировать, что за счет увеличения массы, присоединенной к тяговым канатам по пути наполнения ковша драглайна породой, возрастают силы сопротивления его движению, одновременно с этим повышается жесткость тяговых канатов за счет уменьшения их длины. Собственная частота колебаний системы тяговые канаты – ковш изменяется от момента страгивания ковша до момента окончания черпания, причем ее большее значение имеет место при страгивании ковша, а меньшее – в момент окончания черпания. Также можно сделать вывод, что диссипативные (демпфирующие) колебания) силы в колебательной системе тяговые канаты – ковш в основном определяются трением ковша о забой и являются закритическими, а канатно-блочная передача тягового механизма драглайна, оснащенная рычажным УДУ, который имеет максимальную жесткость, обеспечивает наименьшие модальные значения амплитуд колебаний на всем пути наполнения ковша.

Представленная методика установления максимальной жесткости упругодемпфирующего устройства в механизме тяги драглайна может быть предложена к использованию при разработке новых, а также модернизации существующих моделей драглайнов на предприятиях ПАО «Уралмашзавод», АО «НКМЗ» и др.

Библиографический список

1. Программа развития угольной промышленности России на период до 2030 г. утв. Распоряжением Правительства РФ от 21.06.2014 № 1049-р (с изм. на 05.04.2019). URL: <http://docs.cntd.ru/document/420204008> (дата обращения: 15.12.2021).
2. Драглайны шагающие / ПАО «Уралмашзавод». URL: https://uralmash-kartex.ru/assets/gallery/ekskaeratory/Draglajny/Draglajny_shagayushie.pdf (дата обращения: 14.12.2021).
3. Белякин Ю. И., Владимирова В. М. Совершенствование экскаваторных работ на карьерах. – М.: Недра, 1974. – 303 с.
4. Домбровский Н. Г., Понкратьев С. А. Землеройные машины. – М.: Госстройиздат, 1961. Ч. 1. Одноковшовые экскаваторы. – 651 с.
5. Мизно Д. Е., Шадрин А. И., Авдеев А. Н., Микров А. П. Холодильность и влажность металлоконструкций горных машин в условиях Севера. – Иркутск: Изд-во ИргТУ, 2010. – 231 с.
6. Федоров Д. И., Бондарович Б. А., Перепонов В. И. Надежность металлоконструкций землеройных машин. Методы оценки и расчета. – М.: Машиностроение, 1971. – 216 с.
7. Подзери Р. Ю. Механическое оборудование карьеров: учебник. – 8-е изд., перераб. и доп. – М.: Майнинг Медиа Групп, 2013. – 593 с.
8. Чулков Н. Н., Чулков А. Н. Расчет приводов карьерных машин. – М.: Машиностроение, 1979. – 104 с.
9. Густов Ю. И., Слетов С. Ю. Прогнозирование трибомеханических показателей системы тяговой канат – канатопроводящий шкив лифтов по коэффициенту трения скольжения // Подъемно-транспортное дело. 2019. № 1-2(96). С. 2–4.
10. Лебедев Г. В., Хорошавина Т. А., Яровиков В. А., Гоголашвили Г. Ш., Целищева Л. В. Исследование зависимости коэффициента трения скольжения от различных факторов // Научному прогрессу – творчество молодых. 2016. № 1. С. 54–57.

11. Соловьев С. В., Кузиев Д. А. Исследование жесткостных параметров привода тягового механизма драглайна ЭШ-10/70 // Уголь. 2017. № 1. С. 37–38.
12. Соловьев С. В., Кузиев Д. А. Зависимость динамики рабочего процесса карьерного драглайна от упруго-демпфирующих параметров привода его тягового механизма // Уголь. 2014. № 2. С. 60–62.
13. Kai Zhang, Guoxi Li, Jing Zhong Gong, Meng Zhang. Research on Assembly Data Mining Technology of Complex Mechanical System // Procedia CIRP. 2016. Vol. 44. P. 97–101.
14. Zhenjun Li, Xiaomo Yu. Data mining technology for mechanical engineering computer test system // Mechanical Systems and Signal Processing. 2020. Vol. 141. DOI: 10.1016/j.ymssp.2020.106628

«GORNYY ZHURNAL», 2021, № 5, pp. 79–83
DOI: 10.17580/gzh.2021.05.09

Maximal stiffness of elastically damping device in traction of draglines

Information about authors

I. N. Klementieva¹, Senior Lecturer, Candidate of Engineering Sciences

D. A. Kuziev¹, Associate Professor, Candidate of Engineering Sciences, da.kuziev@misis.ru

¹MUST MISIS, Moscow, Russia

Abstract

One of the critical objectives set by the long-term program of the coal industry development up to 2030, approved by the Government of the Russian Federation is coal extraction by the most effective open pit mining method using draglines. Traction of draglines is composed of a drive winch and rope transmissions. Digging (excavation) duration makes up to 30 % of the total operating cycle of a dragline. During digging, the traction, drive, gears and rope transmissions of a dragline are exposed to considerable dynamic loads. Deloading of the dragline traction is achievable through the use of an elastically damping device inserted in the rope transmission. With longer duration of the bucket performance, the force in the drag cables grows consequent on the increase in the digging resistance, tangential weight of the filled bucket and in the bucket–rock friction force as a result of the growing mass connected to the drag cables. At the same time, stiffness of the drag cables increases as their length gets shorter. Put it otherwise, the natural frequency in the drag cables–bucket system is a variable value and varies from the moment of the bucket breakaway up to the moment of digging termination. It is shown analytically that the efficient reduction in dynamic loading requires that the natural frequency of the elastic damper mounted in the rope transmission of a dragline is lower than the natural frequency in the rope cables–bucket system at the end of digging.

Keywords: coal extraction, open pit mining method, dragline, rope transmission, traction, elastic damper.

References

1. Development Program for the Coal Industry in Russia up to 2030. Approved by the Russian Federation Government Decree No. 1099 dated June 21, 2014 (as amended 05.04.2019). Available at: <http://docs.cntd.ru/document/420204008> (accessed: 15.12.2021).
2. Walking dragline excavators. Uralmash. Available at: https://uralmash-kartex.ru/assets/gallery/Ekskavatoryi/Draglainyi/Draglainyi_shagayushche.pdf (accessed: 19.12.2020).

15. Бидерман В. Л. Теория механических колебаний. – 3-е изд., доп. – М.: URSS, 2017. – 416 с.
16. Yang S., Mi X., Wang X., Li D., Liu W., Liu X. A design method of inertial navigation's damping device based on rubber equivalent dynamic Young's Modulus // Zhongguo Guanxing Jishu Xuebao / Journal of Chinese Inertial Technology. 2019. Vol. 27. Iss. 5. P. 695–700.
17. Кузнецов Н. К., Иов А. А., Иов А. А. Разработка электромеханической модели механизма тяги шагающего экскаватора // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2017. Т. 21. № 11(130). С. 53–66.
18. Heidari H. R., Safarpour P. Design and modeling of a novel active squeeze film damper // Mechanism and Machine Theory. 2016. Vol. 105. P. 235–243. 
3. Belyakov Yu. I., Vladimirov V. M. Improvement of excavation at open pits. Moscow: Nedra, 1974. 303 p.
4. Dombrovskiy M. G., Pankratov S. A. Digging machines. Moscow: Gosstroyizdat, 1961. Part I. Single-bucket excavator. 651 p.
5. Makhno D. E., Shadrin A. I., Avdeev A. N., Makarov A. P. Cold brittleness and cold resistance of metalware in mining machines in the conditions of the North Irkutsk. Izdatelstvo IGUTU. 2010. 231 p.
6. Fedorov D. I., Bondarovich B. A., Pereponov V. I. Reliability of metal structures in digging machines. Design and evaluation methods. Moscow: Mashinostroyeniye, 1971. 216 p.
7. Poderni R. Yu. Mechanical equipment of open pits. Tutorial. 8th edition, revised and enlarged. Moscow: Mining Media Group, 2013. 593 p.
8. Chulikov M. N., Chulikov A. N. Drive design for quarrying machines. Moscow: Mashinostroyeniye, 1979. 104 p.
9. Gustov Yu. I., Sletov S. Yu. Forecasting of tribomechanical indicators of the system traction rope – KVS lift by slip friction coefficient. Lift and Transportation Engineering. 2019. No. 1. 2(96). pp. 2–4.
10. Lebedev G. V., Khoroshavina E. A., Yarovikov V. A., Gogelashvili G. Sh., Tselishcheva L. V. Dependence of sliding friction coefficient on different factors. Nauchnomy progress – vreshchnye molodykh. 2016. No. 1. pp. 54–57.
11. Solovov S. V., Kuziev D. A. Dragline ESh-10/70 linkage stiffness parameters study. Ugol. 2017. No. 1. pp. 37–38.
12. Solovov S. V., Kuziev D. A. Dependence of strip-mine dragline work process dynamics from elastic-damping parameters of its linkage gear. Ugol. 2014. No. 2. pp. 60–62.
13. Kai Zhang, Guoxi Li, Jing Zhong Gong, Meng Zhang. Research on Assembly Data Mining Technology of Complex Mechanical System. Procedia CIRP. 2016. Vol. 44. pp. 97–101.
14. Zhenjun Li, Xiaomo Yu. Data mining technology for mechanical engineering computer test system. Mechanical Systems and Signal Processing. 2020. Vol. 141. DOI: 10.1016/j.ymssp.2020.106628
15. Бидерман В. Л. Механические колебания. 3-е изд., доп. – М.: URSS, 2017. 416 с.
16. Yang S., Mi X., Wang X., Li D., Liu W., Liu X. A design method of inertial navigation's damping device based on rubber equivalent dynamic Young's Modulus. Zhongguo Guanxing Jishu Xuebao. Journal of Chinese Inertial Technology. 2019. Vol. 27. Iss. 5. pp. 695–700.
17. Kuznetsov N. K., Iov A. A., Iov A. A. Developing electromechanical model of walking dragline traction mechanism. Vestnik Irkutskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. 2017. Vol. 21, No. 11(130). pp. 53–66.
18. Heidari H. R., Safarpour P. Design and modeling of a novel active squeeze film damper. Mechanism and Machine Theory. 2016. Vol. 105. pp. 235–243.

УДК 621.867.2:622

ОБОСНОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ВЕЛИЧИНЫ НЕОБХОДИМОГО ПРИЖИМНОГО УСИЛИЯ НА КРУТОНАКЛОННОМ КОНВЕЙЕРЕ С ПРИЖИМНОЙ ЛЕНТОЙ ОТ ЕГО ДЛИНЫ И УГЛА НАКЛОНА

Е. Е. ШЕШКО, проф., канд. техн. наук, esheshko@mail.ru

О. В. ПЕСТРИКОВ, аспирант

Горный институт НИТУ «МИСиС», Москва, Россия

Введение

Предприятия горнодобывающей промышленности России являются базой, формирующей бюджет страны; вклад их в ВВП составляет 60–70 %. Поэтому проблемы открытых горных разработок как составляющей части горнодобывающей промышленности нельзя недооценивать [1].

Рассмотрено напряженное состояние груза на полотне крутонаклонного конвейера с прижимной лентой. Показано, что при большой длине установки прижимное усилие зависит не только от угла подъема крутонаклонного конвейера, но в большой степени от его длины.

Ключевые слова: крутонаклонный конвейер, касательные и продольные напряжения трения, угол подъема, напряженное состояние груза, длина установки, прижимное усилие.

DOI: 10.17580/gzh.2021.05.10

Появление в последние годы на горных предприятиях мира и в нашей стране мощных крутонаклонных конвейеров с прижимной лентой длиной до 200 м доказало их экономическую эффективность и одновременно выявило некоторые недостатки [2–8].

Возрастает заинтересованность крупных горнодобывающих предприятий страны в углублении исследований крутонаклонных конвейеров с прижимной лентой, расширяется область исследований и эмпирических данных. Вместе с тем все конвейеры (а это уникальные образцы по производительности, углу установки и длине), установленные в Российской Федерации и других странах СНГ в последние годы, сделаны не на отечественных заводах. Это объясняется в частности тем, что отсутствует принятая методика расчета параметров крутонаклонного конвейера с прижимной лентой в отечественной и зарубежной технической литературе. Одним из основных вопросов возникающих при проектировании высокопроизводительных установок большой длины, попытка рассмотреть который сделана в данной статье, является величина прижимного усилия, влияющая на значительную часть параметров конвейера.

Обоснование зависимости прижимного усилия от длины установки

Исследованием крутонаклонных конвейеров с прижимной лентой занимались многочисленные научные работники как у нас в стране, так и за рубежом.

Крутонаклонный конвейер с прижимной лентой состоит из грузонесущего 1 и прижимного 2 контуров, каждый из которых имеет свой привод (7, 8) и натяжное устройство (5, 6), рис. 1.

Несмотря на достаточно большое число работ, посвященных обоснованию параметров крутонаклонного конвейера с прижимной лентой (ширина ленты, величина прижимного усилия, распределение нагрузки между лентами и др.), лишь немногие исследователи рассматривали зависимость необходимого прижимного усилия от длины крутонаклонного конвейера.

Возможно, это объясняется тем, что большая часть крутонаклонных конвейеров с прижимной лентой, созданных в течение последних десятилетий в мире, имели незначительную длину и производительность. Однако сегодня возрос спрос на высокопроизводительные крутонаклонные конвейеры с прижимной лентой большой длины, на особенностях данного оборудования следует остановиться отдельно [4, 5, 9, 10].

Исходя из того, что поперечные размеры конвейера значительно меньше продольных, допустимо в некоторых случаях рассматривать конвейер как длинный узкий сосуд, направленный под углом к горизонту. Исследование минимального необходимого прижимного усилия на прижимную ленту для сохранения устойчивости груза

показало, что условием устойчивости груза на любой элементарной площадке при массовом его перемещении является (рис. 2 а)

$$\tau_{\text{ср}} \times F = \sigma_{\text{ср}} F \quad (1)$$

где $\tau_{\text{ср}}$ – касательное напряжение трения в толще груза, направленное параллельно продольной оси конвейера вверх, F – рабочая площадь грузонесущей ленты при соответствующей высоте слоя на единицу длины, $\sigma_{\text{ср}}$ – продольное давление (в поперечном сечении груза) F – площадь поперечного сечения груза.

Анализ эпюр касательных и продольных напряжений трения показал, что учитывая линейное распределение касательных напряжений трения в поперечном сечении, при угле наклона конвейера $\approx 31^\circ$ в нулевой точке (см. рис. 2 б) условие равновесия (1) вследствие неравномерности распределения продольных и касательных напряжений трения нарушается. В поперечном сечении появляется зона неустойчивости, которая увеличивается при возрастании угла наклона и высоты слоя груза [11, 12].

Это создает дополнительную продольную силу $\sigma_{\text{доп}}$, направленную вдоль продольной оси конвейера, величина которой зависит от длины конвейера

$$\sigma_{\text{доп}} = q_{\text{доп}}^{\text{ср}} \cdot L \cdot m \cdot F^{\text{ср}} \quad (2)$$

где $q_{\text{доп}}^{\text{ср}}$ – средняя дополнительная продольная сила на единицу длины конвейера, L – расстояние от верхнего участка конвейера до рассматриваемого сечения, m – коэффициент подвижности груза, $F^{\text{ср}}$ – рабочая площадь прижимной ленты на единицу длины конвейера.

В результате происходят нарушение равновесия сил и потеря устойчивости груза. Для уменьшения размеров неустойчивой зоны предлагается увеличивать прижимное усилие. Как следствие, уменьшится значение $\sigma_{\text{доп}}$, т.е. деформация ленты между роликоспорами. Расчеты показали, что при длине конвейера до 50 м эту силу можно не учитывать, при длине 50–100 м считать равной $(0,2 \div 0,3) \sigma_{\text{ср}}$ и свыше 100 м – необходимо рассчитывать отдельно [11–14].

Недостаток прижимного усилия обуславливает увеличение нагрузки на грузовую ветвь, что негативно может сказаться на ее сроке службы.

Известно, что до 30 % простоев крутонаклонных конвейеров в мире происходит из-за неполадок с грузонесущей лентой [9].

Для исследования зависимости необходимого прижимного усилия для мощных крутонаклонных конвейеров с прижимной лентой от длины были составлены программы в системе MathCad. В качестве исходного был принят конвейер, транспортирующий руду на высоту 220 м под углом 40° .

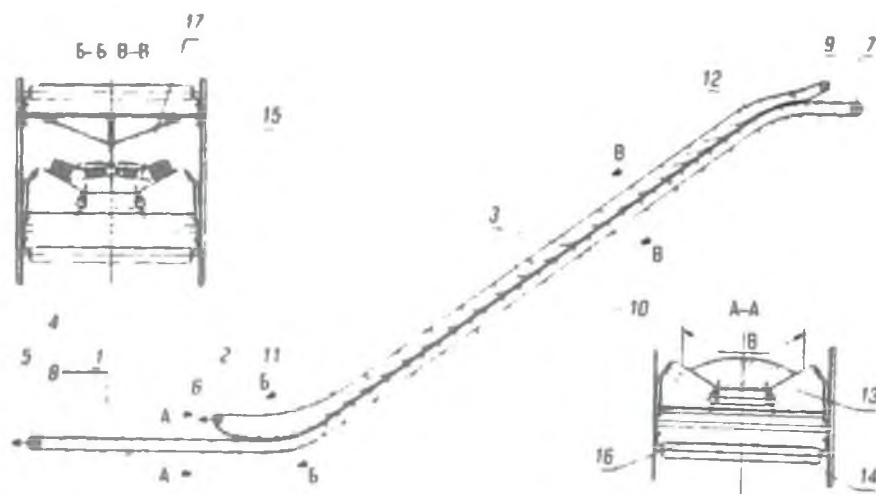


Рис. 1. Схема крутонаклонного конвейера с прижимной лентой с указанием характерных точек:

- 1 – грузовой контур; 2 – прижимной контур;
- 3 – прижимные устройства, 4 – загрузочное устройство, 5 – натяжное устройство грузонесущего контура, 6 – натяжное устройство прижимного контура, 7 – приводы грузонесущего и прижимного контуров;
- 8 – загрузочный участок, 9 – переход груза с крутонаклонной части на пологий участок;
- 10 – крутонаклонный участок, 11 – нижний переходный участок, 12 – верхний переходный участок, 13, 14 – верхние и нижние роликоспоры грузонесущего контура;
- 15 – металлоконструкция конвейера;
- 16 – верхняя и нижняя ветви грузонесущего контура;
- 17 – верхняя и нижняя ветви прижимного контура.

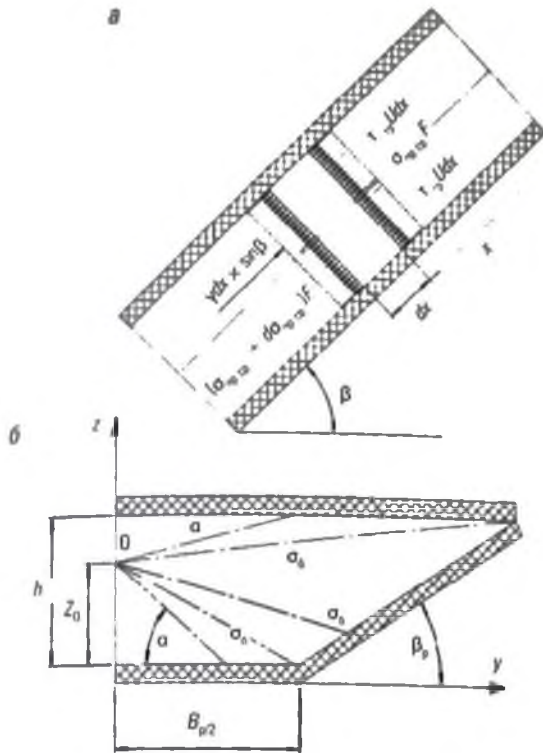


Рис. 2. Расчетные схемы по определению напряжений в сыпучем теле:

a – продольное сечение; b – поперечное сечение
 γdx – вес выделенного слоя груза толщиной dx ; $U dx$ – площадь, соприкосновения элементарного объема груза толщиной dx с поверхностью лент; $\tau_{нр}$, $\tau_{нп}$ – касательные напряжения трения груза с грузонесущей и прижимной лентами соответственно;
 x – текущая координата (по длине) конвейера; h – высота поперечного сечения груза; z – текущая координата рассматриваемого поперечного сечения груза по высоте;
 Z_0 – высота нулевой точки; α – угол между боковым давлением и поверхностями лент

Формулы для определения необходимого линейного прижимного усилия отражают необходимость:

• надежного смыкания боковых краев ленты, при котором отсутствует просыпание груза:

$$q_{нр} \geq 10,28 \frac{B_p + h \cos \beta \sigma_p}{B_p + 1,3 h \cos \beta \sigma_p} \sigma_0 h^2, \quad (3')$$

• отсутствия проскальзывания слоев груза относительно друг друга и относительно ленты вдоль продольной оси конвейера:

$$q_{нр} \geq 1,85 \frac{h}{\cos \beta} \sigma_0 + \frac{B_p + 2 h \cos \beta \sigma_p}{\cos \beta} \sigma_{доп}, \quad (3'')$$

где B_p – длина среднего ролика роlikоопоры; h – высота слоя груза; β_p – угол наклона боковых роликов роlikоопоры; β – угол наклона конвейера; σ_0 – боковое напряжение; $\sigma_{доп}$ – дополнительное напряжение.

В первом случае высота подъема груза оставалась постоянной, а угол подъема изменялся от 20 до 60° с шагом в 5°, вследствие чего варьировала длина конвейера (рис. 3).

Как можно заметить, при увеличении угла наклона конвейера (уменьшении длины) происходят рост бокового давления и, следовательно, расширение зоны неустойчивости груза. В результате этого повышается величина дополнительного продольного напряжения на единицу длины. Размер зоны неустойчивости груза в первую очередь

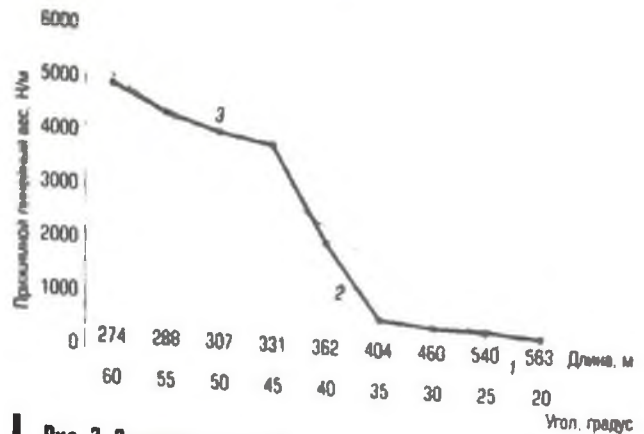


Рис. 3. Зависимость необходимого прижимного усилия от длины конвейера (от верхней точки крутонаклонного участка) при постоянной высоте подъема

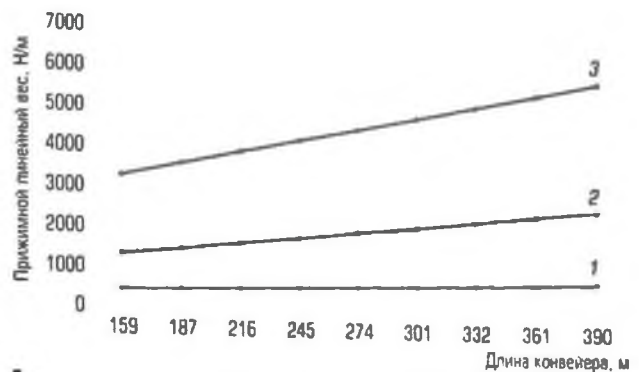


Рис. 4. Зависимость необходимого прижимного усилия от длины конвейера при углах наклона 30 (1), 45 (2) и 60° (3)

зависит от коэффициента внутреннего трения груза, коэффициента трения груза с лентой, а также от угла наклона конвейера

Характер изменения прижимного усилия на рис. 3 условно можно представить в виде трех участков.

• участок 1 соответствует примерно углу наклона конвейера от 20 до 35°; зона неустойчивости практически отсутствует, в результате чего необходимый прижимной вес определяется только из условия отсутствия проскальзывания слоев груза (формула 3');

• на участке 2 (35–45°) возникает и резко увеличивается область неустойчивости груза, вследствие чего происходит почти экспоненциальный рост необходимого прижимного усилия;

• на участке 3 (45–60°) зона неустойчивости груза становится максимальной (полная высота слоя груза), в результате чего наблюдается уже плавное увеличение необходимого прижимного усилия.

С этой позиции наиболее рациональный угол подъема конвейера находится в районе 35±(2–3°), если снижение длины конвейера и объема горных работ при большем угле подъема не обусловят экономический эффект

Во втором случае исследование зависимости проводили при постоянном угле наклона (30, 45 и 60°) и переменном значении высоты подъема груза от 120 до 320 м с шагом 25 м (рис. 4).

Как можно видеть, при неизменном угле наклона конвейера величина дополнительного давления на единицу длины конвейера постоянна. Угол наклона прямой на графике зависит только от величины угла наклона конвейера, а величина прижимного усилия определяется в большой степени его длиной. Увеличение необходимого прижимного усилия (и, как следствие, сопротивления движению) влияет

на величину требуемого разрывной прочности обеих лент и мощность привода [14–16]. Поэтому с целью уменьшения сопротивления движению конвейера величину прижимного усилия можно варьировать по длине конвейера в соответствии с местом установки.

Заключение

1 Как показали исследования, длина конвейера существенно влияет на геометрические размеры зоны неустойчивости груза и как следствие на необходимое прижимное усилие.

2 Коэффициент учитывающий влияние длины конвейера на прижимное усилие, зависит в свою очередь от угла наклона

конвейера и возрастает более резко при углах наклона от 35 до 45°. Поэтому установка конвейера под углом $35 \pm (2-3)^\circ$ с этой позиции наиболее рациональна, если при большем угле уменьшение длины конвейера и конфигурация установки не обеспечат существенный экономический эффект.

3 Повышение необходимого прижимного усилия, а значит, и сопротивления движению конвейерной ленты могут увеличивать величину требуемого разрывной прочности обеих лент и мощность привода. Уменьшения сопротивления движению на длинных конвейерах можно добиться установкой переменного значения прижимного усилия.

Библиографический список

1. Кучумов А., Оштин Е. Каменный город // Добывающая промышленность. 2021. № 1. С. 22–32.
2. Driessboom M. The Cost and Value of High Angle Conveying – A Comparison of Economics for different Conveying Paths. 2020. URL: <https://news.bulk-online.com/bulk-solids-handling/archive/the-cost-and-value-of-high-angle-conveying-a-comparison-of-economics-for-different-conveying-paths.html> (дата обращения: 19.12.2020).
3. Sandwich Belt High Angle Conveyor for Mining & In Pit Crushing Conveying project. 2017. URL: <https://bevcconveyors.com/product/sandwich-belt-high-angle-conveyor-for-mining-in-pit-crushing-conveying/> (дата обращения: 15.12.2020).
4. Атакулов Л. Н., Тосhev Ж. Б., Кохаров С. К., Хандаров Ш. Б. Метод обнаружения обрыва резинокабельных лент в местах их стыковки // Горные вестники Узбекистана. 2018. № 3(74). С. 61–65.
5. Атакулов Л. Н., Шешко Е. Е. Повышение экономической эффективности работы крутонаклонного конвейера КНК-270 Навоийского горно-металлургического комбината // ГИАБ. 2019. № 5. С. 181–188.
6. Верзанский А. П., Дмитриев В. Г. Специальные ленточные конвейеры. Сер. Горное машиностроение. М.: Горная книга, 2019. – 496 с.
7. Дмитриев В. Г., Верзанский А. П. Основы теории ленточных конвейеров. – М.: Горная книга, 2017. – 592 с.
8. Dos Santos I. A. High Angle Conveying: The Vital (missing) Link to IPCC Systems – 2017 // Bulk Solids Handling. 2017. Vol. 37. No. 1. P. 16–26.

«ГОРНЫЙ ЖУРНАЛ», 2021, № 5, pp. 83–87
DOI: 10.17580/gzh.2021.05.10

Justification of the required hold-down dependence on the length and angle of high-angle pressure belt conveyor

Information about authors

E. E. Sheshko – Professor, Candidate of Engineering Sciences, esheshko@mail.ru
O. V. Pestrikov – Post Graduate Student
College of Mining, MUST MISIS, Moscow, Russia

Abstract

High capacity and high angle pressure belt conveyors which come into use in open pit mines in Russia and in the post-Soviet space, as well as acknowledgment of their economic efficiency made large mineral mining companies interested in installation of such equipment. The related research and empirical data grow in number. However, conveyors currently operated in Russia and in the CIS countries are manufactured abroad. Both domestic and foreign technical literature lacks a commonly accepted design policy of the conveyors. Furthermore, most foreign manufacture high-angle pressure belt conveyors have small angles and lengths.

In the meanwhile, open pit mines in Russia need long high-capacity and high angle conveyors. Many aspects of justification of high angle conveyor parameters are sufficiently elucidated in technical literature. The estimate of the hold-down and its dependence on the angle and length of a conveyor is yet deficiently studied. The value of the hold-down has a direct influence on the conveyor characteristics, including resistance to motion and engine power requirements. Accordingly, this article analyzes the influence exerted by the angle and length of a conveyor on the hold-down.

The stress state of the load on the belt of the high angle conveyor is analyzed, and the required hold-down is evaluated with respect to the conveyor capacity, angle and length. It is known that hold-down governs loading of the load-carrying branch, which affects its service life. The analysis shows that 30 % of down-time of high angle conveyors in the world is caused by failures of the load-carrying branch.

9. Шешко Е. Е., Атакулов Л. Н. Определение модуля упругости резинокабельных конвейерных лент. Горный журнал. 2019. № 4. С. 73–76. DOI: 10.17580/gzh.2019.04.16
10. Макарова А. С., Телегина О. В. Перспективы установки крутонаклонного конвейера на Михайловском горно-обогатительном комбинате и определение его главных характеристик. ГИАБ. 2018. № 5. С. 178–183.
11. Куратинский А. В. Выбор веса прижимной ленты крутонаклонного конвейера // Шахтный и карьерный транспорт. сб. – М.: Недра, 1975. Вып. 2.
12. Куратинский А. В. Исследование устойчивости груза на крутонаклонном конвейере с прижимной лентой // Добыча угля открытым способом. сб. – М.: ЦНИИУголь, 1975. № 12(120).
13. Шешко Е. Е., Куратинский А. В., Шулятьев Б. М., Росторгуев В. М. Экспериментальное определение давления транспортируемого груза на прижимную ленту крутонаклонного конвейера // Шахтный и карьерный транспорт. сб. – М.: Недра, 1975. Вып. 2.
14. Шешко Е. Е. Влияние величины прижимного усилия на крутонаклонном конвейере с прижимной лентой на его работоспособность и основные параметры // Горный журнал. 2019. № 4. С. 69–73. DOI: 10.17580/gzh.2019.04.15
15. Conveyor Belt Systems – ContiTech AG. 2021. URL: <https://www.continental-industry.com/en/solutions/conveyor-belt-systems> (дата обращения: 19.12.2020).
16. Конвейерные ленты для наклонных подъемников. 2020. URL: <http://ctmetar.ru/transport/glubokih-karierov/8961-konveyernye-lenty-dlya-naklonnyh-podemnikov.html> (дата обращения: 19.12.2020). [7]

The relations are proposed for determining the required linear hold-down versus the length of a conveyor to ensure sliding of cargo layers relative to each other and relative to the belt along the longitudinal axis of the conveyor.

The recommendations on hold-down distribution along the conveyor to slacken the hold-down influence on the resistance to motion and on the engine power are proposed.

Keywords: high-angle conveyor longitudinal and tangential friction stresses, angle, load stress state, conveyor length, hold-down.

References

1. Kuchumov A., Oshchin E. A stone city. *Dobyvayushchaya promyshlennost*. 2021. No. 1. pp. 22–32.
2. Driessboom M. The Cost and Value of High Angle Conveying—A Comparison of Economics for different Conveying Paths. 2020. Available at <https://news.bulk-online.com/bulk-solids-handling/archive/the-cost-and-value-of-high-angle-conveying-a-comparison-of-economics-for-different-conveying-paths.html> (accessed: 19.12.2020).
3. Sandwich Belt High Angle Conveyor for Mining & In Pit Crushing Conveying project. 2017. Available at <https://bevcconveyors.com/product/sandwich-belt-high-angle-conveyor-for-mining-in-pit-crushing-conveying/> (accessed: 15.12.2020).
4. Atakulov L. N., Toshov Zh. B., Kakharov S. K., Khandarov Sh. B. Detection technique for jointing tears of steel-cable rubber belts. *Gornyy vestnik Uzbekistana*. 2018. No. 3(74). pp. 61–65.
5. Atakulov L. N., Sheshko O. E. Improvement of economic efficiency of the high-angle conveyor KNK-270 at Navoi Mining and Metallurgical Combinat. *GIAB*. 2019. No. 5. pp. 181–188.
6. Verzhansky A. P., Dmitriyev V. G. Special belt conveyors. Series: Mining machine engineering. Moscow: Gornaya kniga, 2019. 496 p.
7. Dmitriyev V. G., Verzhansky A. P. Theory of belt conveyors. Moscow: Gornaya kniga, 2017. 592 p.
8. Dos Santos I. A. High Angle Conveying: The Vital (Missing) Link to IPCC Systems – 2017. *Bulk Solids Handling*. 2017. Vol. 37. No. 1. pp. 16–26.
9. Sheshko E. E., Atakulov L. N. Elasticity modulus steel-cable rubber conveyor belts. *Gornyy Zhurnal*. 2019. No. 4. pp. 73–76. DOI: 10.17580/gzh.2019.04.16
10. Makarova A. S., Tegolina O. V. Installation prospects and characterization of steep angle conveyor belt at Mikhailovskiy mining and processing plant. *GIAB*. 2018. No. 5. pp. 178–183.

11. Kuryatnikov A. V. Pressure belt weight selection for high-angle conveyor. *Surface and Underground Mine Transport: Collected Works*. Moscow: Nedra, 1975. Iss. 2.
12. Kuryatnikov A. V. Analysis of load stability on high-angle pressure belt conveyor. *Open Pit Coal Mining. Collected Works*. Moscow: TsNIEUgol, 1975. No. 12(120).
13. Sheshilo E. E., Kuryatnikov A. V., Shulyatev B. I., Rastorguev V. I. Experimental determination of pressure exerted by load on pressure belt of high-angle conveyor. *Open Pit Coal Mining: Collected Works*. Moscow: Nedra, 1975. Iss. 2.

14. Sheshilo E. E. Influence of hold-down on operability and basic parameters of high-angle pressure belt conveyor. *Gornyi Zhurnal* 2019 No. 4 pp. 69–73. DOI: 10.17580/gzh.2019.04.15
15. Conveyor Belt Systems. ContiTech AG, 2021. Available at: <https://www.conti-tech.com/en/solutions/conveyor-belt-systems> (accessed 19.12.2020)
16. Belts for high angle hoisting units. 2020. Available at: <http://ctcmex.ru/transport-globolish-larevov/8961-korveyemye-lenty-dlya-naklonnyh-podemnikov.html> (accessed: 19.12.2020).

УДК 621.878.23

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССА ПРОМЫШЛЕННОГО РЫХЛЕНИЯ ГРУНТА

И. П. ТРОЯНОВСКАЯ^{1,2}, проф., д-р техн. наук, trpvn63@mail.ru
 А. В. РАЗНОШИНСКАЯ¹, доцент, канд. техн. наук
 В. А. КОЗЬМИНЫХ¹, доцент, канд. техн. наук
 Е. А. ЛЕЩЕНКО², доцент, канд. техн. наук

¹ Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия

² Южно-Уральский государственный аграрный университет, Троицк, Россия

Введение

Рыхление является неотъемлемой частью технологического цикла как для сельскохозяйственных, так и строительно-дорожных машин [1, 2]. Вместе с тем процесс принципиально различается. Характер обработки грунта во многом определяется не только параметрами рабочего орудия, но и схемой установки навесной системы [3, 4]. Несмотря на многообразие навесных систем, можно выделить два основных типа: с односторонним и двухсторонним силовым замыканием.

Характеристика навесных систем

Навесные системы почвообрабатывающих машин оснащены гибкой связью с односторонним силовым замыканием, не допускающей принудительного заглубления рабочего орудия в грунт и обеспечивающей его свободное перемещение относительно трактора (рис. 1, а). Такие схемы выполнены на основе шарнирного четырехзвенника, работающего в плавающем положении гидросистемы управления. Теория сельскохозяйственных навесных систем на сегодня разработана достаточно хорошо [5–8].

Навесные системы строительно-дорожных машин предназначены для разрушения прочных, мерзлых и скальных грунтов, и потому принципиально отличаются от навесных систем почвообрабатывающих машин (см. рис. 1, б). Они обеспечивают принудительное заглубление рабочего орудия в грунт и обладают двухсторонним силовым замыканием. Собственно технологический процесс рыхления осуществляется при запертом положении системы управления, что исключает относительное перемещение рабочего орудия и базового трактора. Кроме того, часто промышленные рыхлители выполняют ряд дополнительных функций, требующих изменения угла рыхления в процессе рабочего хода. Все это способствовало появлению множества различных конструктивных схем навесных систем промышленных рыхлительных агрегатов [9, 10]. Выбор наиболее рациональной схемы и параметров навесной системы требует дополнительных исследований самого процесса рыхления.

Цель исследований

В настоящее время исследования процесса рыхления наиболее часто проводят на основе эксперимента [11–13], так как сложность

Представлены результаты экспериментальных исследований усилия сопротивления рыхлению, выполненных на примере гусеничного бульдозерно-рыхлительного агрегата производства Челябинского тракторного завода. Эксперимент реализован при трех значениях глубины и восьми углах рыхления. Установлено, что зависимость усилия сопротивления рыхлению от каждого из этих параметров имеет квадратичный характер. Предложено при исследовании процесса рыхления использовать комплексный параметр, равный произведению глубины на угол рыхления, что позволит упростить расчеты и оптимизировать процесс рыхления в зависимости от типа разрабатываемого грунта.

Ключевые слова: землеройная техника, рыхлитель, навесная система, разрушение грунта, экспериментальные исследования, глубина рыхления, угол рыхления, силовое замыкание.

DOI: 10.17580/gzh.2021.05.11

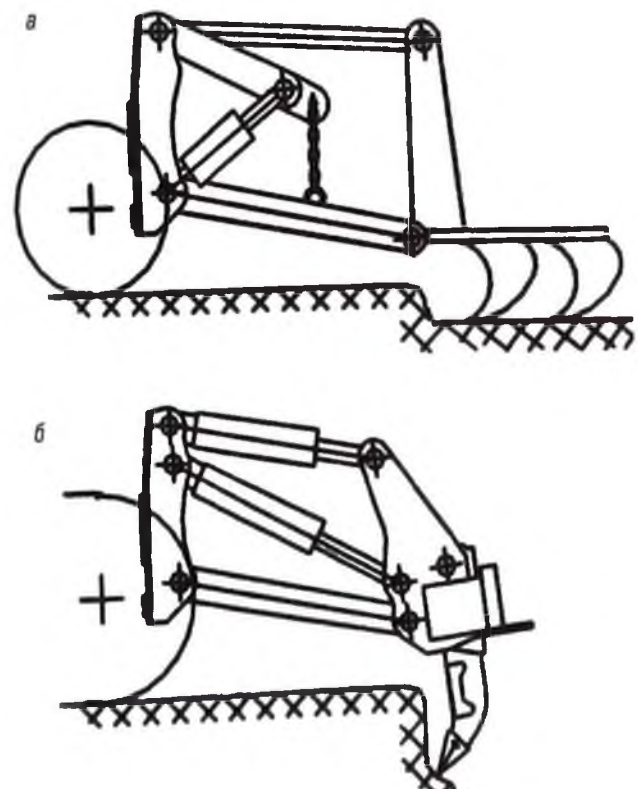


Рис. 1. Навесные системы с односторонним (а) и двухсторонним (б) силовым замыканием

на величину требуемой разрывной прочности обеих лент и мощности привода [14–16]. Поэтому с целью уменьшения сопротивления движению конвейера величину прижимного усилия можно варьировать по длине конвейера в соответствии с местом установки.

Заключение

1. Как показало исследование, длина конвейера существенно влияет на геометрические размеры зоны неустойчивости груза и, как следствие, на необходимое прижимное усилие.

2. Коэффициент, учитывающий влияние длины конвейера на прижимное усилие, зависит, в свою очередь, от угла наклона

конвейера и возрастает более резко при углах наклона от 35 до 45°. Поэтому установка конвейера под углом $35 \pm (2-3^\circ)$ с этой позиции наиболее рациональна, если при большем угле уменьшение длины конвейера и конфигурация установки не обеспечат существенный экономический эффект.

3. Повышение необходимого прижимного усилия, а значит, и сопротивления движению конвейерной ленты могут увеличивать величину требуемой разрывной прочности обеих лент и мощность привода. Уменьшения сопротивления движению на длинных конвейерах можно добиться установкой переменного значения прижимного усилия.

Библиографический список

1. Кучумова А., Ошким Е. Каменный город // Добывающая промышленность. 2021. № 1. С. 22–32.
2. Driettboom M. The Cost and Value of High Angle Conveying – A Comparison of Economics for different Conveying Paths. 2020. URL: <https://news.bulk-online.com/bulk-solids-handling-archive/the-cost-and-value-of-high-angle-conveying-a-comparison-of-economics-for-different-conveying-paths.html> (дата обращения: 19.12.2020).
3. Sandwich Belt High Angle Conveyor for ... Mining & In Pit Crushing Conveying : project 2017. URL: <https://bevconwayors.com/product/sandwich-belt-high-angle-conveyor-for-mining-in-pit-crushing-conveying/> (дата обращения: 15.12.2020).
4. Атакулов Л. Н., Тосhev Ж. Б., Кяхаров С. К., Хайдаров Ш. Б. Метод обнаружения обрыва резинотросовых лент в местах их стыковки // Горный вестник Узбекистана. 2018. № 3(74). С. 61–65.
5. Атакулов Л. Н., Шешко О. Е. Повышение экономической эффективности работы крутонаклонного конвейера КНК-270 Навоийского горно-металлургического комбината // ГИАБ. 2019. № 5. С. 181–188.
6. Вержанский А. П., Дмитриев В. Г. Специальные ленточные конвейеры. Сер. Горное машиностроение. – М.: Горная книга, 2019. – 496 с.
7. Дмитриев В. Г., Вержанский А. П. Основы теории ленточных конвейеров. – М.: Горная книга, 2017. – 592 с.
8. Dos Santos J. A. High Angle Conveying: The Vital (missing) Link to IPCC Systems – 2017 // Bulk Solids Handling. 2017. Vol. 37. No. 1. P. 16–26.

9. Шешко О. Е., Атакулов Л. Н. Определение модуля упругости резинотросовых конвейерных лент // Горный журнал. 2019. № 4. С. 73–76. DOI: 10.17580/gzh.2019.04.16
10. Макарова А. С., Телегина О. В. Перспектива установки крутонаклонного конвейера на Михайловском горно-обогатительном комбинате и определение его главных характеристик // ГИАБ. 2018. № 5. С. 178–183.
11. Курятников А. В. Выбор веса прижимной ленты крутонаклонного конвейера // Шахтный и карьерный транспорт : сб. – М.: Недра, 1975. Вып. 2.
12. Курятников А. В. Исследование устойчивости груза на крутонаклонном конвейере с прижимной лентой // Добыча угля открытым способом : сб. – М.: ЦНИИУголь, 1975. № 12(120).
13. Шешко О. Е., Курятников А. В., Шулятьев Б. И., Росторгуев В. И. Экспериментальное определение давления транспортируемого груза на прижимную ленту крутонаклонного ленточного конвейера // Шахтный и карьерный транспорт : сб. – М.: Недра, 1975. Вып. 2.
14. Шешко О. Е. Влияние величины прижимного усилия на крутонаклонном конвейере с прижимной лентой на его работоспособность и основные параметры // Горный журнал. 2019. № 4. С. 69–73. DOI: 10.17580/gzh.2019.04.15
15. Conveyor Belt Systems / ContiTech AG, 2021. URL: <https://www.continental-industry.com/en/solutions/conveyor-belt-systems> (дата обращения: 19.12.2020).
16. Конвейерные ленты для наклонных подъемников. 2020. URL: <http://ctcmetar.ru/transport-glubokih-karerov/8961-konveyernye-lenty-dlya-naklonnyh-podemnikov.html> (дата обращения: 19.12.2020). □

«GORNYI ZHURNAL», 2021, № 5, pp. 83–87
DOI: 10.17580/gzh.2021.05.10

Justification of the required hold-down dependence on the length and angle of high-angle pressure belt conveyor

Information about authors

E. E. Sheshko¹, Professor, Candidate of Engineering Sciences, esheshko@mail.ru
O. V. Pestrikov², Post-Graduate Student
¹College of Mining, NUST MISIS, Moscow, Russia

Abstract

High-capacity and high-angle pressure belt conveyors which come into use in open pit mines in Russia and in the post-Soviet space, as well as acknowledgment of their economic efficiency made large mineral mining companies interested in installation of such equipment. The related research and empirical data grow in number. However, conveyors currently operated in Russia and in the CIS countries are manufactured abroad. Both domestic and foreign technical literature lacks a commonly accepted design policy of the conveyors. Furthermore, most foreign-manufacture high-angle pressure belt conveyors have small angles and lengths.

In the meanwhile, open pit mines in Russia need long high-capacity and high-angle conveyors. Many aspects of justification of high-angle conveyor parameters are sufficiently elucidated in technical literature. The estimate of the hold-down and its dependence on the angle and length of a conveyor is yet definitely studied. The value of the hold-down has a direct influence on the conveyor characteristics, including resistance to motion and engine power requirements. Accordingly, this article analyzes the influence exerted by the angle and length of a conveyor on the hold-down.

The stress state of the load on the belt of the high-angle conveyor is analyzed, and the required hold-down is evaluated with respect to the conveyor capacity, angle and length. It is known that hold-down governs loading of the load-carrying branch, which affects its service life. The analysis shows that 30 % of down-time of high-angle conveyors in the world is caused by failures of the load-carrying branch.

The relations are proposed for determining the required linear hold-down versus the length of a conveyor to ensure sliding of cargo layers relative to each other and relative to the belt along the longitudinal axis of the conveyor.

The recommendations on hold-down distribution along the conveyor to slacken the hold-down influence on the resistance to motion and on the engine power are proposed.

Keywords: high-angle conveyor, longitudinal and tangential friction stresses, angle, load stress state, conveyor length, hold-down.

References

1. Kuchumova A., Oshkim E. A stone city. *Dobyvayushchaya promyshlennost*. 2021. No. 1. pp. 22–32.
2. Driettboom M. The Cost and Value of High Angle Conveying—A Comparison of Economics for different Conveying Paths. 2020. Available at: <https://news.bulk-online.com/bulk-solids-handling-archive/the-cost-and-value-of-high-angle-conveying-a-comparison-of-economics-for-different-conveying-paths.html> (accessed: 19.12.2020).
3. Sandwich Belt High Angle Conveyor for ... Mining & In Pit Crushing Conveying : project. 2017. Available at: <https://bevconwayors.com/product/sandwich-belt-high-angle-conveyor-for-mining-in-pit-crushing-conveying/> (accessed: 15.12.2020).
4. Atakulov L. N., Toshev Zh. B., Kakharov S. K., Khaidarov Sh. B. Detection technique for jointing tears of steel-cable rubber belts. *Gornyi vestnik Uzbekistana*. 2018. No. 3(74). pp. 61–65.
5. Atakulov L. N., Sheshko O. E. Improvement of economic efficiency of the high-angle conveyor KNK-270 at Navoi Mining and Metallurgical Combinat. *GIAB*. 2019. No. 5. pp. 181–188.
6. Verzhanskiy A. P., Dmitriev V. G. Special belt conveyors. Series. Mining machine engineering. Moscow : Gornaya kniga, 2019. 496 p.
7. Dmitriev V. G., Verzhanskiy A. P. Theory of belt conveyors. Moscow : Gornaya kniga, 2017. 592 p.
8. Dos Santos J. A. High Angle Conveying: The Vital (Missing) Link to IPCC Systems—2017. *Bulk Solids Handling*. 2017. Vol. 37, No. 1. pp. 16–26.
9. Sheshko O. E., Atakulov L. N. Elasticity modulus steel-cable rubber conveyor belts. *Gornyi Zhurnal*. 2019. No. 4. pp. 73–76. DOI: 10.17580/gzh.2019.04.16
10. Makarova A. S., Telegina O. V. Installation prospects and characterization of steep angle conveyor belt at Mikhailovskiy mining and processing plant. *GIAB*. 2018. No. 5. pp. 178–183.

11. Kuryatnikov A. V. Pressure belt weight selection for high-angle conveyor. *Surface and Underground Mine Transport: Collected Works*. Moscow: Nedra, 1975. Iss. 2.
12. Kuryatnikov A. V. Analysis of load stability on high-angle pressure belt conveyor. *Open Pit Coal Mining: Collected Works*. Moscow: TsNIEUgol, 1975. No. 12(120).
13. Sheshko E. E., Kuryatnikov A. V., Shulyatev B. I., Rastorguev V. I. Experimental determination of pressure exerted by load on pressure belt of high-angle conveyor. *Open Pit Coal Mining: Collected Works*. Moscow: Nedra, 1975. Iss. 2.

14. Sheshko E. E. Influence of hold-down on operability and basic parameters of high-angle pressure belt conveyor. *Gornyi Zhurnal*. 2019. No. 4. pp. 69–73. DOI: 10.17580/gzh.2019.04.15
15. Conveyor Belt Systems. ContiTech AG. 2021. Available at: <https://www.conti-tech-industry.com/en/solutions/conveyor-belt-systems> (accessed: 19.12.2020).
16. Belts for high-angle hoisting units. 2020. Available at: <http://victometal.ru/transport-glubokih-karierov/8961-konveyernye-lenty-dlya-naklonnyh-podemnikov.html> (accessed: 19.12.2020).

УДК 621.878.23

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССА ПРОМЫШЛЕННОГО РЫХЛЕНИЯ ГРУНТА

И. П. ТРОЯНОВСКАЯ^{1,2}, проф., д-р техн. наук, tpprav63@mail.ru
А. В. РАЗНОШИНСКАЯ¹, доцент, канд. техн. наук
В. А. КОЗЬМИНЫХ¹, доцент, канд. техн. наук
Е. А. ЛЕЩЕНКО², доцент, канд. техн. наук

¹ Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия

² Южно-Уральский государственный аграрный университет, Троицк, Россия

Введение

Рыхление является неотъемлемой частью технологического цикла как для сельскохозяйственных, так и строительно-дорожных машин [1, 2]. Вместе с тем процесс принципиально различается. Характер обработки грунта во многом определяется не только параметрами рабочего орудия, но и схемой установки навесной системы [3, 4]. Несмотря на многообразие навесных систем, можно выделить два основных типа: с односторонним и двухсторонним силовым замыканием.

Характеристика навесных систем

Навесные системы почвообрабатывающих машин оснащены гибкой связью с односторонним силовым замыканием, не допускающей принудительного заглубления рабочего орудия в грунт и обеспечивающей его свободное перемещение относительно трактора (рис. 1, а). Такие схемы выполнены на основе шарнирного четырехзвенника, работающего в плавающем положении гидросистемы управления. Теория сельскохозяйственных навесных систем на сегодня разработана достаточно хорошо [5–8].

Навесные системы строительно-дорожных машин предназначены для разрушения прочных, мерзлых и скальных грунтов, и потому принципиально отличаются от навесных систем почвообрабатывающих машин (см. рис. 1, б). Они обеспечивают принудительное заглубление рабочего орудия в грунт и обладают двухсторонним силовым замыканием. Собственно технологический процесс рыхления осуществляется при запертом положении системы управления, что исключает относительное перемещение рабочего орудия и базового трактора. Кроме того, часто промышленные рыхлители выполняют ряд дополнительных функций, требующих изменение угла рыхления в процессе рабочего хода. Все это способствовало появлению множества различных конструктивных схем навесных систем промышленных рыхлительных агрегатов [9, 10]. Выбор наиболее рациональной схемы и параметров навесной системы требует дополнительных исследований самого процесса рыхления.

Цель исследований

В настоящее время исследования процесса рыхления наиболее часто проводят на основе эксперимента [11–13], так как сложность

Представлены результаты экспериментальных исследований усилия сопротивления рыхлению, выполненных на примере гусеничного бульдозерно-рыхлительного агрегата производства Челябинского тракторного завода. Эксперимент реализован при трех значениях глубины и восьми углах рыхления. Установлено, что зависимость усилия сопротивления рыхлению от каждого из этих параметров имеет квадратичный характер. Предложено при исследовании процесса рыхления использовать комплексный параметр, равный произведению глубины на угол рыхления, что позволит упростить расчеты и оптимизировать процесс рыхления в зависимости от типа разрабатываемого грунта

Ключевые слова: землеройная техника, рыхлитель, навесная система, разрушение грунта, экспериментальные исследования, глубина рыхления, угол рыхления, силовое замыкание.

DOI: 10.17580/gzh.2021.05.11

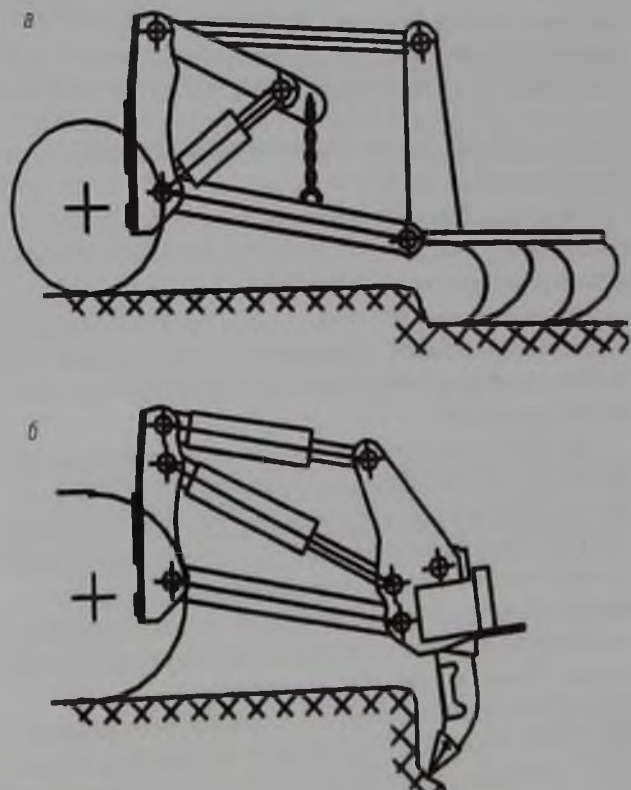


Рис. 1. Навесные системы с односторонним (а) и двухсторонним (б) силовым замыканием

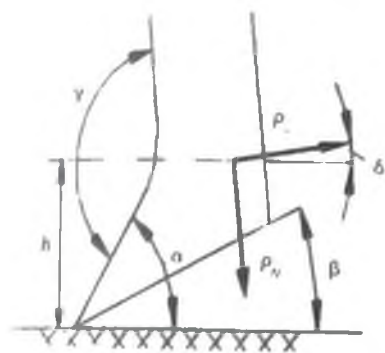


Рис. 2. Схема для определения составляющих сил сопротивления рыхлению

взаимодействия рыхлителя рабочего органа с грунтом не всегда позволяет предложить адекватную математическую модель описания процесса рыхления. Существующие теоретические исследования, как правило, сводятся к построению конечно-элементной модели с последующим численным расчетом [14–17].

Для совершенствования схемы и параметров навесной системы промышленного рыхлительного агрегата необходимо установить закономерности нагружения рабочего орудия в процессе его работы. Поскольку усилия, действующие на рабочее орудие со стороны грунта, непосредственно связаны с параметрами рыхления (глубиной h и углом рыхления α), то целью настоящего исследования является установление зависимостей между действующими силами и параметрами рыхления. В процессе эксперимента определяли тяговое сопротивление (горизонтальную силу P_x) и сопротивление заглублению (вертикальную силу P_y) при различных параметрах рыхления.

Методика экспериментальных исследований

Экспериментальные исследования проводили с использованием гусеничного бульдозерно-рыхлительного агрегата производства Челябинского тракторного завода на базе трактора кл.10. Тракторный агрегат оснащен рыхлителем ДЗ-138 с зубом толщиной 60 мм. Навеска рабочего оборудования позволяла изменять глубину h и угол α рыхления. Эксперименты проводили при трех положениях стойки рыхлителя: минимальном вылете $h \approx 0,7$ м, среднем вылете $h \approx 0,9$ м и максимальном вылете $h \approx 1,1$ м. Диапазон изменения угла рыхления составлял 38–65°.

Рыхление осуществляли на суглинке. Плотность по ударнику ДорНИИ составляла 6–9 ударов. Исследования реализовывали при девяти различных углах рыхления: 38; 43; 45; 47; 50; 53; 55; 60 и 65°.

Глубину h фиксировали через каждые 0,1 м пути. Экспериментальную глубину рыхления h определяли как прямым замером, так и косвенным методом (через замер хода штока гидроцилиндра подъема зуба рыхлителя).

Для замера усилий сопротивления на рыхлитель наклеивали тензорезисторы, электрический сигнал от которых поступал на переносной измерительный комплекс, включающий усилитель постоянного тока «Топас-1» и осциллограф К-12-22. Для предохранения датчиков от механических повреждений и влаги их покрывали эпоксидной смолой и металлическим кожухом. Схема наклейки тензодатчиков позволила измерить усилия, перпендикулярные лобовому участку P_x и на подошве P_y рыхлителя (рис. 2).

На основе замеренных усилий P_x и P_y вычисляли горизонтальную P_x и вертикальную P_y составляющие силы сопротивления рыхлению, характеризующие тяговое сопротивление P_x и сопротивление внедрению P_y :

$$\begin{aligned} P_x &= P_x \cos \delta + P_y \sin \delta, \\ P_y &= -P_x \sin \delta + P_y \cos \delta, \end{aligned} \quad (1)$$

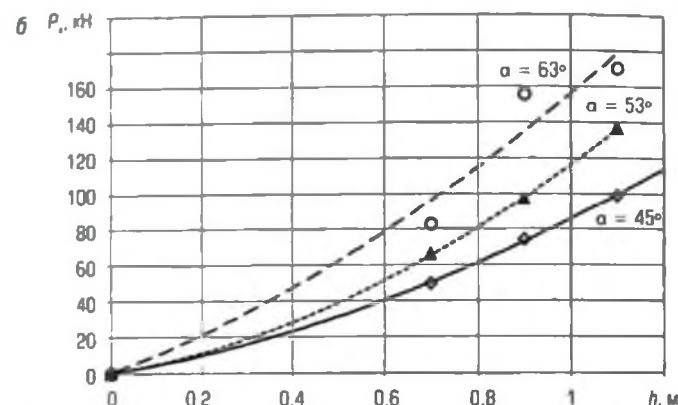
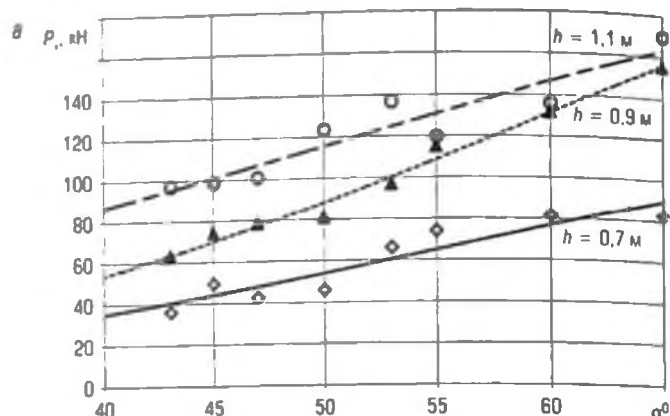


Рис. 3. Зависимости силы тягового сопротивления P_x от угла α (а) и глубины h (б) рыхления

где $\delta = 0,5\pi + \alpha - \gamma$ – угол наклона стойки рыхлителя к вертикали; β – угол наклона подошвы рыхлителя к горизонту; α – угол рыхления; γ – конструктивный угол стойки рыхлителя.

Результаты эксперимента

Силы сопротивления замеряли при постоянных значениях глубины h или угла α рыхления. На рис. 3 показан характер изменения тягового сопротивления в зависимости от угла $P_x(\alpha)$ и глубины $P_x(h)$ рыхления.

Обе зависимости являются нелинейными и хорошо аппроксимируются методом наименьших квадратов полиномами второго порядка. Степень приближения экспериментальных данных к аппроксимирующей кривой оценивали посредством коэффициента детерминации R^2 .

Известно, что тяговое сопротивление возникает только в начале рыхления. Этот факт позволил принять дополнительные условия: $P_x = 0$ при $h = 0$ и $\alpha = 0$, т. е. построить аппроксимирующие кривые через начало координат. Таким образом, были получены зависимости силы тягового сопротивления от глубины $P_x(h)$ рыхления:

$$\begin{aligned} \text{для } \alpha = 38^\circ: P_x(h) &= 84,952h^2 + 1,6198h, R^2 = 0,999; \\ \text{для } \alpha = 43^\circ: P_x(h) &= 71,825h^2 + 9,4144h, R^2 = 0,999; \\ \text{для } \alpha = 45^\circ: P_x(h) &= 70,980h^2 + 21,789h, R^2 = 1; \\ \text{для } \alpha = 47^\circ: P_x(h) &= 73,889h^2 + 12,71h, R^2 = 0,995; \\ \text{для } \alpha = 50^\circ: P_x(h) &= 18,046h^2 + 93,914h, R^2 = 0,971; \\ \text{для } \alpha = 53^\circ: P_x(h) &= 66,745h^2 + 45,998h, R^2 = 0,999; \\ \text{для } \alpha = 55^\circ: P_x(h) &= -10,223h^2 + 124,59h, R^2 = 0,979; \\ \text{для } \alpha = 60^\circ: P_x(h) &= -12,591h^2 + 145,01h, R^2 = 0,975; \\ \text{для } \alpha = 65^\circ: P_x(h) &= 43,473h^2 + 120,15h, R^2 = 0,957. \end{aligned}$$

Зависимости силы тягового сопротивления от угла $P_x(\alpha)$ имеют вид:

для $h = 0,7$ м минимального вылета: $P_x(\alpha) = 0,0197\alpha^2 + 0,0979\alpha$, $R^2 = 0,89$;

для $h = 0,9$ м среднего вылета: $P_x(\alpha) = 0,0383\alpha^2 + 0,115\alpha$, $R^2 = 0,98$;

для $h = 1,1$ м минимального вылета: $P_x(\alpha) = 0,0056\alpha^2 + 2,0895\alpha$, $R^2 = 0,93$.

Аналогичные зависимости $P_y(h)$ и $P_y(\alpha)$ были получены и для вертикальной составляющей силы сопротивления.

Обработка экспериментальных данных

Поскольку усилия на рабочем органе промышленного рыхлителя в равной мере зависят от глубины h и угла α рыхления, то при последующей обработке экспериментальных данных было предложено использовать зависимость сразу от обоих параметров (α и h). Однако применение квадратичной формы вида

$$P(\alpha, h) = b_1\alpha^2 + b_2h^2 + b_3\alpha h + b_4\alpha + b_5h + b_6, \quad (2)$$

где $b_1, b_2, b_3, b_4, b_5, b_6$ – эмпирические коэффициенты, не приводит к хорошему результату поскольку, фиксируя один из параметров, например h , и получая хорошие приближения в области больших значений α и h , при малых значениях этих параметров значение силы не соответствует физической картине. Функция $P(\alpha, h)$ должна давать достаточно близкое приближение в области значений фактически выполненного эксперимента и отвечать физическому смыслу в области экстраполяции [18]. Этим требованиям отвечает полином четвертой степени вида

$$P(\alpha, h) = b_1\alpha h + b_2(\alpha h)^2. \quad (3)$$

Использование комплексного параметра αh позволило уменьшить число эмпирических коэффициентов b_i по сравнению с формулой (2). Результаты обработки эксперимента по формуле (3) применительно к силе тягового сопротивления $P_x(\alpha h)$ представлены на рис. 4. Предлагаемый подход позволяет получить единую зависимость действующего на рабочий орган усилия на любом режиме рыхления. Для суглинка средней плотности она имеет вид: $P_x(\alpha h) = 1,066\alpha h + 0,0202(\alpha h)^2$.

Аналогичная зависимость от комплексного параметра αh получена и для вертикального усилия сопротивления внедрению: $P_y(\alpha h) = -0,0312\alpha h + 0,004(\alpha h)^2$.

Экспериментальные результаты позволяют предположить линейную зависимость между горизонтальной P_x и вертикальной P_y составляющими силы сопротивления на зубе рыхлителя. Для исследуемого

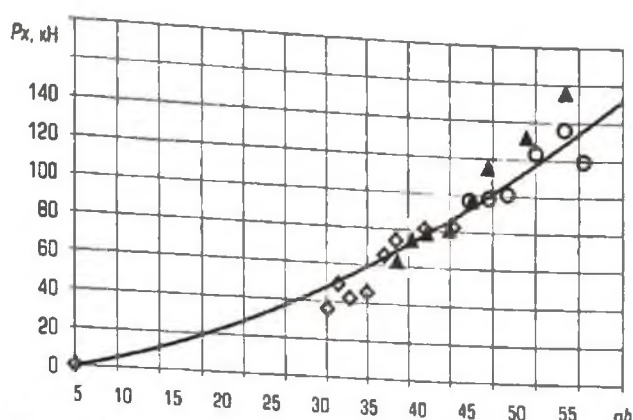


Рис. 4. Зависимость силы тягового сопротивления P_x от комплексного параметра αh

грунта (суглинок средней плотности) это соотношение составило $P_y = 0,0883P_x$.

Выводы

Экспериментально установлено, что усилия, действующие на рабочий орган рыхлителя, в равной степени зависят от глубины h [19, 20] и угла α рыхления [21, 22].

Тяговое сопротивление P_x и сопротивление заглублению P_y имеют квадратичную зависимость от глубины h и угла α рыхления.

Использование комплексного параметра αh при описании зависимости $P_x(\alpha h)$ и $P_y(\alpha h)$ позволяет понизить степень полинома с четвертого до второго порядка с сохранением требуемой точности.

Кроме того, комплексный параметр αh дает возможность получить единую зависимость для каждого типа грунта и отражает взаимосвязь между конструктивными параметрами зуба рыхлителя, глубиной и углом рыхления.

Получена линейная зависимость между тяговым сопротивлением P_x и сопротивлением внедрению P_y рыхлителя в грунт типа «суглинок».

Предложенный авторами подход позволит в дальнейшем поставить задачу оптимизации процесса рыхления, т. е. выбора наиболее рациональной глубины h и угла α рыхления в зависимости от типа разрабатываемого грунта [23, 24].

Библиографический список

1. Pelevin L., Gorbatyuk I., Zaichenko S., Shalenko V. Developing a mathematical substantiation for the physical modelling of the soilripping equipment work process // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. 2017. Т. 6. № 2(90). С. 52–60.
2. Каменев А. В. Анализ рыхления мерзлых грунтов // Научно-практические исследования. 2020. № 5-2(28). С. 114–118.
3. McKyes E., Moswore J. Effect of design parameters of flat tillage tools on loosening of a clay soil // Soil & Tillage Research. 1997. Vol. 43. Iss. 3-4. P. 195–204.
4. Blednykh V. V., Svechnikov P. G., Troyanovskaya I. P. Tractor Plough with Repeated Cutting Angle on Working Elements // Procedia Engineering. 2017. Vol. 206. P. 1577–1582.
5. Капов С. Н. Некоторые проблемы теории почвообработки // Актуальные проблемы научно-технического прогресса в АПК: сб. науч. ст. по матер. XI Междунар. науч.-практ. конф. – Ставрополь: АГРУС, 2015. С. 92–95.
6. Eskhozhin D., Nukeshov S., Eskhozhin K., Karaivanov D. Stress Distribution in Soil under Action of Paraplow Ripper // Life Science Journal. 2014. Vol. 11. Special issue 2. P. 20–24.
7. Blednykh V. V., Svechnikov P. G., Troyanovskaya I. P. Moldboard Surface Universalization of the Ploughshare Operating Unit // Procedia Engineering. 2016. Vol. 150. P. 1297–1302.
8. Семенова Г. А., Джаббаров Н. И. Обоснование конструктивных параметров динамичных почвообрабатывающих рабочих органов // Инновации в сельском хозяйстве. 2018. Т. 3(28). С. 501–507.
9. Курочкин Ю. Б., Позин Б. М., Мицын Г. П. Навесные системы тракторных агрегатов с двойным силовым замыканием в процессе оптимального управления // Вестник Челябинского агроинженерного университета. 2001. Т. 35. С. 51–54.
10. Letopolsky A. B., Korchagin P. A., Tetenna I. A. Working equipment of the single-bucket excavator for the development of frozen ground // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. Vol. 709. No. 4. 044027. DOI: 10.1088/1757-899X/709/4/044027.
11. Kravets S. V., Stinio O. V. The determination of the force of blocked cutting of soil and coefficient of energy intensity of deep ripping of soil // Научный вестник Национального горного университета. 2016. № 3. P. 24–28.

12. Canarache A., Horn R., Colibas I. Compressibility of soils in a long term field experiment with intensive deep ripping in Romania // *Soil and Tillage Research*. 2000. Vol. 56. Iss. 3-4. P. 185–196.
13. Šarauškus E., Buragiene S., Romaneckas K., Masilionyte L., Kriauciuniene Z. et al. Deep, Shallow and No Tillage Effects on Soil Compaction Parameters // *Engineering for Rural Development*. 2014. Vol. 13. P. 31–36.
14. Shmulevich I., Asaf Z., Rubinstein D. Interaction between soil and a wide cutting blade using the discrete element method // *Soil and Tillage Research*. 2007. Vol. 97. Iss. 1. P. 37–50.
15. Asaf Z., Rubinstein D., Shmulevich I. Determination of discrete element model parameters required for soil tillage // *Soil and Tillage Research*. 2007. Vol. 92. Iss. 1-2. P. 227–242.
16. Basarir H. H., Karpuz C. C., Tutluoglu L. L. 3D Modeling of Ripping Process // *International Journal of Geomechanics*. 2008. Vol. 8. Iss. 1. P. 11–19.
17. Мицын Г. П., Позин Б. М., Трояновская И. П., Народовы Д. И., Привалов А. А. Некоторые закономерности процесса рыхления грунтов тракторными рыхлителями (экспериментальные результаты) // *Проблемы проектирования, строительства и эксплуатации автомобильных дорог: сб. науч. тр. – М., 2001. С. 226–229.*
18. Мицын Г. П. Повышение эффективности тракторных агрегатов путем совершенствования навесных систем. Дис. ... канд. техн. наук – Челябинск, 2002. – 146 с.

«ГОРНЫЙ ЖУРНАЛ», 2021, № 5, pp. 87–90
DOI: 10.17580/gzh.2021.05.11

Experimental tests of industrial-scale ripping of soil

Information about authors

I. P. Troyanovskaya¹*, Professor, Doctor of Engineering Sciences, tripav63@mail.ru
A. V. Raznoshinskaya², Associate Professor, Candidate of Engineering Sciences
V. A. Kozminykh², Associate Professor, Candidate of Engineering Sciences
E. A. Leshchenko², Associate Professor, Candidate of Engineering Sciences

¹South Ural State University, Chelyabinsk, Russia

²South Ural Agrarian University, Troitsk, Russia

Abstract

Ripper attachments should ensure destruction of firm, frozen or rocky soil. Industrial rippers have the ability to forcibly penetrate the working body into soil in contrast to agricultural tillage machines. The ripper attachments have two-sided force closure. The resultant forces acting on the working tool from the side of soil depend on such ripping parameters as ripping depth and angle. Currently, these dependences are mainly studied experimentally. The article presents the experimental results on the ripping resistance force as a case-study of a tractor-mounted dozer-ripper manufactured at the Chelyabinsk Tractor Plant. The scope of the experiment covers three ripping depths and eight angles. It has been experimentally found that the dependence of the ripping resistance force on each of these parameters is quadratic. The authors propose to study the ripping process using a complex parameter which is a product of the ripping depth and the ripping angle. The use of the complex parameter in the two-factor analysis allowed reducing the degree of the studied dependence while preserving the required accuracy. The complex parameter reflects the relationship between the design parameters of the ripper tooth, ripping depth and angle. The article shows that the vertical penetration resistance linearly depends on the horizontal traction resistance. The authors obtained this dependence for loam of medium density. The authors' approach makes it possible undertake optimization of ripping process subject to soil type.

Keywords: earthmoving machinery, ripping machine, hinged system, soil destruction, experimental studies, ripping depth, ripping angle, two-sided force closure.

References

1. Pelyuk I., Gorbatyuk I., Zaichenko S., Shalenko V. Developing a mathematical substantiation for the physical modeling of the soil ripping equipment work process. *Vostochno-Evropeyskiy zhurnal peredovoykh tekhnologiy*. 2017. Vol. 6. No. 2(90). pp. 52–60.
2. Kameney A. V. Frozen soil ripping. *Nauchno-prakticheskoye issledovaniya*. 2020. No. 5-2(28). pp. 114–118.
3. McKyes E., Maswauri J. Effect of design parameters of flat tillage tools on loosening of a clay soil. *Soil & Tillage Research*. 1997. Vol. 43. Iss. 3-4. pp. 195–204.
4. Blednykh V. V., Svechnikov P. G., Troyanovskaya I. P. Tractor Plough with Repeated Cutting Angle on Working Elements. *Procedia Engineering*. 2017. Vol. 206. pp. 1577–1582.
5. Kapov S. N. Some theoretical problems of tillage. *Current Challenges of Scientific and Technical Progress in Agribusiness Industry: Proceedings of XI International Conference*. Stavropol. AGRUS, 2015. pp. 92–95.

19. Al-Suhaibani S. A., Ghaly A. E. Effect of Plowing Depth of Tillage and Forward Speed on the Performance of a Medium Size Chisel Plow Operating in a Sandy Soil // *American Journal of Agricultural and Biological Sciences*. 2010. Vol. 5. Iss. 3. P. 247–255.
20. Боловнев В. И., Сердобов В. Б., Сомов А. Б., Данилов Р. Г. Динамическая стабилизация глубины рыхления грунта одностоечными рыхлителями // *Наука и техника в дорожной отрасли*. 2020. № 1(91). С. 42–43.
21. Tong J., Moayad B. Z. Effects of rake angle of chisel plough on soil cutting factors and power requirements. A computer simulation // *Soil and Tillage Research*. 2006. Vol. 88. Iss. 1-2. P. 55–64.
22. Kalimbetov B., Kalymbetov B., Kenzhibayeva G., Karmanov D., Tukhtakuziyev A., Kablan B. Justification parameters of the ripper tooth of combined unit for minimum tillage // *EurAsian Journal of BioSciences*. 2019. Vol. 13. Iss. 1. P. 341–347.
23. Blednykh V. V., Svechnikov P. G., Troyanovskaya I. P. Moldboard Surface Universalization of the Ploughshare Operating Unit // *Procedia Engineering*. 2016. Vol. 150. P. 1297–1302.
24. Марсова Е. В., Джабраилов Х. А. Разработка автоматической системы оптимизации режима рыхления грунта вибродыхлителем // *Вестник Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ)*. 2018. № 3(54). С. 61–66.
6. Esikhoshin D., Muleshev S., Esikhoshin R., Karalvanov D. Stress Distribution in Soil under Action of Paraplow Ripper. *Life Science Journal*. 2014. Vol. 11, Special Issue 2. pp. 20–24.
7. Blednykh V. V., Svechnikov P. G., Troyanovskaya I. P. Moldboard Surface Universalization of the Ploughshare Operating Unit. *Procedia Engineering*. 2016. Vol. 150. pp. 1297–1302.
8. Semenova G. A., Dzhabborov N. I. Justification of design parameters of dynamic soil-cultivating working bodies. *Innovatsii v selskom khozyaystve*. 2018. Vol. 3(28). pp. 501–507.
9. Kurochkin Yu. B., Pozin B. M., Mitsyn G. P. Tractor attachments with two-sided force closure in optimized control process. *Vestnik Chelyabinskogo agrarnykh universiteta*. 2001. Vol. 35. pp. 51–54.
10. Letopolskiy A. B., Korchagin P. A., Teterina I. A. Working equipment of the single-bucket excavator for the development of frozen ground. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2020. Vol. 709. No. 4. 044027. DOI: 10.1088/1757-899X/709/4/044027.
11. Kravets S. V., Stimov Q. V. The determination of the force of blocked cutting of soil and coefficient of energy intensity of deep ripping of soil. *Nauchnyi vestnik Natsionalnogo gornogo universiteta*. 2016. No. 3. pp. 24–28.
12. Canarache A., Horn R., Colibas I. Compressibility of soils in a long term field experiment with intensive deep ripping in Romania. *Soil and Tillage Research*. 2000. Vol. 56. Iss. 3-4. pp. 185–196.
13. Šarauškus E., Buragiene S., Romaneckas K., Masilionyte L., Kriauciuniene Z. et al. Deep, Shallow and No-Tillage Effects on Soil Compaction Parameters. *Engineering for Rural Development*. 2014. Vol. 13. pp. 31–36.
14. Shmulevich I., Asaf Z., Rubinstein D. Interaction between soil and a wide cutting blade using the discrete element method. *Soil and Tillage Research*. 2007. Vol. 97. Iss. 1. pp. 37–50.
15. Asaf Z., Rubinstein D., Shmulevich I. Determination of discrete element model parameters required for soil tillage. *Soil and Tillage Research*. 2007. Vol. 92. Iss. 1-2. pp. 227–242.
16. Basarir H. H., Karpuz C. C., Tutluoglu L. L. 3D Modeling of Ripping Process. *International Journal of Geomechanics*. 2008. Vol. 8. Iss. 1. pp. 11–19.
17. Mitsyn G. P., Pozin B. M., Troyanovskaya I. P., Narodov D. I., Privolov A. A. Some regular patterns of soil loosening by tractor ripper (experimental results). *Problems of Motor Road Design, Construction and Operation: Collection of Scientific Papers*. Moscow, 2001. pp. 226–229.
18. Mitsyn G. P. Improving tractor unit efficiency by redesign of attachment systems: Dissertation of Candidate of Engineering Sciences. Chelyabinsk, 2002. 146 p.
19. Al-Suhaibani S. A., Ghaly A. E. Effect of Plowing Depth of Tillage and Forward Speed on the Performance of a Medium Size Chisel Plow Operating in a Sandy Soil. *American Journal of Agricultural and Biological Sciences*. 2010. Vol. 5. Iss. 3. pp. 247–255.
20. Bolovnev V. I., Serdobov V. B., Somov A. B., Danilov R. G. Dynamic stabilization of soil ripping depth by single pillar rippers. *Nauka i tekhnika v dorozhnoy otrasli*. 2020. No. 1(91). pp. 42–43.
21. Tong J., Moayad B. Z. Effects of rake angle of chisel plough on soil cutting factors and power requirements: A computer simulation. *Soil and Tillage Research*. 2006. Vol. 88. Iss. 1-2. pp. 55–64.
22. Kalimbetov B., Kalymbetov B., Kenzhibayeva G., Karmanov D., Tukhtakuziyev A., Kablan B. Justification parameters of the ripper tooth of combined unit for minimum tillage. *EurAsian Journal of BioSciences*. 2019. Vol. 13. Iss. 1. pp. 341–347.
23. Blednykh V. V., Svechnikov P. G., Troyanovskaya I. P. Moldboard Surface Universalization of the Ploughshare Operating Unit. *Procedia Engineering*. 2016. Vol. 150. pp. 1297–1302.
24. Marsova E. V., Dzhabrailov Kh. A. Development of an automatic system for the soil tillage mode adjustment using a vibrating tillage tool. *Vestnik Moskovskogo avtomobile-dorozhnogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta (MADI)*. 2018. No. 3(54). pp. 61–66.

УДК 556.3:621.039.7

ПРОГРАММНОЕ СРЕДСТВО «ГЕОПОЛИС»: ГЕОФИЛЬТРАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПУНКТА ГЛУБИННОГО ЗАХОРОНЕНИЯ ЖИДКИХ РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ ПОЛИГОНА «СЕВЕРНЫЙ»

В. В. СУСКИН¹, младший научный сотрудник, viksus@ibrae.ac.ruИ. В. КАПЫРИН^{1,2}, зав. лабораторией, канд. физ.-мат. наукА. В. РАСТОРГУЕВ¹, старший научный сотрудник, канд. техн. наук¹Институт проблем безопасного развития атомной энергетики РАН, Москва, Россия²Институт вычислительной математики им. Г. И. Марчука РАН, Москва, Россия

Введение

Закачка жидких отходов в подземные структуры — широко распространенная технология, появившаяся в 1920-х годах и позволяющая изолировать опасные стоки различных отраслей промышленности (пищевой, химической, горнорудной, нефтедобывающей, атомной и др.) в подземных водоносных горизонтах [1–5]. Для обоснования и сопровождения закачки жидких отходов широко используют математическое моделирование процессов фильтрации и переноса загрязнений в геологической среде. Настоящая работа посвящена разработке программного средства «ГЕОПОЛИС», представляющего собой трехмерную геофильтрационно-геомиграционную модель пункта глубинного захоронения жидких радиоактивных отходов (ПГЗ ЖРО) полигона «Северный».

Гидрогеологическое моделирование стали использовать для оценки и обоснования безопасности данного ПГЗ ЖРО с начала 1960-х годов. Самые первые фильтрационные модели для обоснования полигона «Северный» были выполнены в двумерной плановой постановке методом электрогидродинамической аналогии [2]. К концу прошлого века появились численные методы и вычислительные мощности, достаточные для решения задач фильтрации и массопереноса с учетом различия плотности и вязкости пластовых вод и нагнетаемых растворов. Для их построения разрабатывали отдельные коды (ИГЕМ РАН, АО «ВНИПИпромтехнологии») и проводили соответствующие оценки [2–7].

В 1990-е и начале 2000-х годов под эгидой института IIASA (Австрия) был выполнен ряд работ, связанных с моделированием фильтрации и миграции на полигоне «Северный» [8–10]. Участниками проекта являлись институты АО «ВНИПИпромтехнологии» и ИГЕМ РАН. Проведенные в составе международного проекта модельные исследования были полезны для понимания вклада отдельно взятых процессов:

- тепловой конвекции;
- плотностной конвекции;
- регионального потока;
- перетекания между I и II эксплуатационными горизонтами;
- барьерной роли залеченного тектонического нарушения.

Основные особенности данных исследований, потребовавшие дальнейшего развития, — отсутствие учета пространственной структуры потока и истории эксплуатации полигона. Плотностную и тепловую конвекцию рассматривали в приближении Буссинеска

Приведены гидрогеологическая схематизация геофильтрационной модели, а также результаты калибровки и верификации модельных напоров по данным мониторинга за более чем 40 лет эксплуатации полигона по захоронению жидких радиоактивных отходов. Представлены результаты сравнения расчетных и натурных напоров в стационарном режиме (до начала закачки) и в процессе работы полигона, позволяющие сделать выводы о качестве калибровки.

Ключевые слова: полигон «Северный», ПС «ГЕОПОЛИС», глубинная закачка, жидкие радиоактивные отходы, геофильтрационное моделирование, верификация.

DOI: 10.17580/gzh.2021.05.12

и двумерной постановке, что вообще неприменимо при высокой минерализации раствора и достаточно большой мощности горизонтов нагнетания.

Попытка повышения достоверности геомиграционной модели полигона «Северный» за счет учета совокупности геохимических процессов и трехмерной структуры потоков была предпринята в Томском политехническом университете под руководством М. Б. Букаты [11]. Им был разработан программный код HydroGeo [12], основанный на методе конечных разностей для расчета фильтрации и теплопереноса с учетом химических реакций. Моделирование выполняли на равномерной сетке в прямоугольной в плане области размерами 5600×6200 м. На боковых границах были заданы условия I рода, определенные путем калибровки фильтрационной модели на стационар. Модель не включала реки Кан и Енисей. Верификация фильтрационной модели и калибровка ее параметров были выполнены для стационарных условий. По результатам моделирования основным направлением разгрузки загрязненных вод стала долина р. Большая Тель к востоку от полигона, что отлично от представлений о структуре фильтрационного потока на объекте, изложенных в других работах. Код HydroGeo был аттестован в 2010 г. для использования, в том числе, при моделировании ПГЗ ЖРО низкого уровня активности.

Специалистами АО «ВНИПИпромтехнологии» также была создана трехмерная модель полигона «Северный». При ее разработке было принято допущение, что всю толщу пород, заполняющих Тельскую впадину, можно разделить на восемь слоев, соответствующих основным геологическим подразделениям, с осредненными фильтрационными и миграционными свойствами. Модель была реализована в трехмерной геометрии с использованием программы MODFLOW [13]. Основными минусами модели являлись отсутствие калибровки в нестационарном режиме, а также ограничение ее с севера рекой Большая Тель, в то время как зона преимущественной разгрузки предположительно находится значительно севернее.

ПС «ГЕОПОЛИС», разработка которого была начата в 2011 г. по заказу ФГУП ФЯО «ГХК», призван стать следующим шагом в развитии гидрогеологических моделей данного объекта с расширением спектра

учитываемых процессов и первой моделью аттестованной непосредственно для геофильтрационного и геомиграционного моделирования территории расположения полигона «Северный» Новизна данной модели заключается в следующем:

- расширении границ модели согласно региональным водотокам;
- рассмотрении иного времени моделирования, соответствующего периоду потенциальной опасности основных долгоживущих нуклидов с учетом их активности – 1 млн лет;
- учете двойной пористости пород;
- верификации модели на натурных данных на весь период элизионного моделирования;
- рассмотрении потенциальных альтернативных сценариев эволюции системы захоронения радиоактивных отходов (РАО), возможных для данного объекта

ПС «ГЕОПОЛИС» состоит из трех компонент

- непосредственно модели, в которой определена геометрия расчетной области, параметры водовмещающих пород, начальные и граничные условия, режимы работы скважин и т. д.;
- расчетного модуля, в качестве которого используют код GeRa [14, 15], разработанный ИБРАЗ РАН и ИВМ РАН;
- базы данных мониторинга полигона «Северный», используемой для верификации модели по натурным измерениям.

В данной статье приводится описание процесса построения геофильтрационной модели полигона от этапа обработки данных до калибровки модели по натурным замерам напоров в скважинах. Показана схематизация гидрогеологических условий полигона «Северный». Проведены калибровка фильтрационных параметров и верификация модели по данным мониторинга, оценено качество модели на основе сопоставления с фактическими данными и сделаны соответствующие выводы.

Гидрогеологическая схематизация

Общие сведения о геологическом строении района

Полигон «Северный» находится на правом берегу р. Енисей на водоразделе рек Енисей и Большая Тель. Площадка полигона расположена на территории промплощадки ФГУП ФЯО «ГХК». В радиусе 30 км от полигона «Северный» насчитывается 49 рек, включая участки больших и средних рек – Енисея, Кана [16].

Ниже приведено краткое описание геологической структуры района [2]. В геологическом разрезе территории расположения объекта выделяют два структурных этажа: нижний – фундамент, сложенный кристаллическими породами докембрия (AR-PR), и верхний – осадочный чехол, представленный отложениями позднеюрского, юрского и четвертичного возраста.

Фундамент района имеет четко выраженную асимметричную впадину (Тельская впадина). На северо-востоке, юге и юго-западе впадина заканчивается выходами кристаллических пород фундамента на земную поверхность, местами локально перекрытых слоем коры выветривания и четвертичными отложениями. ПГЗ ЖРО расположен в центральной части впадины, характеризующейся наибольшей мощностью осадочной толщи (до 480 м).

Юрская система представлена толщей переслаивающихся песчаных и глинистых отложений. Песчаные горизонты (среднезернистые пески и слабосцементированные песчаники) разделены алевролитами, аргиллитами, мощными и протяженными слоями различного типа глин (с линзовидными прослоями песков); аргиллитоподобных, углистых, известковистых, жирных. Такое строение позволяет условно разделить юрскую толщу на водоносные (обозначаются

римскими цифрами I – глубина залегания 355–500 м, II – глубина залегания 180–280 м и III – глубина залегания 50–100 м) и водопорные (обозначаются буквами А, Б, В, Г) горизонты. Мощность отдельных горизонтов уменьшается от центральных, наиболее погруженных частей впадины, к периферии. Закачку РАО осуществляют в I и II горизонты (пласты-коллекторы).

Обоснование границ модели

Границы расчетной модели отличаются от использованных в предшествующих исследованиях, превосходя их по простиранию (рис. 1). Они формируются исходя из принятой концептуальной модели водосборного бассейна. В ней реки Енисей и Кан считаются региональными дренами, остальные плановые границы модели определяются расположением водовмещающих осадочных пород и заданы линиями выхода кристаллических пород на поверхность. Реки Енисей и Кан заданы граничным условием I рода в слое с 1-го по 5-й и граничным условием III рода в 9-й слой (эксплуатационный горизонт I) напор в обеих реках принят равным 120 м, коэффициент проводимости $5 \cdot 10^{-6}$ и $4 \cdot 10^{-5}$ сут⁻¹ соответственно. Последние параметры были уточнены в результате калибровки фильтрационной модели в стационарном режиме. Участки выхода кристаллических пород в модели рассматривают как непроницаемые и реализуют нулевым условием второго рода.

Верхняя граница модели соответствует рельефу, и через нее реализуют связь модели с атмосферой (инфильтрационное питание и испарение) и внутренними водотоками и водоемами (реками и др.).

При оценке инфильтрации исходили из материалов отчета по комплексным гидрогеологическим исследованиям на полигоне, согласно которому величина подземного стока оценивается как 89 мм/год, или $2.4 \cdot 10^{-4}$ м/сут. Однако эта величина является средней. В действительности же происходит существенное изменение инфильтрационного питания по площади. В работе [17] показано, что вариации инфильтрационного питания определяются экспозицией и углом наклона склонов, типом рельефа, породами, преимущественно слагающими зону аэрации, и растительностью.

Полученная в результате учета всех вышеперечисленных сведений карта с распределенным инфильтрационным питанием, принятым в расчетной модели, приведена на рис. 2. Среднее по площади модели значение инфильтрации соответствует вышеприведенной величине подземного стока.

Инфильтрационное питание задают в модели граничным условием II рода с постоянным во времени расходом на отметке рельефа моделируемой области.

На верхней границе также присутствуют водотоки (реки), которые задаются в модели линейными объектами в соответствии с картой местности. На модели их описывают граничным условием III рода с учетом возможного отрыва грунтовых вод от подошвы донных отложений. На рис. 1 показаны реки, включенные в расчетную модель. Для реализации этого условия в узловых точках поверхностных водотоков были заданы отметки уровней.

В качестве нижней границы модели принята кровля скальных пород. В качестве исходной информации для построения нижней границы модели были использованы результаты бурения, на основе которых проведена интерполяция абсолютных отметок нижней границы [18]. В геофильтрационной модели эта граница принимается непроницаемой и задана нулевым условием II рода.

Структурная геологическая модель

Принята вертикальная дискретизация модели, соответствующая основным геологическим подразделениям, выделенным при проведении буровых и гидрогеологических работ на полигоне [2, 8–10].

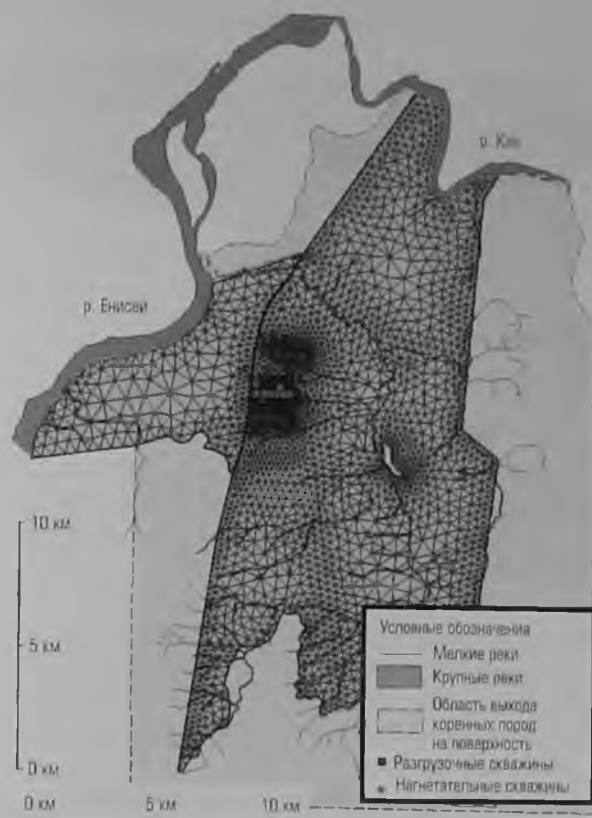


Рис. 1. Плановые границы расчетной модели и неструктурированная треугольно-призматическая расчетная сетка



Рис. 2. Схема распределения инфильтрационного питания (м/сут), принятого в расчетной модели

В итоге моделируемая толща разбита на 10 слоев, соответствующих следующим водоносным горизонтам и разделяющим толщам (перечисление в порядке сверху вниз):

- слой 1: толща четвертичных отложений Q;
- слой 2: разделяющая толща Д (также D);
- слой 3: III водоносный горизонт;
- слой 4: разделяющая толща Г (также G),
- слой 5: II водоносный горизонт;
- слой 6: разделяющая толща В (также W);
- слой 7: разделяющая толща F;
- слой 8: разделяющая толща Б (также B);
- слой 9: I водоносный горизонт;
- слой 10: разделяющая толща А.

Для определения пространственного распространения модельных слоев были обработаны данные по буровым колонкам 123 скважин, 15 разрезам и 10 структурным картам и картам мощностей. С колонок скважин оцифровывали абсолютные отметки подошв основных горизонтов и далее использовали их для построения цифровых поверхностей кровель и подошв. Для повышения достоверности цифровых моделей были использованы также данные геологических разрезов, являющихся представлением об объекте работавших на нем ранее геологов. Разрезы оцифровывали следующим образом: через каждые 500 м вдоль линии разреза ставили опорную точку, в которой снимали данные об абсолютных отметках подошв выбранных слоев.

Правобережное тектоническое нарушение было задано при моделировании с помощью специальной сеточной дискретизации в области его распространения (во всех модельных слоях, кроме верхнего четвертичного горизонта) и заданных в его пределах низких

фильтрационных свойств. Получившаяся в результате схематизация модельных слоев приведена на **рис. 3**.

Параметры модели

Фильтрационные параметры. Согласно проведенным гидрогеологическим исследованиям [2, 8–10] в районе полигона «Северный» в юрских отложениях, заполняющих Тельскую впадину, выделены три основных водоносных горизонта (I, II и III) и разделяющие толщи (А, Б, В, Г, Д и Е). Однако такое разделение достаточно условно. Так, возможны (не исключены) слабопроницаемые прослои внутри проницаемых горизонтов и зоны повышенной проницаемости в пределах разделяющих толщ.

При обосновании фильтрационных свойств расчетной модели были использованы данные опытно-фильтрационных работ, проведенных на объекте в 1960-е годы, и калибровка модели по замерам напоров на стационарный период. Однако использование результатов «одиночных» откачек с помощью интерполяции не дало в итоге хороших результатов при калибровке модели [19, 20]. Это можно объяснить системными ошибками при проведении «одиночных» откачек, которые были обработаны по данным восстановления без учета наследия откачки, что допустимо только для начальных моментов восстановления; наличие ложнестационарных участков (выполаживаний) экспериментальных кривых, связанных с гетерогенным строением водовмещающей толщи, что приводит к завышению фильтрационных свойств при интерпретации опытов. Поэтому для получения распределения коэффициента фильтрации в модели использовали только диапазоны его значений, полученные в результате опытных откачек, и проводили калибровку в рамках этих диапазонов.

В модельных слоях также заданы зоны неоднородности. Их расположение выбрано с учетом знаний об имеющихся перетоках

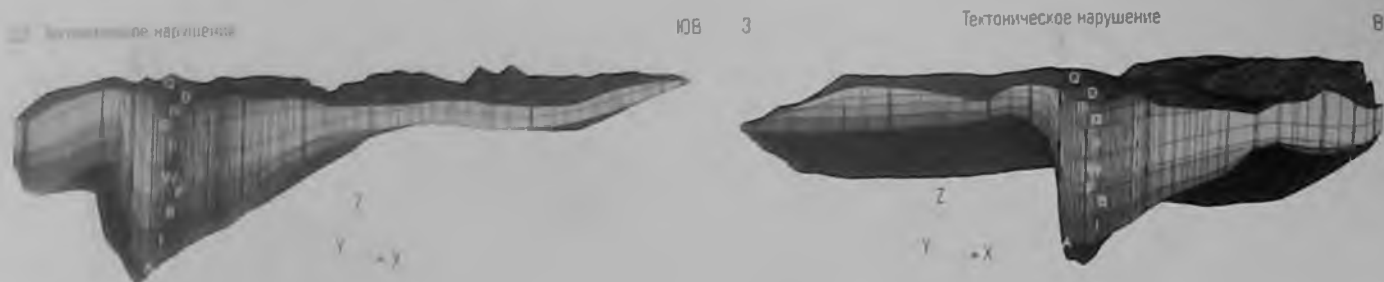


Рис. 3. Схематические разрезы области моделирования (буквами обозначены модельные слои)

между горизонтами и зонах питания горизонтов, содержащихся в материалах отчетов о геологическом изучении (1965–1970 гг.). Диапазоны коэффициентов фильтрации в них были получены по результатам обработки опытно-фильтрационных работ, итоговые значения коэффициентов фильтрации в модели выбраны по результатам ее калибровки.

Также стоит отметить, что принятые в модели коэффициенты фильтрации пластов-коллекторов лежат в диапазонах, описанных в [2] в этой работе диапазон варьирования коэффициента фильтрации в опущенном блоке для I горизонта составляет от 0,3 до 1,6 м/сут. для II горизонта – от 0,1 до 2,2 м/сут.

Емкостные параметры. Коэффициенты упругой емкости слоев модели были приняты по результатам калибровки модели с фактическими замерами напоров в наблюдательных скважинах

- для четвертичного горизонта (модельные слои 1, Q) коэффициент упругой емкости равен $1 \cdot 10^{-4} \text{ м}^{-1}$;
- для пластов-коллекторов (модельные слои 5 и 9, II и I горизонт закачки соответственно) – $1 \cdot 10^{-6} \text{ м}^{-1}$;
- для всех остальных слоев модели коэффициент упругой емкости равен $1 \cdot 10^{-5} \text{ м}^{-1}$.

Параметры нагнетания. Интенсивность нагнетания/откачки задавали в модель на основе истории эксплуатации полигона. Нагнетательные и разгрузочные скважины моделировали источниками с соответствующими расходами нагнетания и откачки. Положение нагнетательных и разгрузочных скважин показано на рис. 1. При моделировании расходы задавали для каждой скважины с детальностью 1 мес, как они представлены в базе данных.

Закачку на полигоне осуществляют ежегодно этапами продолжительностью в несколько месяцев (1–2 этапа в год) с предварительной подготовкой прискважинного пространства. Высокоплотные отходы повышенного уровня активности удаляют с 1972 г. в I горизонт с помощью 7 нагнетательных скважин, в 1992 г. в эксплуатацию были введены еще 3 скважины, ранее используемые в качестве наблюдательных. Одновременно с нагнетанием осуществляют откачку воды из разгрузочных скважин, расположенных в 1 км южнее, для снижения давления нагнетания и равномерного распределения отходов в пласте [16]. Низкоактивные отходы удаляют во II горизонт с помощью четырех нагнетательных скважин. Разгрузочные скважины II горизонта расположены в 1,5 км севернее. Между нагнетательными и разгрузочными контурами расположены 46 наблюдательных скважин для контроля состояния всех трех водоносных горизонтов, а также 42 наблюдательные скважины за пределами полигона захоронения. Разведочные скважины также были включены в состав наблюдательных после проверки их состояния [2]. Расстояние между скважинами нагнетания в I горизонте составляет около 200 м, во II – около 400 м.

Геофильтрационное моделирование

В расчетной модели использована трехмерная треугольно-призматическая сетка (см. рис. 1) с возможностью сгущения к скважинам и контурам, заданным пользователем. На сетке отражены все 10 модельных слоев, выделенных при схематизации. Отдельно задана зона Правобережного тектонического нарушения, которая не разделяется на слои, его параметры приняты однородными по глубине и простиранию, правобережное тектоническое нарушение не задано в первом слое модели – в четвертичных отложениях. Для расчетов использовали модель фильтрации в напорно-безнапорной постановке, представленную в работе [21].

Результаты верификации геофильтрационной задачи по экспериментальным данным

Калибровку модели и дальнейшую ее верификацию проводили в два этапа [22]. На первом этапе – для стационарных условий, предшествующих проведению закачки (естественный режим), и на втором – для периода эксплуатации, который характеризуется неустановившейся фильтрацией.

Стационарная задача (естественный режим). Верификация стационарной геофильтрационной модели основывалась на данных до начала эксплуатации полигона. В результате проведенных многовариантных расчетов с последовательными изменениями параметров стандартное отклонение модельных напоров от фактических по скважинам составило 3,1 м. При максимальном перепаде фактических напоров, равном 97 м, относительная погрешность геофильтрационной модели равна 3,2 %. При верификации учитывали измерения только тех скважин, в которых уровень измерен строго в I или во II горизонте.

На рис. 4 представлены результаты моделирования стационарной фильтрации до начала эксплуатации для I и II горизонтов. Фактические данные по скважинам показывают близость к модельным гидроизогипсам. На рис. 5 приведена диаграмма рассеяния для стационарных условий по скважинам модели на I и II горизонтах.

Нестационарная задача (эксплуатационный период). В качестве начальных условий для задачи фильтрации принято решение стационарной фильтрационной задачи до начала закачки.

В разработанной модели выполняют количественную оценку качества сопоставления результатов расчетов с фактическими данными, а именно: средней абсолютной ошибки и среднего квадратического из ошибки (Root Mean Square – RMS). RMS рассчитывают по следующей формуле:

$$RMS = \left[\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (cal_i - obs_i)^2 \right]^{1/2},$$

где N – число значений; cal_i – i -е расчетное значение; obs_i – i -е наблюдаемое значение.

Суммирование в этой формуле осуществляют по всем временным моментам, в которых ведут наблюдения. Если на данное время не

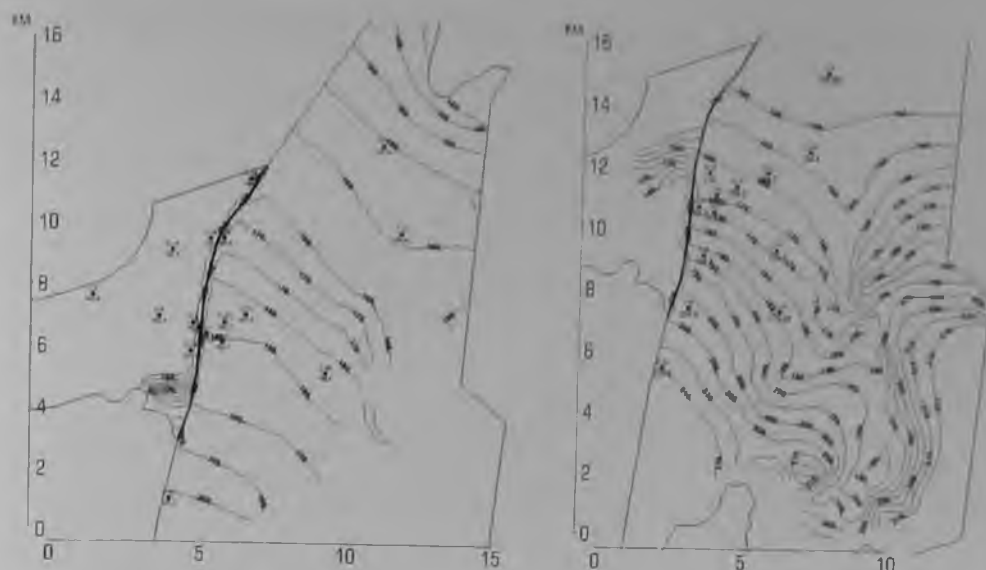


Рис. 4. Карта модельных гидроизогипс (сопоставление со скважинами) в естественном режиме I (слева) и II (справа) горизонтов

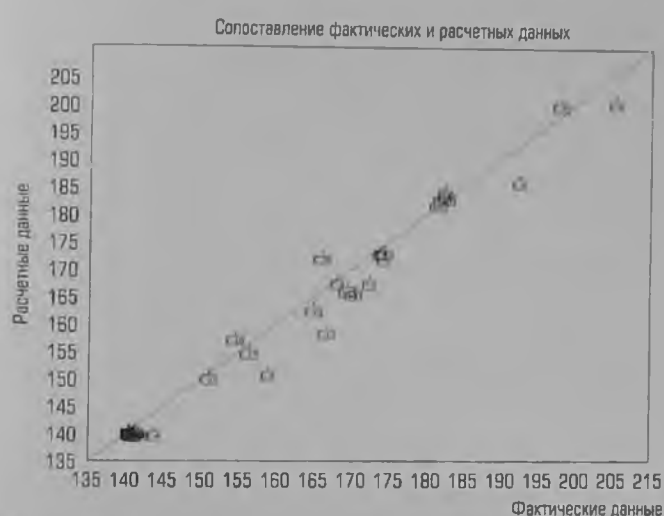


Рис. 5. График разброса по всем скважинам модели на стационарный период (02.01.1967 г., до начала закачки)

приходится в точности один из шагов расчета, то расчет интерполируют из предшествующего и последующего шагов, для которых расчет выполнен. Для определения качества геофильтрационной модели, а также для оценки погрешности по сопоставлению в скважинах с фактическими данными применяют подход с использованием значения масштабированного среднего квадратического ошибки (Scaled RMS – SRMS) [23]. Рассчитывают данный параметр по следующей формуле:

$$SRMS = \frac{RMS}{\Delta H} 100 \%,$$

где ΔH – разница между минимальным и максимальным фактическим напором на данной территории. Для моделируемой площадки ΔH составляет 97 м.

В соответствии с подходом, описанным в [23], качественной моделью с удовлетворительным сопоставлением с фактическими данными считается та, в которой значения масштабированного квадратного корня из среднеквадратичной ошибки отвечают условию $SRMS \leq 10 \%$; причем эту численную характеристику следует определять и для каждой скважины в отдельности, и для всех скважин сразу.

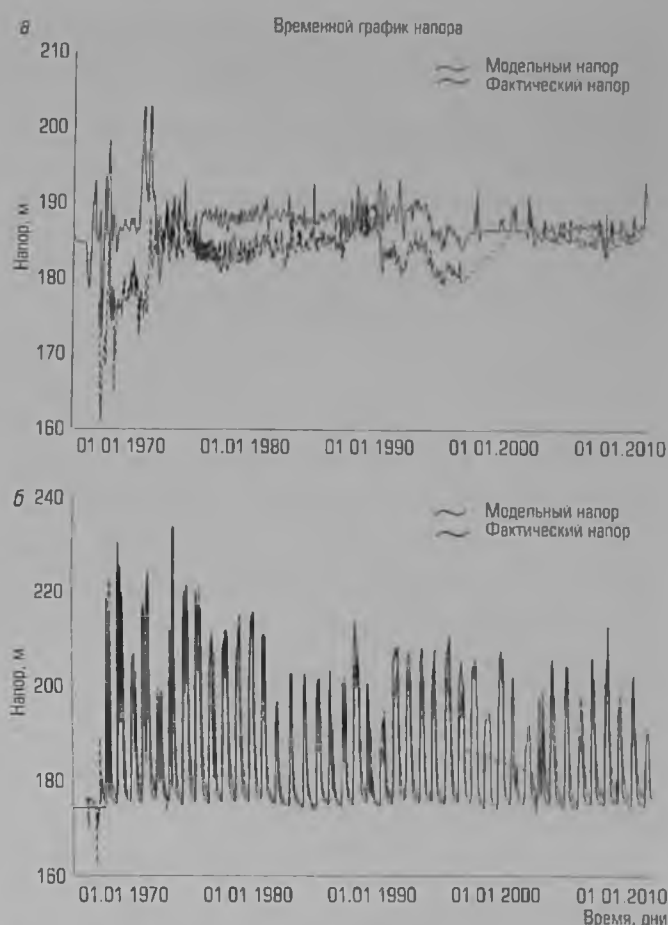


Рис. 6. Сопоставление модельных напоров с фактическими напорами для скважин А-23, I эксплуатационный горизонт (а) и А-56, II эксплуатационный горизонт (б)

Из 80 скважин на I и II эксплуатационные горизонты превышение значения SRMS, равное 10 %, наблюдается в 7 скважинах, что составляет около 9 % от общего числа скважин. Среднее значение SRMS по всем скважинам равно 5,4 %.

На рис. 6 представлены результаты сопоставления фактических и модельных напоров по двум скважинам на разные горизонты для нестационарной задачи. Наблюдаемое расхождение

фактических и модельных данных можно объяснить неопределенностью исходных данных, а также ошибками аппроксимации задачи (причины перечислены в порядке их важности, по мнению авторов). На рис. 7 показаны для примера диаграммы рассеяния по всем скважинам на 2002 и 2009 гг. Можно констатировать удовлетворительное совпадение напоров по скважинам для нестационарной задачи. Стоит отметить, что напоры в приподнятом и опущенном блоках (разделяемых правобережным тектоническим нарушением) отличаются на 30–50 м (в опущенном блоке напоры выше). Данный факт успешно воспроизведен на модели, при этом тектоническое нарушение задано коэффициентом фильтрации $1 \cdot 10^{-4}$ м/сут. Крайне низкие фильтрационные свойства тектонического нарушения подтверждаются результатами выполненных на полигоне исследований откачек в опущенном блоке и регистрации реакции на откачки в приподнятом блоке, в соответствии с которыми тектоническое нарушение было охарактеризовано как практически непроницаемое.

Выводы

В результате выполненной работы были решены следующие задачи:

- проведена схематизация гидрогеологических условий полигона «Северный»;
- разработана численная трехмерная геофильтрационная модель объекта;
- выбраны фильтрационно-емкостные параметры модели на основе анализа исходных данных и путем ее калибровки;
- выполнена верификация модели по данным мониторинга;
- оценено качество фильтрационной модели на основе сопоставления с фактическими данными.

Построенная геофильтрационная модель способна с приемлемой точностью воспроизводить стационарный режим фильтрации до начала закачки и колебания напора в процессе эксплуатации полигона «Северный».

На ее основе в настоящее время разработана геомиграционная модель полигона «Северный», которая позволяет выполнять расчеты распространения ЖРО в подземных водоносных горизонтах для оценки безопасности объекта [24] при эксплуатации, закрытии и на весь период потенциальной опасности.

Библиографический список

1. Ferguson G. Deep Injection of Waste Water in the Western Canada Sedimentary Basin // Groundwater. 2015. Vol. 53. No. 2. P. 187–194.
2. Рыбальченко А. И., Пименов М. К., Костин П. П. и др. Глубинное захоронение жидких радиоактивных отходов. – М.: ИздАТ, 1994. – 256 с.
3. НП-030–19. Основные правила учета и контроля ядерных материалов // Ядерная и радиационная безопасность. 2020. № 3(97). С. 32–58.
4. РБ-162–20. Рекомендации по выполнению требований к физической защите ядерных установок и пунктов хранения ядерных материалов при их проектировании и сооружении // Ядерная и радиационная безопасность. 2020. № 4(98). С. 86–100.
5. Пензин Р. А., Свистцов А. А. Развитие технологий обращения с жидкими радиоактивными отходами АЭС // Радиоактивные отходы. 2020. № 4(13). С. 90–98.
6. Malkovsky V. I., Pek A. A., Velichkin V. L., Parker F. L. Prediction of contaminant plume movement from the deep-well injection of liquid radioactive waste (LRW) at the Krasnoyarsk disposal site // Hydrological Science and Technology. 1999. Vol. 15. No. 1–4. P. 145–171.

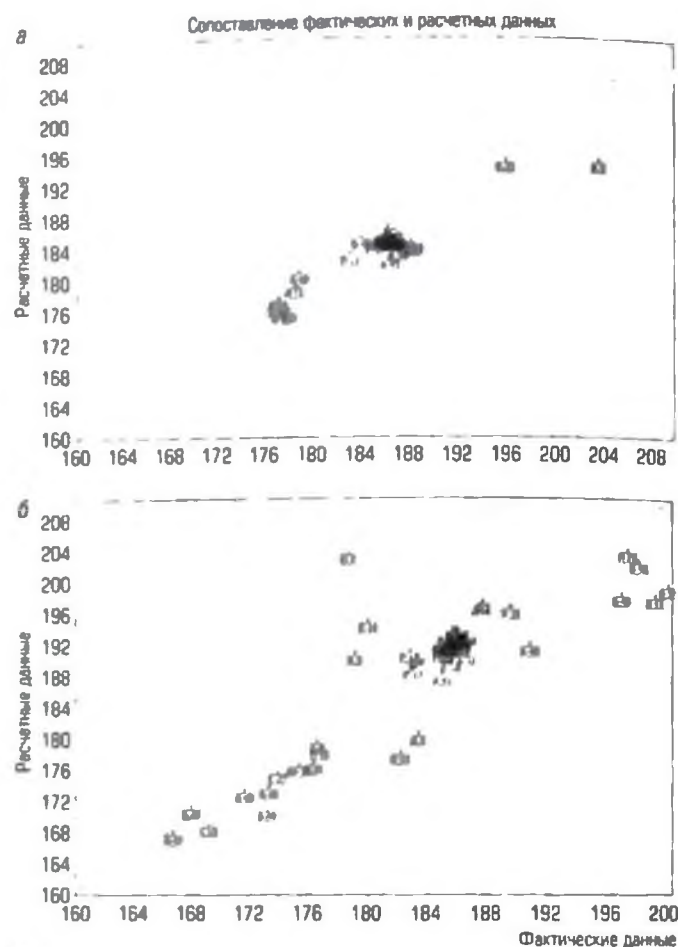


Рис. 7. График разброса по всем скважинам модели: а – середина 2002 г.; б – середина 2009 г.

Проведенная верификация программного средства «ГЕОПОЛИС» позволила аттестовать его в установленном порядке для использования при обосновании безопасности полигона «Северный». Дальнейшее развитие ПС предполагает совместное со специалистами ФГУП «НО РАО» постоянное пополнение модели новыми данными, появляющимися в процессе эксплуатации полигона, с целью дальнейшей верификации и уточнения параметров путем калибровки.

7. Мальковский В. И., Пэк А. А. Влияние естественной конвекции на стабилизацию ореола загрязнения в естественных ловушках при подземном захоронении жидких отходов // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геоэкология. 2012. № 3. С. 237–244.
8. Compton K. L., Novikov V., Parker F. L. Deep Well Injection of Liquid Radioactive Waste at Krasnoyarsk-26. RR-00–1. – Laxenburg: International Institute for Applied Systems Analysis, 2000. Vol. I. – 113 p.
9. Compton K. L., Novikov V., Parker F. L. Deep Well Injection of Liquid Radioactive Waste at Krasnoyarsk-26. RR-01–01. – Laxenburg: International Institute for Applied Systems Analysis, 2001. Vol. II. – 74 p.
10. Waters R. D., Compton K. L., Novikov V., Parker F. L. Releases of Radionuclides to Surface Waters at Krasnoyarsk-26 and Tomsk-7. RR-99–3. – Laxenburg: International Institute for Applied Systems Analysis, 1999. – 118 p.
11. Зуев В. А., Букаты М. Б., Хафизов Р. Р. Гидрогеологические условия подземного захоронения радиоактивных отходов на полигоне «Северный» (Красноярский край) // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геоэкология. 2008. № 6. С. 531–546.

12. Букаты М. Б. Численные методы моделирования геомиграции радионуклидов : учеб. пособие. – Томск : Изд-во ТПУ, 2008. – 89 с.
13. Hughes J. D., Langevin C. D., Banta E. R. Documentation for the MODFLOW 6 Framework. Chapter 57 of Section A, Groundwater. Book 6, Modeling Techniques. Techniques and Methods 6–A57. – Reston : Reston Publishing Service Center, 2017. – 42 p.
14. Капырин И. В., Уткин С. С., Василевский Ю. В. Концепция разработки и использования расчетного комплекса GeRa для обоснования безопасности пунктов захоронения радиоактивных отходов // Вопросы атомной науки и техники. Сер. Математическое моделирование физических процессов. 2014. № 4. С. 44–54.
15. Капырин И. В., Иванов В. А., Колытов Г. В., Уткин С. С. Интегральный код GeRa для обоснования безопасности захоронения радиоактивных отходов // Горный журнал. 2015. № 10. С. 44–50. DOI: 10.17580/gzh.2015.10.08
16. Лавров Н. П., Величкин В. И., Омеляненко Б. И., Юдинцев С. В., Петров В. А., Бычков А. В. Изменение окружающей среды и климата: природные и связанные с ними техногенные катастрофы. Т. 5: Изоляция отработавших ядерных материалов: геолого-геохимические основы. – М. : ИГЕМ РАН, 2008. – 254 с.
17. Гриневский С. О. Влияние рельефа на формирование инфильтрационного питания подземных вод // Вестник Московского университета. Серия 4: Геология. 2014. № 1. С. 54–60.
18. Демьянов В. В., Савельева Е. А. Геоэлектростатика. Теория и практика. – М. : Наука, 2010. – 327 с.
19. Савельева Е. А., Сускин В. В., Расторгуев А. В., Понизов А. В. Моделирование литологической неоднородности осадочного пласта в районе пункта глубинного захоронения жидких радиоактивных отходов // Горный журнал. 2015. № 10. С. 21–26. DOI: 10.17580/gzh.2015.10.04
20. Keith J. B., Beven K. J. On hypothesis testing in hydrology: Why falsification of models is still a really good idea // WIREs Water. 2018. Vol. 5. Iss. 3. DOI: 10.1002/wat2.1278
21. Anuprienko D. V., Kapryin I. V. Modeling Groundwater Flow in Unconfined Conditions: Numerical Model and Solvers' Efficiency // Lobachevskii Journal of Mathematics. 2018. Vol. 39. No. 7. P. 867–873.
22. Enemark T., Peeters L. J. M., Mallants D., Batelaan O. Hydrogeological conceptual model building and testing: A review // Journal of Hydrology. 2019. Vol. 569. P. 310–329.
23. Middlemis H. Groundwater flow modelling guideline. – South Perth : Aquaterra Consulting Pty Ltd., 2000. – 133 p.
24. Дорофеев А. Н., Савельева Е. А., Уткин С. С., Понизов А. В., Шарфутдинов Р. Б. и др. Эволюция обоснования долговременной безопасности ПГЗ ЖРО // Радиоактивные отходы. 2017. № 1(1). С. 55–64. 

«GORNYI ZHURNAL», 2021, № 5, pp. 91–97
DOI: 10.17580/gzh.2021.05.12

GEOPOLIS software tools – Groundwater flow modeling at deep repository of liquid radioactive waste at Severny test site

Information about authors

V. V. Suskin¹, Junior Researcher, vksus@brae.ac.ru

I. V. Kapryin^{1,2}, Head of laboratory, Candidate of Physical and Mathematical Sciences

A. V. Rastorguev¹, Senior Researcher, Candidate of Engineering Sciences

¹Nuclear Safety Institute, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

²Marchuk Institute of Numerical Mathematics, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

Abstract

This article discusses a three-dimensional groundwater flow model of a deep disposal facility at Severny test site. The three-dimensional model is a part of the certified software GEOPOLIS, based on the hydrogeological code GeRa (Geomigration of Radionuclides) serving as the calculation engine. This study describes the hydrogeological patterning of the groundwater flow model, as well as the results of calibration and verification of the model water heads with respect to the data of monitoring for more than 40 years of the deep repository exploitation. The article begins with a brief overview of the previously developed hydrogeological models of this object and continues with a description of the geological structure of the territory, and with a substantiation of the boundaries and parameters of the model. The results of groundwater flow modeling, model calibration, verification and estimation of discrepancy between the model results and monitoring data are shown. The comparison of the modeled and observed water heads in the stationary conditions (before the start of injection) and during operation of the deep repository allows making conclusion on the quality of calibration.

Keywords: Severny test site, GEOPOLIS, deep injection, liquid radioactive waste, groundwater flow modeling, verification.

References

1. Ferguson G. Deep Injection of Waste Water in the Western Canada Sedimentary Basin. *Groundwater*. 2015. Vol. 53, No. 2. pp. 187–194.
2. Rybakchenko A. I., Pimenov M. K., Kostin P. P. et al. Deep repository of liquid radioactive waste. Moscow : Izdat, 1994. 256 p.
3. Code NP-030-19. Basic code for inventory and control of nuclear materials. *Yadernaya i radiatsionnaya bezopasnost*. 2020. No. 3(97). pp. 32–58.
4. Safety Guide RB-162-20. Guidelines on physical protection of nuclear plants and repositories during design and construction. *Yadernaya i radiatsionnaya bezopasnost*. 2020. No. 4(98). pp. 86–100.
5. Penzin R. A., Smitsov A. A. Development of technologies for handling liquid radioactive waste of Nuclear Power Plants. *Radioaktivnye otkhody*. 2020. No. 4(13). pp. 90–98.
6. Malkovsky V. I., Pek A. A., Velichkin V. I., Parker F. L. Prediction of contaminant plume movement from the deep-well injection of liquid radioactive waste (LRW) at the Krasnoyarsk disposal site. *Hydrological Science and Technology*. 1999. Vol. 15, No. 1-4. pp. 145–171.
7. Malkovsky V. I., Pek A. A. Influence of natural convection on stabilization of contaminant plume in natural traps at underground disposal of liquid waste. *Geoekologiya. Inzhenernaya geologiya. Gidrogeologiya. Geokologiya*. 2012. No. 3. pp. 237–244.
8. Compton K. L., Novikov V., Parker F. L. Deep Well Injection of Liquid Radioactive Waste at Krasnoyarsk-26. RR-00-1. Laxenburg : International Institute for Applied Systems Analysis, 2000. Vol. 1. 113 p.
9. Compton K. L., Novikov V., Parker F. L. Deep Well Injection of Liquid Radioactive Waste at Krasnoyarsk-26. RR-01-01. Laxenburg : International Institute for Applied Systems Analysis, 2001. Vol. 11. 74 p.
10. Waters R. O., Compton K. L., Novikov V., Parker F. L. Releases of Radionuclides to Surface Waters at Krasnoyarsk-26 and Tomsk-7. RR-99-3. Laxenburg : International Institute for Applied Systems Analysis, 1999. 118 p.
11. Zuev V. A., Bukaty M. B., Khalizov R. R. Hydrogeological conditions of underground disposal of radioactive waste at Severny test site (Krasnoyarsk Krai). *Geoekologiya. Inzhenernaya geologiya. Gidrogeologiya. Geokologiya*. 2008. No. 6. pp. 531–546.
12. Bukaty M. B. Numerical methods of modeling geo-migration of radionuclides : Educational aid. Tomsk : Izdatelstvo TPU, 2008. 89 p.
13. Hughes J. D., Langevin C. D., Banta E. R. Documentation for the MODFLOW 6 Framework. Chapter 57 of Section A, Groundwater. Book 6, Modeling Techniques. Techniques and Methods 6–A57. Reston : Reston Publishing Service Center, 2017. 42 p.
14. Kapryin I. V., Utkin S. S., Vasilevsky Yu. V. Concept of design and use of GeRa software tools for validation of a repository safety. *Voprosy atomnoy nauki i tekhniki. Series: Matematicheskoe modelirovaniye fizicheskikh protsessov*. 2014. No. 4. pp. 44–54.
15. Kapryin I. V., Ivanov V. A., Kopytov G. V., Utkin S. S. Integral code GeRa for radioactive waste disposal safety validation. *Gornyi Zhurnal*. 2015. No. 10. pp. 44–50. DOI: 10.17580/gzh.2015.10.08
16. Laverov N. P., Velichkin V. I., Omelyanenko B. I., Yudinsev S. V., Petrov V. A., Bychkov A. V. The environment and climate changes: The natural and associated induced disasters. Vol. 5. Isolation of spent nuclear materials : Geological and geochemical framework. Moscow : IGEM RAN, 2008. 254 p.
17. Grinevskii S. O. The effect of topography on the formation of groundwater recharge. *Moscow University Geology Bulletin*. 2014. Vol. 69, No. 1. pp. 47–52.
18. Demyanov V. V., Saveleva E. A. Geostatistics. Theory and practice. Moscow : Nauka, 2010. 327 p.
19. Savelieva E. A., Suskin V. V., Rastorguev A. V., Ponzov A. V. Modelling lithologic heterogeneity in bed of sedimentation at deep repository for liquid radioactive waste. *Gornyi Zhurnal*. 2015. No. 10. pp. 21–26. DOI: 10.17580/gzh.2015.10.04
20. Keith J. B., Beven K. J. On hypothesis testing in hydrology: Why falsification of models is still a really good idea. *WIREs Water*. 2018. Vol. 5, Iss. 3. DOI: 10.1002/wat2.1278
21. Anuprienko D. V., Kapryin I. V. Modeling Groundwater Flow in Unconfined Conditions: Numerical Model and Solvers' Efficiency. *Lobachevskii Journal of Mathematics*. 2018. Vol. 39, No. 7. pp. 867–873.
22. Enemark T., Peeters L. J. M., Mallants D., Batelaan O. Hydrogeological conceptual model building and testing: A review. *Journal of Hydrology*. 2019. Vol. 569. pp. 310–329.
23. Middlemis H. Groundwater flow modelling guideline. South Perth : Aquaterra Consulting Pty Ltd., 2000. 133 p.
24. Dorofeev A. N., Savelieva E. A., Utkin S. S., Ponzov A. V., Sharafutdinov R. B. et al. Evolution in the safety case for liquid radioactive waste geological repositories. *Radioaktivnye otkhody*. 2017. No. 1(1). pp. 55–64.

МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ КЛАССИФИКАЦИИ ВЗРЫВОВ ПО УРОВНЮ ИХ СЕЙСМИЧЕСКОГО ДЕЙСТВИЯ

А. Н. КОЛОДИЛОВ¹, доцент, канд. физ.-мат. наук, kholodilov@mail.ru

А. П. ГОСПОДАРИКОВ², проф., д-р техн. наук

А. А. ЕРЕМЕНКО², зам. директора по научной работе, проф., д-р техн. наук

¹ Санкт-Петербургский горный университет, Санкт-Петербург, Россия

² Институт горного дела им. Н. А. Чинакала СО РАН, Новосибирск, Россия

Введение

В статье [1] обоснована функциональная связь между показателем затухания сейсмических колебаний и коэффициентом сейсмичности, входящих в формулу М. А. Садовского, и сформулированы принципы качественной классификации взрывных источников сейсмических колебаний. В настоящей работе приводятся результаты статистического анализа по парам «коэффициент сейсмичности K – показатель затухания сейсмических колебаний n », заимствованным из литературных источников, в которых исследовали сейсмическое действие взрывов при разработке месторождений твердых полезных ископаемых и гражданском строительстве. География ведения взрывных работ представлена территориями Египта, Индии, Ирана, Италии, Киргизии, Китая, Малайзии, Российской Федерации, Сербии, Туниса, Турции, Украины, Хорватии, Южной Кореи. Статистический анализ основан на наборе, включающем 76 пар значений K , n , что позволило провести надежную статистическую обработку данных.

Принципы классификации технологических взрывов как сейсмических источников

В статье [1] функциональная связь между K и n представлена в виде $n = 0,23 \ln(8,8K)$. (1)

Преобразуем выражение (1) к уравнению прямолинейной зависимости

$$n = b \ln(K) + a, \quad (2)$$

где $a = 0,5$; $b = 0,23$.

Первое слагаемое в формуле (2) указывает на явную зависимость показателя затухания сейсмических колебаний от коэффициента сейсмичности. Выясним физический смысл второго слагаемого. Для этого запишем формулу М. А. Садовского для пикового значения модуля скорости смещения, см/с, с учетом (2) в виде

$$v = K \left(\frac{R}{\sqrt{Q}} \right)^{-0,23 \ln(K)} \cdot Q^{\frac{1}{6}} \cdot \frac{1}{\sqrt{R}}, \quad (3)$$

где R – расстояние от источника колебаний до точки регистрации, м; Q – масса одновременно взрывающегося заряда взрывчатого вещества (ВВ), кг; $R/\sqrt{Q}$ – приведенное расстояние.

Из выражения (3), в частности, следует, что $v \sim 1/\sqrt{R}$. Известно, что подобная зависимость характерна для цилиндрического источника колебаний. Если в общем случае связать множитель $1/\sqrt{R}$ в формуле (3) с геометрией зарядов ВВ относительно точки наблюдения сейсмического сигнала, то a в выражении (3) не может быть отрицательным, т. е. $a > 0$, так как в противном случае скорость смещения росла бы с увеличением расстояния. В то же время значения $a > 0$ соответствуют эллипсоидному типу источника.

Разработана количественная классификация взрывных работ как источников сейсмических колебаний. В основу классификации положены прямолинейные зависимости показателя затухания сейсмических колебаний от логарифма коэффициента сейсмичности, которые входят в формулу М. А. Садовского для прогнозирования скорости смещения грунта при сейсмическом действии взрывов. Классификация построена на статистическом анализе 76 пар «коэффициент сейсмичности – показатель затухания сейсмических колебаний». Проведена верификация классификационных границ сейсмических источников.

Ключевые слова: взрывные работы, карьер, смещения грунта, пиковая скорость, приведенное расстояние, коэффициент сейсмичности, сейсмозврывные колебания, показатель затухания, безопасность.

DOI: 10.17580/gzh.2021.05.13

Выясним смысл классификационного признака $a = 0,5$ в формуле (2). Для этого воспользуемся данными лабораторных экспериментов по взрыванию пентаэритриттетранитрата разной плотности в однородных средах [2]. Экспериментальные значения массовой скорости в зависимости от приведенного расстояния аппроксимируются уравнением $v = 572(R/\sqrt{Q})^{-0,23 \ln(572)} \cdot Q^{\frac{1}{6}}$. В статье [3] приведены результаты полигонных экспериментов по взрыванию зарядов патронированного нитрата массой не более 3,5 кг. При этом сейсмическое действие взрыва не зависело от направления на взрыв. Значения пиковой скорости смещения аппроксимировались уравнением $v = 110(R/\sqrt{Q})^{-1,6}$. Соответствующий расчет для $K = 100$ по формуле (1) дает $n = 1,58$. Рассмотренные примеры позволяют считать классификационный признак $a = 0,5$ в формуле (2) для совершенного взрывания как характеристику источников нормального сейсмического действия.

Установим количественные интервальные критерии классификации источников по типу сейсмического действия. Для этого аппроксимируем пары (K, n) с помощью уравнения линейной регрессии:

$$\hat{n} = \hat{a} + b \ln K, \quad (4)$$

где $\hat{a}$ и $\hat{b}$ соответствующие оценки параметров a и b в формуле (2).

Поскольку $\hat{a}$ и $\hat{b}$ зависят от объема выборки, то необходимо сформулировать правило построения статистической выборки из имеющейся совокупности экспериментальных данных, чтобы исключить данные («выбросы»), существенно искажающие конечный результат. В качестве правила построения статистической выборки найдем условие, при котором для данного K значение n для заданного Δl будет попадать в интервал

$$0,23 \ln(K) + 0,5 - \Delta l \leq n \leq 0,23 \ln(K) + 0,5 + \Delta l. \quad (5)$$

Если выбрать $\Delta l = 0,01$ и далее увеличивать Δl на 0,01, то получим ряд статистических выборок с равномерно увеличивающимся объемом. Для каждой выборки можно вычислить оценки $\hat{a}$ и $\hat{b}$, установить их доверительные интервалы и коэффициенты детерминации r^2 . Конечные результаты вычислений представлены в таблице.

Из анализа данных таблицы следует:

• оценка $b = 0,23$ в формуле (2) попадает в доверительный интервал для всех условий, или 89 % пар (K, n) из общей совокупности экспериментальных данных (ОСЭД);

• оценка $a = 0,5$ в формуле (2) при условии $\Delta l = 0,26$ попадает в доверительный интервал для 76 % пар (K, n) из ОСЭД;

• статистически значимые и наиболее близкие оценки к значениям a и b соответствуют условию $\Delta l = 0,10$ для 37 % пар (K, n) из ОСЭД;

• при условии $\Delta l = 0,36$ резко замедляется рост объема статистических выборок;

• в рамках статистической погрешности верхние границы доверительных интервалов для условий $\Delta l = 0,10$ и $\Delta l = 0,26$ будем считать совпадающими;

• при условии $\Delta l = 0,36$ для среднего значения $\overline{\ln K}$ ($K = 186$) оценка $\hat{a}$ на величину 0,1 будет меньше аналогичного значения, вычисленного по формуле (2).

С учетом вышеизложенных положений для источников нормального сейсмического действия определим границы изменения параметра a , соответствующие условию $\Delta l = 0,26$ с оценкой $\hat{a}$, увеличенной на 0,1. Тогда классификационная (нижняя) граница между источниками повышенного и нормального сейсмического действия будет удовлетворять уравнению

$$n_n = 0,23 \ln K + 0,33; \quad (6)$$

между источниками пониженного и нормального сейсмического действия (верхняя)

$$n_p = 0,23 \ln K + 0,63. \quad (7)$$

Оценка значимости уравнения парной регрессии и ее параметров с помощью критерия Фишера и статистики Стьюдента подтверждает линейную связь между n и $\ln K$ и статистическую значимость параметров $\hat{a}$, $\hat{b}$ и r .

На рис. 1 представлены экспериментальные пары (K, n) , которые более чем в 95 % случаев характеризуют дальнюю зону сейсмического действия взрывов и классификационные границы сейсмических источников. Данные рис. 1 свидетельствуют:

• середина интервала по n для экспериментальных пар, заключенных между границами 3 и 4 доверительного интервала, соответствует примерно значению 1,5, которое принимается для предварительных оценок максимальной векторной скорости колебаний грунта [19];

• разброс экспериментальных точек указывает на разнообразие условий проведения взрывных работ, которое учитывается в коэффициенте сейсмичности; если это было бы не так, то все точки в пределах статистической погрешности удовлетворяли бы зависимости (2).

Обсуждение классификационных границ сейсмических источников

Относительно промышленной безопасности особое внимание должно быть уделено предпосылкам повышенного сейсмического действия взрывных работ. В качестве характеристики реального сейсмического источника выберем величину, равную разности показателя затухания сейсмических колебаний реального источника n_p и показателя затухания сейсмических колебаний n_n , вычисленного для коэффициента сейсмичности реального источника K_p с помощью выражения (6)

$$\Delta l = n_p - n_n \text{ или } \Delta l = n_p - 0,23 \ln K_p - 0,33. \quad (8)$$

Для источников **повышенного сейсмического действия** по условиям ведения взрывных работ величина Δl отрицательная.

Обводненные грунты. По данным [23] установлено, что скорость смещения грунта вблизи фундаментов зданий и сооружений,

Результаты статистической обработки выборок

Условия (объем выборки, тис.)	Доверительный интервал		
	$\hat{a}$	$\hat{b}$	r
$\Delta l = 0,10$ (28)	$0,52 \pm 0,05$	$0,22 \pm 0,02$	0,96
$\Delta l = 0,26$ (58)	$0,38 \pm 0,15$	$0,24 \pm 0,03$	0,82
$\Delta l = 0,36$ (67)	$0,31 \pm 0,16$	$0,25 \pm 0,03$	0,78
$\Delta l = 0,41$ (68)	$0,30 \pm 0,16$	$0,25 \pm 0,03$	0,78

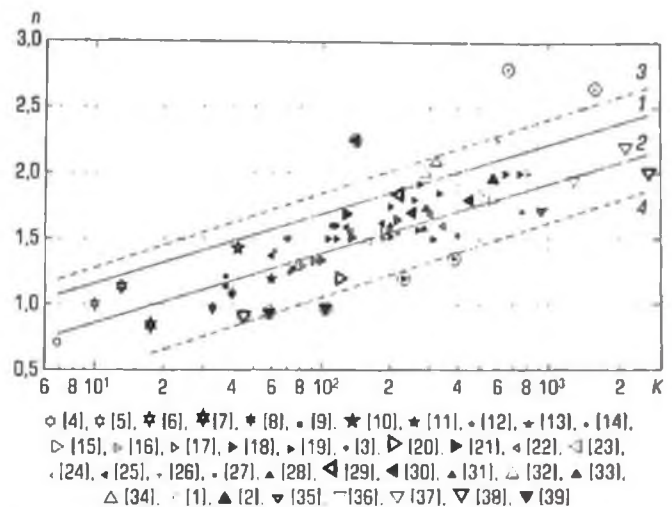


Рис. 1. Классификация сейсмических источников по величинам n и K для пиковой скорости смещения, выраженной в см/с:

классификационные границы: 1 — между источниками пониженного (сверху) и нормального (снизу) сейсмического действия; 2 — между источниками нормального (сверху) и повышенного (снизу) сейсмического действия; 3, 4 — границы доверительного интервала индивидуальных значений показателя затухания сейсмических колебаний при 95%-ной надежности для выборки, за исключением данных, обведенных кружками

размещенных на обводненных отложениях мощностью не менее 20 м, в 1,5–2 раза больше скорости смещения, полученной на скальном основании: $\Delta l = -0,03$. Железрудный карьер Gol-E-Gohar [16]: $\Delta l = -0,05$. Доломитовый карьер «Гралево» в Витебской области (Беларусь) [20], взрывание на водную пригрузку. $\Delta l = -0,23$.

Весьма крепкие горные породы. Согласно [40] скорость смещения $u \sim f_c^{0,642}$, где f_c — предел прочности горной породы при одноосном сжатии. Железрудный карьер Лебединского горно-обогатительного комбината [13, 14], железистые кварциты с f_c 100–140 МПа. Вокруг карьера развилась весьма протяженная депрессионная воронка. Поэтому обводненность грунтов вблизи карьерного поля не может служить причиной повышенного сейсмического действия массовых взрывов. В целом для карьеров Курской магнитной аномалии [13]: $\Delta l = -0,05$. Карьер Akyol, Турция [31]. Месторождение представлено известняками эоценового возраста с f_c до 92 МПа; $\Delta l = -0,05$.

Крупномасштабные массовые взрывы. Основная характеристика — диаметр взрывных скважин (ДВС) $d_{\text{св}} \geq 200$ мм. Согласно [3] $u \sim d_{\text{св}}^{0,5}$. Угольный разрез Junggar, Китай [17], общая масса ВВ 900–1500 т, ДВС 310 мм: $\Delta l = -0,05$. Угольный разрез в Синграуле, Индия [8], ДВС 311 мм: $\Delta l = -0,04$. Угольные разрезы компаний Northern Coalfields Limited, Индия [39], ДВС 150–310 мм: $\Delta l = -0,43$. Талдинский угольный разрез, ОАО «УК



Рис. 2. Поверхность откосов уступов известнякового карьера (а) и развал горной массы (б) на карьере в Финляндии

«Кузбассразрезуголь» [26]: $\Delta l = -0,03$ Рудные карьеры: железорудный карьер Gol-E-Gohar [16], ДВС 203 мм: $\Delta l = -0,05$, Серечешменский медный рудник, Иран [11], ДВС 200 мм: $\Delta l = -0,08$. Карьер песчаника [18], ДВС 100–300 мм: $\Delta l = -0,05$

Масса единовременно взрывающегося заряда С переходом на поскажинное взрывание зарядов ВВ возникает проблема выбора массы одновременно взрывающегося заряда для расчета приведенного расстояния. Согласно единым правилам безопасности, при взрывных работах масса одновременно взрывающегося заряда принимается в пределах 20 мс интервала времени взрывания (окна взрывания).

В статье [36] проанализирована связь между шириной окна взрывания и параметрами уравнений линейной регрессии для пиковой скорости смещения: Δl равно $-0,05$, $-0,12$; $-0,32$ для 20 мс, 8 мс окон взрывания и максимальной массы заряда взрывчатого вещества соответственно, т. е. с уменьшением ширины окна усиливается сейсмическое действие взрыва.

Способ инициирования заряда взрывчатого вещества В статье [38] представлен сравнительный анализ применения неэлектрических и электронных систем инициирования DAVEYTRONIC для условий горнодобывающих предприятий Кузбасса. Авторы отмечают снижение сейсмического эффекта в последнем случае. В случае использования неэлектрических систем $\Delta l = -0,30$, электронных систем $\Delta l = -0,14$

При корректировке параметров буровзрывных работ, изменении горно-геологических условий в пределах месторождения наибольшим сейсмическим действием будет обладать взрыв с наименьшим значением параметра Δl

Одним из важных вопросов промышленной безопасности при ведении взрывных работ является разработка мероприятий по предупреждению возникновения опасных ситуаций для охраняемых объектов. Классификация взрыва как источника повышенного сейсмического действия вовсе не означает, что обязательно возникает опасная ситуация, но указывает на предпосылки ее появления.

Сейсмические источники нормального и пониженного действия. Эти источники характеризуются наибольшей предсказуемостью. Однако для источников пониженного сейсмического действия в весьма локализованной области вероятен всплеск сейсмической активности с достаточно сильным затуханием.

В качестве граничного классификационного признака выберем величину

$$\Delta l' = \eta_p - 0,23 \ln K_p - 0,63 \quad (9)$$

Неравенство $\Delta l' > 0$ будет характеристикой источника пониженного сейсмического действия. Если одновременно выполняются два условия $\Delta l' \leq 0$ и $\Delta l \geq 0$, то сейсмический источник классифицируется как источник нормального сейсмического действия. Ниже рассматриваются условия ведения взрывных работ.

Взрывание при ведении взрывных работ в подземных условиях с регистрацией сейсмических колебаний на земной поверхности. Шерегешевский рудник в Горной Шории [13]: $\Delta l' = -0,11$ и $\Delta l = 0,19$. Взрыв для создания гравитационной плотины Камбаратинской ГЭС-2 на р. Нарын, Киргизская Республика [28]: $\Delta l' = -0,25$ и $\Delta l = 0,05$. Шахта Ингулецкого ГОКа, Украина [37]: $\Delta l' = -0,19$ и $\Delta l = 0,11$. ОАО «Ново-Широкинский рудник» [1]: $\Delta l' = -0,12$ и $\Delta l = 0,18$

Массовые взрывы на рудных карьерах и карьерах строительных материалов с регистрацией сейсмических колебаний на земной поверхности. Рудник «Железный» ОАО «Ковдорский ГОК» [25] для северного и южного бортов $\Delta l' = -0,17 \dots -0,15$ и $\Delta l = 0,13 \div 0,15$ для западного и восточного бортов $\Delta l' = -0,32 \dots -0,33$ и $\Delta l = 0,02 \dots -0,03$. Железорудный карьер Buvás в северной части Боснии и Герцеговины [32]: $\Delta l' = -0,16$ и $\Delta l = 0,14$. Железорудное месторождение в долине Джамада-Койра, Индия [33], ДВС 102 мм: $\Delta l' = -0,2$ и $\Delta l = 0,1$. Санганское меднорудное месторождение, Индия [24], ДВС 90, 127 мм: $\Delta l' = -0,25$ и $\Delta l = 0,05$.

Карьеры известняка турецкой компании Akcausa и египетской компании Assiut [12], ДВС 64 мм: $\Delta l' = -0,18$ и $\Delta l = 0,12$. Карьеры [18] известняка, ДВС 100–150 мм: $\Delta l' = -0,25$ и $\Delta l = 0,05$; доломита, ДВС 100–115 мм: $\Delta l' = -0,21$ и $\Delta l = 0,09$. Карьер Alvand Goly, Иран [34], известняки ($f_c = 80$ МПа), ДВС 76 мм: $\Delta l' = 0,13$. Гранитный карьер Джохор-Бару, Малайзия [21]: $\Delta l' = -0,05$ и $\Delta l = 0,25$. Месторождение гранитов в пос. Кузнечное, Ленинградской обл. [27]: $\Delta l' = -0,29$ и $\Delta l = 0,01$

Следует отметить, что между уровнем сейсмического действия взрывных работ и качеством их проведения существует явная связь. Так, применение взрывных скважин малого диаметра позволяет достичь высокого качества поверхности откоса уступа (рис. 2, а) и компактного развала горной массы (см. рис. 2, б).

Взрывные работы в гражданском строительстве. Дамба «Готланд» [10], ДВС 64 мм: $\Delta l' = -0,07$ и $\Delta l = 0,23$. Строительство автомобильного шоссе Pluska – Ponikve в Словении [6] (взрывные работы при проходке тоннелей, мониторинг на земной поверхности): $\Delta l' = -0,09$ и $\Delta l = 0,21$.

Предварительное щелеобразование. Установлено [17], что показатель затухания сейсмических колебаний практически является постоянной величиной. В то же время коэффициент сейсмичности уменьшается более чем в два раза. Согласно предлагаемой классификации, источник повышенного сейсмического действия переходит в источник нормального сейсмического действия.

Строительство гидроэлектростанции [29]. Поверх скального основания залегают слабые горные породы, склонные к ползучести. Взрывные работы вели с применением предварительного щелеобразования: $\Delta n' = -0,03$ и $\Delta n = 0,27$.

Предлагаемая классификация предоставляет дополнительный инструмент для анализа сейсмической опасности взрывов, например, при отклонении интервалов времени короткозамедленного взрывания от номинальных значений, возникновении условий резонансного возбуждения в системе «массив — охраняемый объект» [41] и согласуется с результатами последних исследований сейсмички промышленных взрывов [42–44].

Выводы

Предложенные уравнения классификационных границ (6)–(7) соответствуют характеристикам реальных сейсмических источников по типу сейсмического действия. Классификация сейсмических источников по коэффициенту сейсмичности и показателю затухания сейсмических колебаний позволяет количественно сравнивать взрывные работы по уровню их сейсмического действия на охраняемые объекты. Источники повышенного и нормального сейсмического действия распределены примерно в равной пропорции, что отражает существующую технологию ведения взрывных работ в мировой практике.

Библиографический список

См. англ. блок.

«GORNYI ZHURNAL», 2021, № 5, pp. 98–102
DOI: 10.17580/gzh.2021.05.13

Procedural framework for explosion classification by the seismic load criterion

Information about authors

A. N. Kholodilov¹, Associate Professor, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, kholodilov@mail.ru

A. P. Gospodarikov¹, Professor, Doctor of Engineering Sciences

A. A. Eremenko², Deputy Director of Science, Professor, Doctor of Engineering Sciences

¹Saint-Petersburg Mining University, Saint-Petersburg, Russia

²Chinakal Institute of Mining, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russia

Abstract

For the first time the quantitative classification of blasting operations as sources of blasting vibrations is constructed. According to the classification, all sources are divided into the sources of increased, normal and reduced action. The classification is based on the rectilinear dependences of the PPV attenuation factor on the logarithm of the seismicity coefficient, which are included in Sadovsky's formula to predict the peak particle velocity under the seismic action of explosions. The classification is based on the statistical analysis of 76 seismicity coefficient—PPV attenuation factor couples reflective of the wide geography of blasting operations carried out in solid minerals mining and in civil engineering. The reliability of the statistical analysis result is proved using the Fisher criterion and Student statistics. The classification boundaries of seismic sources are verified. The sources of increased seismic activity are compared by the conditions of blasting in watered and in very strong rocks, the use of large-diameter blast holes, the choice of explosive mass for simultaneous blasting and the influence of the initiation method on the seismic effect produced. The sources of normal and reduced seismic activity were compared by the conditions of blasting in underground mines, at quarries of building materials with ground surface recording, blasting in civil construction and with preliminary borehole slotting. The classification allows the quantitative comparison of blasting operations by the level of seismic action in the intervals of 6–2700 and 0.6–2.8 by the seismicity coefficient and PPV attenuation factor, respectively, for PPV in cm/s. The classification is representative of the current technology of blasting in the world practice.

Keywords: blasting, pen pit mine, displacements, peak particle velocity, reduced distance, seismicity coefficient, seismic vibrations induced by blasting, attenuation factor, safety.

References

- Belin V. A., Kholodilov A. N., Gospodarikov A. P. Methodical principles of prediction of seismic effect due to large-scale blasting. *Gornyi Zhurnal*. 2017. No. 2. pp. 66–69. DOI: 10.17580/gzh.2017.02.12
- Shemyakin E. I. Seismic waves induced by blasting in mining. Moscow: NNTs GP-IGD Im. A. A. Skochinskogo, 2004. 74 p.
- Giraudi A., Cardu M., Kecojevic V. An Assessment of Blasting Vibrations: A Case Study on Quarry Operation. *American Journal of Environmental Sciences*. 2009. Vol. 5, Iss. 4. pp. 468–474.
- Fouladgar N., Hasanipناه M., Hassan Bakhshandeh Amnieh. Application of cuckoo search algorithm to estimate peak particle velocity in mine blasting. *Engineering with Computers*. 2017. Vol. 33, Iss. 2. pp. 181–189.

- Chernykh E. N. Experimental estimate of seismic effect generated by massive blasts at Neryungri open pit mines on guarded objects. *Geological and Geophysical Environments and Seismic Effects. Conference Proceedings Neryungri. Izdatelstvo Tekhnicheskogo instituta (filiala) SVFU*, 2015. pp. 200–207.
- Lubej S., Toplak S., Ivanic A., Jelusic P., Ivanovski I. Ground vibration response due to blast induced vibration: simple prediction model based on fuzzy logic. *Proceedings of the 22nd International Congress on Sound and Vibration 2015*. Florence, 2015. Vol. 2. pp. 1744–1751.
- Mingsheng Zhao, Dong Huang, Maosen Cao, En-an Chi, Jun Liu, Qiang Kang. An Energy-Based Safety Evaluation Index of Blast Vibration. *Shock and Vibration*. 2015. Vol. 2015. ID 698193. DOI: 10.1155/2015/698193
- Khandelwal M., Singh T. N. Prediction of blast-induced ground vibration using artificial neural network. *International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences*. 2009. Vol. 46, Iss. 7. pp. 1214–1222.
- Vaibhab Pramod Bhagwat, Kaushik Dey. Comparison of Some Blast Vibration Predictors for Blasting in Underground Drifts and Some Observations. *Journal of The Institution of Engineers (India): Series D*. 2016. Vol. 97, Iss. 1. pp. 33–38.
- Hassan Bakhshandeh Amnieh, Moen Bahadori. Safe vibrations of spilling basin explosions at «Gotvand Olya dam» using artificial neural network. *Archives of Mining Sciences*. 2014. Vol. 59. No. 4. pp. 1087–1096.
- Dehghani H., Ataee-pour M. Development of a model to predict peak particle velocity in a blasting operation. *International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences*. 2011. Vol. 48, Iss. 1. pp. 51–58.
- Ataee M., Sereshki F. Improved prediction of blast-induced vibrations in limestone mines using Genetic Algorithm. *Journal of Mining & Environment*. 2017. Vol. 8, No. 2. pp. 291–304.
- Goncharov A. I., Kulikov V. I., Eremenko A. A. Seismic effect generated by blasts in surface and underground mines. *Journal of Mining Institute*. 2007. Vol. 171. pp. 175–180.
- Adushkin V. V., Spivak A. A. Influence of route on attenuation of seismic signal from short-delay blasts in open pits. *Dynamic Processes in Geospheres. Collection of Scientific Papers*. Moscow: GEOS, 2013. No. 4. pp. 118–126.
- Nikitin R. Ya., Vasilev A. V., Khon V. I., Chernykh E. N. Seismometric study of influence of massive explosions in the quarry at the protected objects of Internatsionalnyi mine. *Gornyi Zhurnal*. 2012. No. 2. pp. 14–16.
- Saadat M., Khandelwal M., Monjezi M. An ANN-based approach to predict blast-induced ground vibration of Gol-E-Gohar iron ore mine, Iran. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*. 2014. Vol. 6, Iss. 1. pp. 67–76.
- Nianhua Y., Pingliang W., Le Z. Monitoring and Analyses on Blasting Vibration of Thousand-ton Charge Level Long-hole Casting Blasting Project. *Proceedings of the 7th International Conference on Physical Problems of Rock Destruction*. Beijing, 2011. pp. 408–412.
- Rai R., Singh T. N. A new predictor for ground vibration prediction and its comparison with other predictors. *Indian Journal of Engineering & Materials Sciences*. 2004. Vol. 11, No. 3. pp. 178–184.
- Mosinets V. N. Shattering and seismic effect generated by blasts in rocks. Moscow: Nedra, 1976. 271 p.
- Artemov V. A. Research and analysis of an efficient blasting technology for dolomite in open pit voids filled with water: Dissertation of Candidate of Engineering Sciences. Leningrad, 1981. 22 p.

31. Mahmoud F. I., Hourani S. A., Armanaghani D. J., Saad R. Simulation of Blasting Induced Ground Vibration by Using Artificial Neural Network. *The Electronic Journal of Geotechnical Engineering*, 2012, Vol. 12, P. pp. 2571–2584.
32. Lee S. H., Park H., Jeong J. H. Study on the Blast Vibration Produced by Mining Activity and Safety Criteria. *Proceedings of the 7th International Conference on Physical Problems of Rock Destruction*, Moscow, 2011, pp. 411–416.
33. Kuznetsov A., Tokin V. A. Prediction of seismic effects of buildings of industrial area in the time of production of mass explosions. *Gornyi zhurnal*, 2014, No. 5, pp. 48–56.
34. Alipour A., Mokhtarian M., Abdollahi Shari I. Artificial neural network or empirical criteria? A comparative approach in evaluating maximum charge per delay in surface mining – Sungun copper mine. *Journal of the Geological Society of India*, 2012, Vol. 79, Iss. 6, pp. 652–658.
35. Musatova I. N., Tokin V. A. Method of treatment of results of seismic tests in the mass explosions in condition of open pit. *Izvestiya vuzov. Gornyi zhurnal*, 2014, No. 5, pp. 70–74.
36. Novikov A. G., Protasov S. I., Samusev P. A., Gukin A. S. Statistical reliability of forecasting peak particle velocity under large scale production blasting. *Journal of Mining Science*, 2015, Vol. 51, Iss. 5, pp. 901–907.
37. Orlov V. S. Scientific substantiation of blasting technology with reduced dust, gas and acoustic impact in surface and underground mines in Transbaikalia. thesis of Inauguration of Dissertation. Doctor of Engineering Sciences, Chita, 2002. 48 p.
38. Kulikov V. I., Etkin M. B., Yarmchybekov M. P. Seismic effect of the Kambarata Explosion. *Dynamic Processes in Geosphere. Collection of Scientific Papers*, Moscow: GEDS, 2013, No. 4, pp. 126–137.
39. Gao L., Jiang Gang, et al. A study on the blasting vibration control of creep mass high slope. *Proceedings of the 14th World Conference on Earthquake Engineering*, Beijing, 2008.
40. Shuyler M. I. Seismic effect of blasting in construction of waterworks. *Vzryvnoe delo*, 1983, No. 8/84, pp. 127–132.
41. Ozer U., Kahriman A., Aksoy M., Adiguzel D., Karadogan A. The analysis of ground vibrations induced by bench blasting at Akyol quarry and practical blasting charts. *Environmental Geology*, 2008, Vol. 54, Iss. 4, pp. 717–743.
42. Malbasic V., Stopinovic I. Determination of Seismic Safety Zones during the Surface Mining Operation Development in the Case of the «Buvat» Open Pit. *Minerals*, 2018, Vol. 8, Iss. 2, 71. DOI: 10.3390/min8020071.
43. Parida A., Mishra M. K. Blast Vibration Analysis by Different Predictor Approaches-A Comparison. *Procedia Engineering*, 2015, Vol. 11, pp. 337–345.
44. Hosseini M., Baghikhan M. S. Analysing the Ground Vibration Due to Blasting at AlvandQoly Limestone Mine. *International Journal of Mining Engineering and Mineral Processing*, 2013, Vol. 2, No. 2, pp. 17–23.
45. Aloui M., Bleuzen Y., Essafi E., Abbas C. Ground Vibrations and Air Blast Effects Induced by Blasting in Open Pit Mines. Case of Metlaoui Mining Basin, Southwestern Tunisia. *Journal of Geology & Geophysics*, 2016, Vol. 5, Iss. 3, DOI: 10.4172/2381-8719.1000247.
46. Novikov A. G., Protasov S. I., Gukin A. S. Assessment of seismic safety of massive production blasts. *Bezopasnost truda v promyshlennosti*, 2013, No. 6, pp. 40–46.
47. Lyashenko V. I., Kislyi P. A. Justification of seismically safe blasting parameters in shallow underground mining under urban development areas. *Izvestiya vuzov. Gornyi zhurnal*, 2015, No. 2, pp. 84–93.
48. Belyaev A. G., Nabiulin M. F. Experience of LLC Azot-Chernigovets: Use of DAVEYTRONIC Electronic Blast Systems in Mining Facilities. *Ugol*, 2013, No. 10, pp. 4–9.
49. Seetharama Rao Y., Mallikarjuna Rao K. Prediction of ground vibrations and frequency in opencast mine using neuro-fuzzy technique. *Journal of Scientific & Industrial Research*, 2009, Vol. 68, No. 4, pp. 292–295.
50. Kumar R., Choudhury D., Bhargava K. Determination of blast-induced ground vibration equations for rocks using mechanical and geological properties. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*, 2016, Vol. 8, Iss. 3, pp. 341–349.
51. Kholodilov A. N., Gospodanikov A. P. Modeling seismic vibrations under massive blasting in underground mines. *Journal of Mining Science*, 2020, Vol. 56, Iss. 1, pp. 29–35.
52. Alenchev I. A. On the question of the open pit area zoning depending on the seismicity coefficient. *Problemy nedropol'zovaniya*, 2018, No. 2(17), pp. 6–11.
53. Verkhovantsev A. V., Dyagilev R. A., Shulakov D. Yu., Shkurko A. V. Monitoring of earthquake loads from blasting in the Shakhtau open pit mine. *Journal of Mining Science*, 2019, Vol. 55, Iss. 2, pp. 229–238.
54. Zhanikov S. N., Kutuev V. A. Seismic effects in different rocks and soil. *GIAB*, 2020, No. 12, pp. 44–53.

СЕКИСОВУ ГЕННАДИЮ ВАЛЕНТИНОВИЧУ – 90 ЛЕТ



Исполнилось 90 лет Геннадию Валентиновичу Секисову — главному научному сотруднику Института горного дела ДВО РАН, заслуженному деятелю науки РФ, профессору, доктору технических наук.

Г. В. Секисов родился 17 апреля 1931 г. в селе Онон-Борзя Александрово-Заводского района Читинской области. Трудовую деятельность начал в 1943 г., совмещая

учебу в начальной школе с работой в колхозе «Партизан» (с. Онон-Борзя). После окончания в 1953 г. Московского института цветных металлов и золота обучался в очной аспирантуре под руководством профессора С. М. Шорохова. В 1957 г. защитил кандидатскую диссертацию, посвященную обоснованию эффективных технологических параметров разработки многолетнемерзлых и талых россыпей. С 1957 по 1959 г. работал в проектно-исследовательском институте горного профиля в г. Москве, где разработал и внедрил технологию разработки жильных месторождений с использованием наклонных скважин малого диаметра. В 1960–1988 гг. Г. В. Секисов работал в Институте физики и механики горных пород АН Киргизской ССР, где проводил теоретические и экспериментальные исследования процессов взрывной подготовки к выемке и выемки рудных тел со сложными условиями залегания, морфологией и внутренней структурой. Исследования этих процессов с позиций трансформации рудных контуров при взрывной дезинтеграции смешивания при выемке экскаваторами руд и вмещающих пород, руд технологически несовместимых

типов и сортов позволили разработать прямые методы определения потерь, разубоживания и пересортицы руд при открытой добыче и нормирования этих показателей, а также рациональные технологические схемы отработки рудных блоков с различными морфолого-структурными параметрами. Фактический экономический эффект от внедрения схем подготовки к выемке и селективной выемки на ряде рудных карьеров Средней Азии и Дальнего Востока составил более 3 млн руб. (в ценах 1970–1980-х годов). Полученные научные и практические результаты были положены в основу докторской диссертации, которую Геннадий Валентинович защитил в 1975 г. В 1979 г. ему было присвоено научное звание профессора, в 1980 г. он был избран членом-корреспондентом АН Киргизской ССР, а в 1984 г. в числе ведущих ученых-горняков и руководителей горных предприятий республики стал лауреатом Государственной премии Киргизской ССР в области науки и техники. В 1988 г. Г. В. Секисов был приглашен в Институт горного дела ДВО РАН, в котором работал в должности директора (1998–1993 гг.), заведующего лабораторией (1994–2014 гг.), а в настоящее время он работает в должности главного научного сотрудника. Г. В. Секисов является автором более 400 научных публикаций, в том числе 20 монографий и 55 изобретений, им подготовлены 12 докторов и 18 кандидатов наук.

Коллектив Института горного дела ДВО РАН, коллеги и друзья, редакция и редакционная коллегия «Горного журнала», желают Геннадию Валентиновичу крепкого здоровья, благополучия, дальнейших профессиональных успехов.

УДК 622 32:378.1

НЕФТЕГАЗОВАЯ НАУКА И ОБРАЗОВАНИЕ – ИСТОРИЯ СТАНОВЛЕНИЯ И РОЛЬ В РАЗВИТИИ НЕФТЯНОЙ И ГАЗОВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ РОССИИ*



В. А. КОСЬЯКОВ¹,
ректор, проф., д-р техн. наук



В. Ю. КЕРИМОВ¹,
зав. кафедрой, проф.,
д-р геол.-минерал. наук,
vagif.kerimov@mail.ru



А. Г. ВОРОБЬЕВ²,
врио главного редактора «Горного
журнала», проф., д-р экон. наук



В. П. МОИСЕЕНКО¹,
доцент, канд. ист. наук

¹ Российский государственный геологоразведочный университет им. Серго Орджоникидзе, Москва, Россия

² Издательский дом «Руда и Металлы», Москва, Россия

Нефтяная и газовая промышленность России прошла длинный путь – от добычи нефти из нефтяных колодцев до освоения уникальных месторождений нефти и газа Арктики с использованием современных инновационных технологий.

В 1721 г. рудознатец из Мезени Григорий Иванович Черепанов, смекалистый мужик, обнаруживший нефть в Ухте, отправился в столицу Российской Империи и подал об этом донесение в Берг-коллегию. Об открытии нефтяного ключа было доложено царю Петру I, который дал импульс и сам внес существенный вклад в обустройство первого в России государственного нефтепромысла. Развитие нефтяной промышленности России связано с присоединением Кавказа и Каспийского региона к Российской Империи в 1806 г. Мощное развитие нефтяной промышленности, начавшееся во второй половине XIX в., выдвинуло Россию в число ведущих промышленных стран. В дореволюционной России нефтяная промышленность была одной из наиболее развитых отраслей, разработки велись в основном на территории Азербайджана и Грозненского нефтяного района, охватывавшего регионы Чечни, Ингушетии, Дагестана и Краснодарского края. Бакинский нефтяной район и в дальнейшем сохранил значение главного поставщика нефти в России [1–5].

Рассмотрены история становления нефтегазовой науки и образования и ее роль в развитии нефтяной и газовой промышленности России. Отмечено, что одним из основных факторов развития нефтяной и газовой промышленности является подготовка высококвалифицированных специалистов и научных кадров нефтяного дела. Указано на необходимость совершенствования методов поисков и разведки месторождений углеводородов

Ключевые слова: Россия, нефтяная и газовая промышленность, нефтяное дело, прогнозирование, поиски, разведка, месторождение, углеводороды, геология, наука, образование.

Огромная роль в Победе Советского Союза во Второй мировой войне принадлежала нефтяникам страны, которые обеспечивали фронт топливом. Стране, как никогда, нужна была нефть. Знаменательным событием для развития нефтяной промышленности в стране, заложившим основу морской добычи нефти в СССР, было открытие всемирно известного нефтяного месторождения Нефтяные Камни.

Важнейшей вехой на современном этапе развития нефтегазового комплекса России стало утверждение доктрины энергетической безопасности Российской Федерации (указ Президента РФ от 13 мая 2019 г. № 216) и Энергетической стратегии Российской Федерации на период до 2035 г. (распоряжение Правительства РФ от 9 июня 2020 г. № 1526-р). В документах обозначены стратегические цели, принципы и задачи национальной энергетической политики, среди которых важное место занимают вопросы воспроизводства минерально-сырьевой базы и добычи углеводородов на уровне, необходимом для устойчивого обеспечения потребителей энергоресурсами, укрепления позиций России на мировом энергетическом рынке и сохранения энергетической безопасности страны.

Освоение ресурсов углеводородов требует постоянного совершенствования методов подготовки специалистов нефтегазового дела и углубления научных основ поисков, разведки и освоения месторождений нефти и газа. До революции нефтяное дело находилось в компетенции горных ведомств России. Поэтому еще в царское время подготовку кадров, проведение исследовательских работ на уровне того времени для нефтяной промышленности осуществляли горные училища.

По Указу Петра I от 10 декабря 1719 г. «Об учреждении Берг-Коллегиума для выделения в оные дела о рудах и минералах» было образовано самостоятельное горное учреждение – Берг-коллегия с местными органами – Берг-амтами.

К 1721 г. еще на начальном этапе работы Берг-коллегии была начата деятельность по изучению возможностей организации нефтяного промысла на Севере Российской Империи. Как уже упоминалось, по «доношению рудознатца Григория Черепанова» в мае 1721 г. на Ухту для обследования «нефтяного ключа» была направлена первая

*В написании статьи принимала участие канд. техн. наук, доцент Российского государственного геологоразведочного университета им. Серго Орджоникидзе У. С. Серикова

экспедиция В 1724 г в этом районе работала вторая экспедиция, возглавляемая капитаном Басаргиным в результате чего бутылки с собранной утинской нефтью были направлены в Санкт-Петербург.

Упоминание о начале создания системы горнотехнического образования в России содержит указ Петра I от 4 марта 1702 г о передаче Невьянского завода «тулянину оружейного железного дела мастеру» Никите Демидову «для снабжения артиллерии всякими военными припасами» с конкретным указанием построить в Невьянске школу, в которой «работников добрых и смысленных тому делу у домен и у молотов и руд, и угольного жжения учить». Это распоряжение царя с опозданием было выполнено, и в 1709 г первая российская горная школа открыла свои двери для сыновей заводских мастеровых. Вторая российская горнозаводская школа в 1715 г была основана одним из выдающихся деятелей горного дела Вильямом де Гениным (1676–1750) при Опонецком заводе в Петрозаводске для обучения «дворянских и солдатских детей металлургии и инженерному делу».

В 1770 г в Берг-коллегию поступила челобитная группы пермских рудопромышленников с предложением учредить в столице специализированное горнотехническое учебное заведение. Через несколько месяцев она была доставлена президенту Берг-коллегии Михаилу Симонову (1730–1804), видному деятелю русского горного дела. обстоятельно изучив вопрос об организации высшего горнотехнического образования, 29 ноября 1772 г. он направил свое «доношение» в Сенат. К «доношению» был приложен «План об учреждении при Берг-коллегии Горного училища». После двукратного обсуждения этого вопроса Сенат представил свой доклад императрице Екатерине II, которая 21 октября 1773 г. его одобрила. Первым директором Горного училища был назначен тайный советник Федор Симонов с сохранением при этом за ним и должности президента Берг-коллегии.

Торжественное открытие Горного училища состоялось 28 июня 1774 г. Для получения слушателями устойчивых практических навыков в горнозаводском деле были оснащены современным оборудованием химическая и механическая лаборатории, построены плавильные печи и рудопромышленные верстаки. Во дворе училища был сооружен учебный рудник, дающий полное представление о специфике подземных горных работ. В 1775 г была создана собственная типография, в которой печатали методические материалы по учебным дисциплинам. В 1777 г на базе минералогического кабинета «российских и иностранных минеральных и ископаемых тел» был создан Горный музей, вскоре ставший гордостью не только училища, но и всей российской столицы.

1 января 1804 г император Александр I утвердил новый Устав для Горного училища, и с того дня учебное заведение стало именоваться Горным кадетским корпусом. Популярность Петербургского горнотехнического учебного заведения в обществе неуклонно росла, и если в 1816 г там обучались 335 слушателей, то 1824 г. их насчитывалось уже свыше 500 человек.

Важнейшее значение в истории развития горного дела и образования России приобрело создание и успешная научная, практическая и просветительская деятельность на протяжении почти двух столетий «Горного журнала», по праву ставшего основным научным и практическим пособием для многих поколений горных инженеров. Начало основанию журнала положила «Докладная записка, поднесенная на Высочайшее благоусмотрение г. Министром Финансов, о составлении Ученого Комитета по Горной и Соляной части, и об издании Горного Журнала», подготовленная директором Горного кадетского корпуса генерал-лейтенантом Е. В. Карнеевым и подписанная Министром финансов генерал-лейтенантом Е. Ф. Канкриным. Документ

был подан Александру I 28 февраля 1825 г. и практически сразу одобрен императором.

Датой рождения «Горного журнала» считается 1 июля 1825 г. – день выхода из печати первого номера. С первого дня своей деятельности издатели «Горного журнала» определили четкую направленность его содержания – отражение сведений о развитии горного дела и горных наук. Руководили изданием «Горного журнала» представители учрежденного при Горном кадетском корпусе Ученого комитета по горной и соляной части, причем на каждый раздел полагался свой редактор (издатель) [6].

В течение всего XIX в. в России горное дело совершенствовалось и развивалось с появлением новых месторождений полезных ископаемых и новых знаний по их разработке. Шаг за шагом «Горный журнал» не только детально освещал историю развития горнодобывающей промышленности России, но и многочисленными публикациями своих авторов участвовал и направлял развитие горного дела.

Значение «Горного журнала» трудно переоценить. Вплоть до конца XIX в. он был единственным отечественным изданием, являющимся для российского горного инженера источником сведений о положении техники на отечественных горных промыслах и заводах, а также об успехах естественных и технических наук за рубежом. На страницах журнала освещались проблемы горного дела, включая добычу руд черных и цветных металлов, угля, торфа, нефти, а также рассматривались направления развития геологоразведочных работ, обогащения полезных ископаемых и металлургического передела [7].

Так, например, уже в первых номерах «Горного журнала» появляются жизнеописания выдающихся российских исторических деятелей в области горного дела и образования: «Генерал-Лейтенанта Виллима Ивановича Генина, Основателя Российских Горных Заводов» (Горный журнал. 1826. Кн. 1–4), «Жизнеописание Тайного Советника Василия Никитича Татищева, бывшего Советника Берг-Коллегии и Начальника всех Сибирских Горных заводов» (Горный журнал. 1828. Кн. 1–3) и др. В «Горном журнале» за 1828 г., Кн. 2 размещен материал «Об огненном явлении в Бакинской Провинции» А. Дейхмана [с. 154], который вполне можно отнести к первому упоминанию о бакинской нефти. А с 1886 г. по 1895 г. включительно в разделе «Нефтяное дело» представлен уже цикл статей по углеводородной тематике. В их числе: «Происхождение, нахождение и добыча нефти и других ископаемых углеводородов», «Физические и химические свойства нефти и других ископаемых углеводородов»; «Переработка нефти и других ископаемых углеводородов и исследования получаемых из них продуктов»; «Различные применения нефти и других ископаемых углеводородов».

В 1926 г. на страницах «Горного журнала» № 12 обсуждается проблема добычи природного газа и необходимость строительства газозлектрических станций в СССР. Председателем редколлегии «Горного журнала» в 1927 г. становится ректор Московской горной академии И. М. Губкин, который в рамках горного дела активно развивает и нефтегазовое направление, выделившееся впоследствии в самостоятельную отрасль народного хозяйства. «Горный журнал» на протяжении многих лет освещает проблемы нефти и газа на своих страницах.

Также на страницах журнала постоянно находит отражение развитие высшего горного образования. В «Горном журнале» № 11–12 за 1937 г. опубликована статья инженера Г. Д. Весмана (Комитет по делам высшей школы) «Потребность в горных инженерах и их подготовка», в которой отмечено, что подготовка горных инженеров осуществляется уже в 22 институтах. К 1 октября 1929 г. в СССР насчитывалось всего 3200 горных инженеров. В 1930–1934 гг. их выпуск

составил 7600 человек, а в 1935–1936 гг. было подготовлено 7200 выпускников по 15 специальностям (в том числе «Нефтепромышленное дело» и «Геологическая съемка и поиски»). Ежегодно молодых специалистов распределяли на сотни горнодобывающих предприятий. Таким образом, потребность предприятий в квалифицированных кадрах полностью была удовлетворена. «Горный журнал» и сегодня является поистине национальным достоянием России, настоящим информационным центром, проводником современных технологий и инновационных решений в горном деле как в нашей стране, так и за ее пределами.

1 января 1834 г. указом императора Николая I российское горное ведомство было преобразовано в Корпус горных инженеров. В 1883 г. учебное заведение получило наименование «Институт Корпуса горных инженеров», а в 1886 г. было переименовано в Горный институт, в котором было положено начало обучению нефтяному делу, для чего удалось привлечь к преподаванию известных в то время ученых и специалистов. Так, кафедрой химии вплоть до 1850 г. руководил академик Герман Гесс (1802–1850), один из первых исследователей кавказской нефти. Среди выпускников института 1851 г. следует отметить видного деятеля российского горного дела Геннадия Романовского (1830–1906), пионера машинного бурения скважин в России, исследователя нефтяных месторождений Поволжья и Кубани, автора книги «О горном масле вообще и о североамериканском петроле в особенности» (1866), в которой он прозорливо предсказал большое нефтяное будущее Тимано-Печорской провинции.

Выпускник института 1856 г. Конон Лисенко (1836–1903), ставший в 1867 г. профессором Горного института, вошел в историю российской науки не только как талантливый нефтехимик, но и как автор монографии «Нефтяное производство, составленное по новейшим данным» (1878), по существу, ставшей первым отечественным учебником по нефтяному делу. Среди выпускников Горного института, также можно выделить академиков В. А. Обручева и И. М. Губкина, и многих других выдающихся деятелей науки и промышленности. В России был организован еще ряд учебных заведений. К началу 1917 г. высшая школа объединяла 11 университетов и 40 школ университетского типа. Вторым в России учебным заведением горного профиля стало открытое в 1899 г. Екатеринославское высшее горное училище. В 1901 г. в Томском технологическом институте был организован горный факультет. В 1907 г. открыт Донской политехнический институт (ныне Новочеркасский политехнический институт им. С. Орджоникидзе).

Одним из первых исследователей научных основ горного дела в России был М. В. Ломоносов. Первые знания о горнорудной промышленности М. В. Ломоносов получил в Германии. Наиболее активная деятельность ученого в области горного дела началась лишь спустя два десятка лет после его возвращения на родину. В научных трудах Михаил Васильевич изложил свои взгляды на строение земной коры, происхождение горных пород и встречающихся в них окаменелостей и полезных ископаемых, на образование гор, причины перемещения суши и моря и т. д. Ученый утверждал, что останки вымерших животных встречаются там, где жили эти животные [8, 9]. Он первым предположил, что животные и растения далеких геологических эпох участвовали в образовании некоторых слоев земли, например пластов каменного угля. Ломоносов доказывал, что ископаемый уголь, подобно торфу, образовался из растительных остатков, покрытых впоследствии пластами горных пород. Необходимо отметить, что М. В. Ломоносов впервые указал на образование нефти из остатков организмов.

После 70-х годов XIX в. была начата повсеместная промышленная добыча нефти в Российской Империи и за рубежом с одновременным

развитием исследований в области нефтяного дела [2, 3, 10]. Огромную роль в обширных исследованиях по оценке и разведке ресурсов углеводородов переработки нефти сыграли блестящие изыскания российских ученых и специалистов-геологов, инженеров нефтяного дела, химиков и технологов: Д. Голубятникова, Д. Менделеева, А. Бутлерова, Ф. Бейльштейна, К. Райхенбаха, К. Шорлеммера, К. Энглера, В. Марковникова, В. Оглобина, Ю. Лермонтовой, К. Лисенко, А. Летнего, А. Никифорова, В. Шухова, С. Квитко, В. Бартона, Л. Гурвича и других.

Наряду с разведкой и разработкой месторождений на суше изучались и возможности поисков морских нефтяных месторождений, их эксплуатации. В конце XIX в. русские ученые и инженеры вели проектные работы по добыче нефти с неглубоких участков моря с помощью буровых площадок.

В 1859–1861 гг. Абиш Герман Вильгельм посетил районы Бакинского и Апшеронского архипелагов. Он впервые составил схему расположения подводных камней в этом регионе и отметил здесь выделение углеводородных газов, составил первую геологическую карту Апшеронского полуострова, которая долгое время служила основой для проведения на полуострове геолого-поисковых работ на нефть и газ.

Первым разведчиком морских нефтяных месторождений был ученый-геолог Д. В. Голубятников. После окончания Петербургского горного института он с 1900 г. работал в Геологическом комитете России в Санкт-Петербурге. С 1903 г. на протяжении многих лет занимался исследованием Апшеронского полуострова и его нефтяных месторождений. Д. В. Голубятников, исследовав 327 скважин на нефтяных промыслах Апшерона, особенности нефтеносных пластов, химический состав нефти, ее физические свойства и особенности, создал целую науку о геологии нефти. Широкие геологические исследования, проведенные Д. В. Голубятниковым, позволили в 1907 г. охарактеризовать выявленные нефтяные и газовые месторождения.

Большой вклад в развитие нефтедобычи и нефтехимии внес выдающийся российский ученый академик Д. И. Менделеев. Он советовал властям и предпринимателям вести разработку на основе научных данных. «Без светоча науки и с нефтью будут потемки» – это его выражение актуально и сегодня. Ученый тщательно изучал нефтяное дело в России; с целью изучения экономики и состояния технической вооруженности нефтяных промыслов он несколько раз (1863, 1880, 1884 и 1886 гг.) приезжал в Баку. Дмитрий Менделеев, проводя исследования по разгону нефти, вносит много предложений по совершенствованию производства керосина. Ученый всегда искал пути для экономического усиления России. В 1906 г. Д. И. Менделеев выдвинул одну из первых в мире геополитических теорий, в которой обосновал особое местоположение России. Он говорил так: «Страна то ведь наша особая, стоящая между молотом Европы и наковальной Азии, долженствующая, так или иначе, их сблизить».

Начало промышленному использованию нефти было положено после изобретения крекинг-процесса. Впервые разработанные Владимиром Шуковым (1891 г.) основы термического крекинг-процесса дали возможность превращать высокомолекулярные углеводороды в низкомолекулярные, а уже после детального изучения особенностей крекинг-процесса около половины добываемой нефти перерабатывали в бензиновые фракции. Позже крекинг-процесс был дополнен созданием способа каталитического гидрирования насыщенных углеводородов, образующихся при расщеплении нефти. Имя Владимира Григорьевича Шухова (1853–1939) неразрывно связано с нефтяным делом, присмотревшись к которому, он приступил к решению ряда важнейших технических задач, касающихся хранения, транспортирования, перегонки и сжигания нефти. Ученый создал десятки

конструкций отличавшихся смелостью решения, новизной, практичностью: форсунку для сжигания мазута, процесс зрлифта, нефтепроводы, нефтеранилища, газгольдеры, нефтеналивные баржи, нефтеналивные цистерны, установки для термического крекинга и пиролиза нефти, паровые котлы, инерционный поршневой и шнуровой насосы, мосты, сетчатые и арочные перекрытия, гиперболические башни и множество других изобретений [11, 12].

Огромная роль в развитии нефтяной и газовой промышленности России в советское время принадлежит академику Ивану Михайловичу Губкину – основателю нефтегазовой геологической науки и образования, который обобщил опыт исследования в области происхождения нефти и условия формирования нефтяных месторождений [9, 13].

Развитие фундаментальных основ прогнозирования нефтегазоносности недр на современном этапе связано с именами блестящих исследователей, российских ученых-геологов А. А. Бакирова, Н. Б. Вассоевича, Э. М. Галимова, А. Н. Дмитриевского, А. Э. Конторовича, Б. А. Соколова, Н. А. Кудрявцева, П. Н. Кропоткина, В. Б. Порфирьева и др. [14, 15]. Фундаментальный базис прогнозирования, поисков и разведки месторождений углеводородов основывался на лучших достижениях биогенной (И. М. Губкин, А. А. Бакиров, Н. Б. Вассоевич, Э. М. Галимов, А. Э. Конторович, Б. А. Соколов и др.), а также абиогенной (Н. А. Кудрявцев, П. Н. Кропоткин, В. Б. Порфирьев и др.) гипотезах. В настоящее время существует необходимость совершенствования этих гипотез, что даст возможность выйти на новый уровень научных обобщений и расширить прогностическую базу теоретических построений с целью создания инновационных технологий поисков и разведки углеводородов. Первая мировая и Гражданская войны способствовали значительному снижению добычи нефти в России. Потребовались большие усилия для восстановления и развития отечественной нефтяной промышленности. 20 июня 1918 г. был подписан Декрет Совета Народных Комиссаров «О национализации нефтяной промышленности». Перед молодым советским правительством стояла задача удвоения и утроения добычи топлива, для чего необходимо было обеспечить нефтяную промышленность высококвалифицированными специалистами и научными кадрами в области нефтяного дела и горного хозяйства.

4 сентября 1918 г. под председательством А. И. Рыкова состоялось заседание Совнаркома, где рассматривали вопрос о создании Московской горной академии (МГА). Торжественное открытие МГА состоялось 12 января 1919 г. [16]. Со вступительной речью выступил известный геолог и писатель академик В. А. Обручев.

Специалистов в Академии готовили на трех отделениях: геологоразведочном, горно-рудничном и металлургическом. Таким образом, специализированное высшее нефтяное образование в комплексе с широкомасштабными научными исследованиями возникло в недрах учебного заведения горного профиля – Московской горной академии [17].

В Московской горной академии работали известные ученые-геологи и крупные специалисты науки и горной промышленности: А. Е. Ферсман, А. Д. Архангельский, Д. В. Голубятников, Л. С. Лейбензон, Г. Ф. Мирчинк, П. Н. Марков, В. А. Обручев, Н. С. Шатский и другие, которые внесли огромный вклад в создании основ нефтяного образования в России.

В 1922 г. ректором МГА был назначен И. М. Губкин. Первые защиты дипломных проектов состоялись в 1923 г. На геологоразведочном отделении МГА имелись следующие специальности: инженерно-разведочная по угольным и рудно-пластовым

месторождениям; инженерно-разведочная по нефтяным месторождениям; гидрогеологическая.

На горно-рудничном отделении были специальности: рудно-пластовая – для обслуживания эксплуатации угольных и рудных месторождений, нефтяная – для подготовки специалистов по эксплуатации нефтяных месторождений и переработки нефти; механическая – для обучения горных механиков, ведающих горными механическими установками и машинами; торфяная – для подготовки инженеров-специалистов по технике торфяного дела.

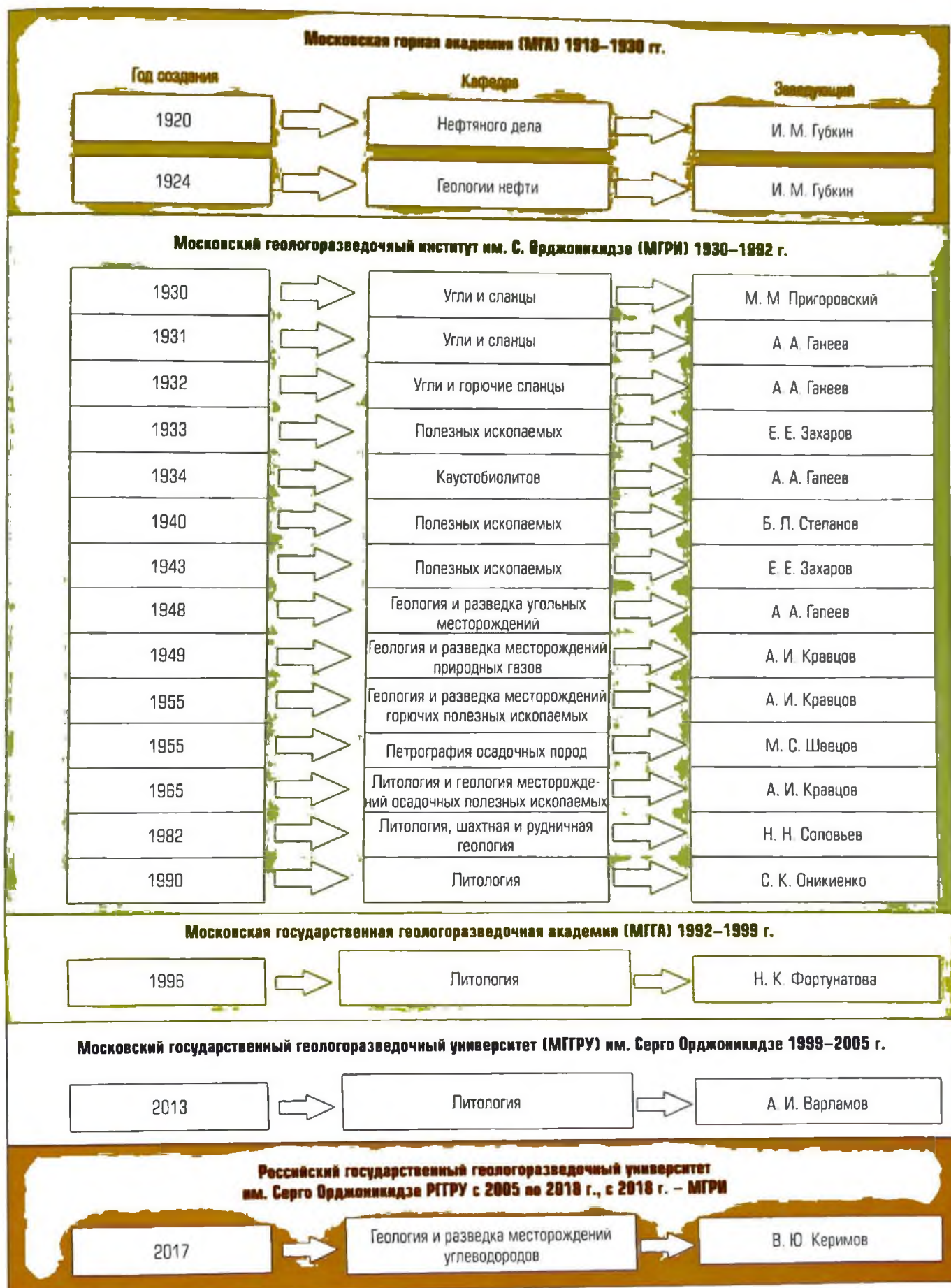
Опыт преподавания в МГА с 3-летним курсом обучения показал невозможность получения законченного, хотя бы и специализированного образования в такой короткий срок. Начиная с 1921–1922 гг. был введен 4-летний курс преподавания. В это время в академии возникает ряд новых кабинетов – нефтяного дела, геологии угля, золота и платины, химическая и физическая лаборатории и ряд других.

Биография Ивана Михайловича Губкина самым тесным образом связана с нефтью и образованием. В 1910 г. И. М. Губкин с отличием окончил Горный институт, получил диплом горного инженера, был принят на работу в Геологический комитет (Геолком). Работал в Майкопском нефтеносном районе, ездил в Баку для изучения геологии и нефтеносности Алшеронского полуострова. В 1915 г. ему присвоили звание старшего геолога Геолкома. Летом 1917 г. его направили в научную командировку в Соединенные Штаты Америки для ознакомления с опытом американской горной и нефтяной промышленности. Для Геолкома И. М. Губкин приобрел в США библиотеку по нефтяному делу, геологические карты, коллекции горных пород.

Необходимо отметить, что на формирование направлений подготовки специалистов значительное влияние оказывало характерное для 1920-х годов открытое соперничество нефти и угля, факт которого отмечен в литературе того времени. В первые годы НЭПа, когда часть потребителей могла выбирать вид топлива, предпочтение отдавали нефти. Темпы прироста ее добычи были выше, чем у угля. Затем советское руководство надолго отдало приоритет углю. В СССР восторжествовала точка зрения, что нефть надо всячески беречь, повсеместно заменять ее углем [18]. Донецкий уголь вытеснил нефтетопливо из районов, куда последнее доставляли десятилетиями. Ряд ведущих советских экономистов-энергетиков придерживались мнения, будто в ближайшее время нефтяные ресурсы всех стран мира, кроме СССР, окажутся исчерпанными, а Советский Союз превратится в главного, если не единственного, мирового экспортера нефти, что сулит не только экономические преимущества, но и огромные политические дивиденды.

И. М. Губкин считал, что подготовку кадров нефтяного профиля с обязательными элементами научного исследования следует сосредоточить в одном вузе. В конечном счете в Московской горной академии был создан самостоятельный нефтяной факультет с тремя отделениями: геология и разведка; промысловое дело; переработка нефти. В дальнейшем на базе отдельных факультетов МГА было организовано шесть самостоятельных отраслевых институтов: Горный институт (МГИ); Геологоразведочный институт (МГРИ); Институт черной металлургии (МИСиС); Институт цветной металлургии и золота (МИЦМиЗ); Торфяной институт (МТИ); Нефтяной институт (МНИ) [19]. Академик И. М. Губкин был назначен ректором нефтяного института. Заслуги этого незаурядного ученого перед советским государством были настолько велики, что Правительство СССР пошло на беспрецедентный шаг – институту было присвоено имя академика И. М. Губкина.

Несмотря на то, что после реорганизации Московской горной академии ведущую роль в подготовке специалистов для нефтяной



Основные этапы создания и преобразования кафедры геологии и разведки месторождений углеводородов Российского государственного геологоразведочного университета им. Серго Орджоникидзе (МГРИ)

промышленности в большей степени отдавали Нефтяному институту. МГРИ удалось сохранить как в образовательном процессе, так и в научно-исследовательской деятельности направления подготовки специалистов по изучению, поиску, разведке и разработке месторождений неметаллических и горючих полезных ископаемых, каустобиолитов, углей и сланцев, нефти и газа.

История современной кафедры геологии и разведки месторождений углеводородов МГРИ начинается с того момента, когда сто лет тому назад на горном факультете Московской горной академии была создана кафедра нефтяного дела, пожившая начало формированию и развитию в нашей стране системы образования и профессиональной подготовки специалистов для угольной и нефтяной отраслей.

В 1924 г. кафедру нефтяного дела переименовывают в кафедру геологии нефти. Впоследствии в академии были созданы кафедры разведки, бурения и эксплуатации, химии и технологии нефти, а в 1929 г. нефтяной факультет с отделениями: геология и разведка; промысловое дело, переработка нефти.

1 апреля 1930 г. приказом ВСНХ СССР № 1238 Московская горная академия была расформирована, а на ее основе создано шесть новых автономных институтов, в числе которых Московский геологоразведочный институт (МГРИ) (см. рисунок).

За прошедшие годы кафедра нефтяного дела преобразовывалась, делилась, объединялась и укрупнялась до создания самостоятельных учебных и научно-исследовательских подразделений, меняла преподавательский состав, места расположения и вывески, формы и методы преподавания, но никогда не изменяла своей цели и источников, имя которым — **УГОЛЬ! НЕФТЬ! ГАЗ!**

В 2017 г. в соответствии с решением Ученого совета Российского государственного геологоразведочного университета им. Серго Орджоникидзе (МГРИ) была образована кафедра геологии и разведки месторождений углеводородов. Кафедру возглавил доктор геолого-минералогических наук, профессор, академик РАЕН, заслуженный геолог РФ В. Ю. Керимов.

Кафедра «Геология и разведка месторождений углеводородов» МГРИ им. Серго Орджоникидзе, являясь правопреемником созданной в 1920 г. в Московской горной академии академиком И. М. Губкиным кафедры нефтяного дела, сегодня стала одним из ведущих центров нефтегазовой науки и образования России. Основной целью является подготовка высококвалифицированных специалистов-геологов, магистров, бакалавров для топливно-энергетического комплекса и нефтегазовой геологической науки России и зарубежных стран. На кафедре проводятся фундаментальные и прикладные научно-исследовательские работы по совершенствованию теории и практики нефтегазовой геологической науки, изучению геологического строения и закономерностей размещения скоплений углеводородов в недрах России и зарубежных стран, оценке перспектив нефтегазоносности и ресурсного потенциала осадочных бассейнов [20–28].

Результаты научных исследований последних лет могут ускорить реализацию приоритетов, определенных «Стратегией научно-технологического развития Российской Федерации» и обеспечивающих повышение эффективности добычи и глубокой переработки углеводородного сырья, формирование новых источников энергии и разработки эффективной системы пользования недрами.

Библиографический список

- Джигаров Ф. К., Бакиров А. Р. Об истории нефтегазового дела в России — СССР // ГИАБ. 2011. Отдельный выпуск 4. Электрификация и энергоэффективность. С. 280–287.
- Лисичкин С. М. Очерки по истории развития отечественной нефтяной промышленности. Дореволюционный период. — М.: Л. Гостехиздат, 1954. — 404 с.
- Лисичкин С. М. Очерки развития нефтедобывающей промышленности СССР. — М.: Изд-во АН СССР, 1958. — 428 с.
- Серикова У. С. Становление и развитие нефтегазового комплекса Каспийского региона. — М.: ИД Недра, 2015. — 246 с.
- Филимонова И. В., Немов В. Ю., Проворная И. В. Нефтегазовый комплекс России — 2019. — Новосибирск: ИНИГ СО РАН, 2020. — 90 с.
- Белоглазов И. Н., Кен Н. А., Воробьев А. Г. На пользу Отечеству. — М.: ИД «Руда и Металлы», 2000. — 152 с.
- Пучков Л. А., Воробьев А. Г., Федина О. В. «Горный журнал» и развитие горного дела в России // Горный журнал. 2015. № 7. С. 5–12. DOI: 10.17580/gzh.2015.07.01
- Мальцев Н. А., Игrevский В. И., Вадецкий Ю. В. Нефтяная промышленность России в послевоенные годы. — М.: ВНИИОЭНГ, 1996. — 307 с.
- История нефтяной и газовой промышленности России (регионально-отраслевой аспект). учеб. пособие / под ред. В. В. Калинова. — 3-е изд., доп. — М., 2012. — 232 с.
- Иголкин А., Горжолан Ю. Русская нефть, о которой мы так мало знаем. — М.: Олимп-Бизнес, 2003. Кн. 1. — 187 с.
- Лисичкин С. М. Очерки развития нефтедобывающей промышленности СССР. — М.: Изд-во Академии наук СССР, 1958. — 438 с.
- Матвеевич А. А. У истоков нефтяной промышленности России. — М.: Известия, 2000. — 232 с.
- Российский государственный университет нефти и газа им. И. М. Губкина / под ред. А. И. Владимировой, В. Н. Виноградова. — М.: Изд-во «Нефть и газ» РГУ нефти и газа им. И. М. Губкина, 2005.
- Дмитриевский А. Н., Каракин А. В., Балажук И. Е. Концепция флюидного режима в верхней коре (гипотеза карового волновода) // Доклады Академии наук. 2000. Т. 374. № 4. С. 534–536.
- Дмитриевский А. Н., Володин И. А. Формирование и динамика энергоактивных зон в геологической среде // Доклады Академии наук. 2006. Т. 411. № 3. С. 395–399.
- Московская горная академия. 10 лет. — М.: Изд-во Московской горной академии, 1929. — 115 с.
- Иванов О. А. История Московской горной академии. — М.: Горная книга, 2016. — 320 с.
- Народное хозяйство СССР в 1958 г. Статистический ежегодник. — М.: Государственное статистическое изд-во, 1959. — 960 с.
- Гольдман Е. Л., Полежаев П. В., Садовский Г. И., Цейслер В. М., Швец В. М. МГРИ–РГГРУ. История. Люди: 90 лет МГА–РГГРУ. — М.: КДУ, 2008. — 294 с.
- Керимов В. Ю., Рачинский М. З. Геофлюидодинамическая концепция аккумуляции углеводородов в природных резервуарах // Доклады Академии наук. 2016. Т. 471. № 2. С. 187–190.
- Осипов А., Керимов В., Мустаев Р. Особенности генерации углеводородов на больших глубинах земной коры // Доклады Академии наук. 2018. Т. 483. № 3. С. 296–300.
- Гулиев И. С., Керимов В. Ю., Осипов А. В., Мустаев Р. Н. Генерация и аккумуляция углеводородов в условиях больших глубин земной коры // SOCAR Proceedings. 2017. № 1. С. 4–16.
- Rachinsky M. Z., Kerimov V. Y. Fluid Dynamics of Oil and Gas Reservoirs. — New Jersey: Wiley, 2015. — 617 p.
- Kerimov V., Rachinsky M., Mustaev R., Serikova U. Geothermal conditions of hydrocarbon formation in the South Caspian basin // Iranian Journal of Earth Sciences. 2018. Vol. 10. No. 1. P. 78–89.
- Гулиев И. С., Керимов В. Ю. Сверхглубокие углеводородные системы и технологии их прогноза // Теоретические основы и технологии поисков и разведки нефти и газа. 2012. № 1(1). С. 24–32.
- Гулиев И. С., Керимов В. Ю., Осипов А. В. Углеводородный потенциал больших глубин // Нефть, газ и бизнес. 2011. № 5. С. 9–16.
- Керимов В. Ю., Серикова У. С., Мустаев Р. Н., Гулиев И. С. Нефтегазоносность глубоко-залегающих отложений Южно-Каспийской впадины // Нефтяное хозяйство. 2014. № 5. С. 50–54.
- Керимов В. Ю., Рачинский М. З. Геофлюидодинамика нефтегазоносности подвижных поясов. — М.: Недра, 2011. — 599 с.

От редакции. В 2020 г. представители «Горного журнала» познакомились с заслуженным художником Российской Федерации, скульптором Константином Родиславовичем Чернявским.

Значительная часть его творчества связана с военной тематикой, историей России и Православия. Фото одной из его работ представлено на обложке этого номера.

Редакция «Горного журнала» попросила Константина Родиславовича ответить на несколько вопросов о его творчестве. Текст интервью публикуется ниже.



Чернявский Константин Родиславович — заслуженный художник Российской Федерации, скульптор — родом из донских казаков, родился в Ростове-на-Дону в 1959 г.

Член Московского Союза художников, почетный член Ростовского областного отделения Всероссийской творческой общественной организации «Союз художников России».

В 1976 г. поступил в Ростовский государственный педагогический институт на художественно-графический факультет, а в 1983 г. окончил Московский государственный художественный институт им. В. И. Сурикова, факультет скульптуры.

С 1977 г. участник областных, московских, республиканских, всесоюзных и зарубежных выставок, выставлялся в Московской (персональная) и Государственной Думах, Совете Федерации (персональная) и дважды в Кремле (один раз персональная, второй — на выставке Гильдии оружейников).

Основные темы творчества — казачество в истории и современности, герои Древней Руси, Российской Империи, Советского Союза и России, подвижники Православия, скульптурные портреты известных людей прошлого и современников.

50 монументальных работ установлены в 42 городах и станицах России, в том числе на Дону. Станковые работы находятся в музеях и частных коллекциях в России и за рубежом. Действует постоянная персональная выставка в Южно-Российском государственном политехническом университете им. М. И. Платова.

Имеет государственные, ведомственные, общественные награды, а также награды Русской Православной Церкви.

Разработал ряд проектов монументальных произведений, посвященных истории казачества и его героям. Живет и работает в Москве.

ИНТЕРВЬЮ С ЗАСЛУЖЕННЫМ ХУДОЖНИКОМ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ, СКУЛЬПТОРОМ К. Р. ЧЕРНЯВСКИМ

«Горный журнал» (далее — «ГЖ»): Расскажите, пожалуйста, немного о себе: где Вы родились, что оканчивали, почему выбрали именно этот вид творчества?

К. Чернявский (далее — К. Ч.): Судьбу и будущую деятельность определяет, конечно же, семья и место рождения. Я родился в Ростове-на-Дону, на казачьей земле, в семье, где царили любовь, уважение и трудолюбие. Бабушкины сказки и песни, рассказы отца о погибшем в Великую Отечественную войну дедушке — полном Георгиевском кавалере, поездки в родной хутор, на Дон, конечно, сильно повлияли на меня. Бабушка, увидев, что я не выпускаю из рук пластилин, купила мне маленький столик, специально для лепки, а отец, часто уезжая в командировки в разные города, начал лет с десяти брать меня с собой — рано утром приводил меня в какой-нибудь музей, а вечером забирал оттуда. Так я практически жил в музеях Москвы, Ленинграда, Киева, Риги, Таллина и других городов. Самое сильное впечатление было от залов античной скульптуры в Эрмитаже. Там и утвердилось желание стать скульптором.

«ГЖ»: Кто были Ваши учителя, кто оказал влияние на Вас и Ваше творчество? Какова была Ваша первая работа?

К. Ч.: С учителями мне везло. Мой первый учитель заложил и правильное направление в искусстве, и дал основы профессионализма. Мне было 12 лет, когда я поступил в обучение к старейшему художнику Дона Сергею Дмитриевичу Михайлову. Ему было 92 года, и в свое время он преподавал в знаменитой школе Чиненова, где среди учеников были и Е. В. Вучетич, и А. И. Лактионов, и, конечно же, выдающийся скульптор и лучший иллюстратор «Тихого Дона» М. А. Шолохов. Сергей Дмитриевич рассказывал о дружбе с ним, показывал его подлинные рисунки и даже подарил мне стек (инструмент для работы) Королькова.

После смерти Сергея Дмитриевича я занимался практически во всех художественных студиях города Ростова, на художграфическом пединститута, в училище им. Грекова, в РИСИ на архитектурном факультете, у многих художников и скульпторов. Особенно памятны мне В. М. Клёнов, И. И. Резниченко, В. И. Бегма, В. Н. Романенко, В. И. Шило, супруги Е. Ф. и Б. Ф. Лапко, В. Г. Беляков, Н. В. Аведиков и, конечно же, ведущий скульптор Ростова Анатолий Андреевич Скнарин.



Памятник «Защитнику Отечества от благодарных потомков».
Болхов, Орловская обл. 2020 г.

Бронза, гранит

После окончания школы спортивного профиля в 1976 г. я поступил на худграф РГПИ, а через два года перевелся в МГХИ им В. И. Сурикова на факультет скульптуры. Здесь началась уже другая жизнь — сугубо профессиональное обучение и постоянное нахождение в культурной жизни столицы. С третьего курса я поступил в мастерскую профессора Л. Е. Кербеля — выдающегося советского скульптора.

«ГЖ»: Ваше творчество очень многопланово. Оно обращено к истории и особенно к истории Казачества. Это русское воинство, современный и исторический портрет, история России и Православия. Какие события являются источником Вашего вдохновения, кто герой Ваших скульптур?

К. Ч.: Уже на третьем курсе института я определился с основной темой — Казачество. И хотя в те годы эта тема не приветствовалась, если не сказать запрещалась, я смог пронести ее через все годы обучения, и дипломной работой стала скульптура «Возвращение казака с фронта» — первая дипломная работа в Суриковском институте, посвященная Казачеству.

Поначалу меня интересовал собирательный образ казака — его свободолюбие, бесстрашие, решимость постоять за «други своя» и т. п., и, конечно же, верный друг казака — «душа добрый конь». Приезжая на каникулы на родину, я пропадал в донских музеях, библиотеках, лепил с натуры коней, казаков и казачек. И все больше образ казака конкретизировался, воплощался в его героях — атамане М. И. Платове, Степане Разине, генерале Я. П. Бакланове и многих, многих других...

И я стал стремиться в творчестве не «самовыразиться», не «показать себя», а как можно более достойно показать, что это было за явление — Казачество, которое проявило себя и в военном деле (их воинскому искусству завидовал сам Наполеон), и в государственном строительстве, науке, философии, искусстве и т. д.



Бюст легендарного оружейника М. Т. Калашникова с его личной подписью. 2000 г.
Гипс

В каждом из этих направлений десятки выдающихся представителей Казачества. Поэтому в источнике вдохновения, в поисках героев для воплощения в скульптуре нет недостатка, а есть тревога, что жизни не хватит, чтобы хоть слегка воссоздать подлинный образ Казачества.

«ГЖ»: В Вашем творчестве отражена тема Великой Отечественной войны. С чем это связано?

К. Ч.: Думаю, что эта тема близка каждой семье нашей Родины, потому что вся наша страна, как один человек, поднялась на борьбу с фашистской заразой. Так и в моей семье один родной дедушка прошел всю войну, служа в артиллерии, был контужен, другой погиб в 1942 г. при обороне Керчи, родной дядя от солдата дослужился до командира разведроты, мой крестный штурмовал Берлин, двоюродные дедушки — один погиб на Миус-фронте, второй чудом выжил в концлагере Дахау, другие вернулись с войны израненные, с наградами, но живые...

Один дедушка моей жены служил у маршала П. С. Рыбалко, тоже дошел до Берлина, другой воевал в партизанах...

Поэтому любовь и уважение к ним и многим, многим другим советским воинам порождают желание увековечить их подвиг, их самоотверженность в произведениях скульптуры.

«ГЖ»: Диапазон Ваших работ очень широкий — от миниатюрных до монументальных скульптур. Каждая из них отличается особой достоверностью, точной проработкой образов и деталей. Какие особые качества, знания и навыки нужны для этого скульптору?

К. Ч.: Если в институте преподаватели в шутку задавали мне вопрос: «ты что, историк?», когда я, увлекшись, начинал им рассказывать о событиях на Дону в 1670-х годах или о казачьих подвигах в войне с Наполеоном, то сейчас они с таким же правом могли спросить: «ты что, оружейник, шорник, геральдист, кузнец, литературовед, специалист по обмундированию, металлург, формовщик, анатом, ипполог, фольклорист и т. д.?». Потому что всё это должен знать и во всё это вникать скульптор, если он хочет достоверно и одновременно художественно показать в скульптуре



Памятник донскому атаману М. И. Платову в Москве. 2013 г.
Бронза, гранит

какое-либо событие или героя, тем более скульптор, взявшийся за тему героев России и Казачества. И не важно: миниатюрная это скульптура, которую увидят несколько человек в мастерской или монументальное произведение, которое будет стоять на обозрении тысяч людей на протяжении многих лет. Но в первую очередь нужны конечно же профессиональные знания, которые приобретаются с годами обучения сначала в учебных заведениях, потом бок о бок с мастерами скульптуры, затем в самостоятельной работе. Я начал сознательно обучаться профессии в 12 лет и учусь до сих пор. Древние говорили, что мастерство достигается при наличии одного процента таланта и девяносто девяти процентах труда.

«ГЖ»: Почему Вы работаете именно с бронзой и чем это обосновано?

К. Ч.: Мне более близка бронза. Это можно объяснить и чисто внешне — невозможно без дополнительных подпорок вырубить в камне скачущего казака, а можно дать и более глубинное объяснение — на уровне таинства. Чтобы воплотиться в бронзе, скульптура проходит несколько этапов, каждый из которых требует непосредственного участия самого автора: лепка в мягком материале (глина, пластилин), формовка и отливка в гипсе или воске и, наконец, литье в бронзу. Старые мастера поэтически характеризовали этот процесс так: «Лепка в глине — это жизнь» (глина, как живая — сходна с плотью человека, за ней надо ухаживать, поливать, укрывать). Скульптор Голубкина вообще говорила, что «топтать глину все равно, что топтать цветы», перевод в гипс — это смерть (работа в глине утрачивается), в бронзе — это новая жизнь, возрождение! Создание бронзы из трех металлов — меди, цинка, олова, плавка, залив расплавленного металла в огнеупорные формы завораживают любого зрителя. А расколачивание остывших форм, когда из бесформенной формы начинает появляться произведение в бронзе? А последующая обработка — сварка, зачистка, прочеканка и, наконец, апофеоз работы — тонировка? Все это заставляет захватывать дух даже у самого искушенного



Проект памятника «Дон наш Батюшка». 2019 г.
Искусственный камень

мастера! Не зря знаменитый мастер Возрождения Бенвенуто Челлини дерзновенно уподоблял работу скульптора работе Бога — Господь Бог вылепил первого человека из глины.

«ГЖ»: Памятники, созданные Вами, установлены почти в сорока городах и станицах России. Могли бы Вы назвать те, которые наиболее Вам дороги?

К. Ч.: Если быть точным — на данный момент установлены 57 монументальных работ в 47 городах России и зарубежья, можно даже сказать на четырех частях света — в Европе, Азии, Америке и Австралии.

Невозможно сказать, какие памятники наиболее дороги. Так сложилось, что каждая скульптура — это как ребенок: возникает мысленный образ, рождается как эскиз, растет в мягком материале и, наконец, возникает в окончательном виде и размере. То есть создание любого произведения — это развитие судьбы на твоих глазах. И часто бывает, что после этого, отойдя от родителя — автора, начинает жить уже своей жизнью. Так произошло с памятниками Святым Петру и Февронии Муромским — они вдохновляют молодых людей на супружество и становятся городской достопримечательностью. Возле памятников атаману М. И. Платову собираются казаки, кадеты и ветераны, Торжественно отмечают казачьи и российские праздники. А памятник «Воинам и их женам...», посвященный подвигу подольских курсантов и установленный на месте их боя, создал вообще необычную традицию: плечи жены лейтенанта А. И. Алешкина зимой покрывают пуховым платком, а летом «синеньким скромным платочком»...

«ГЖ»: Что самое интересное в Вашей работе?

К. Ч.: Как говорится, «охота пуще неволи». Когда любишь свою работу, то в ней все интересно, даже в такой, казалось бы, чисто технической части, как создание каркаса для будущего произведения, находишь интересное. Мне интересно делать своими руками инструмент для лепки — стеки, делать эскизы, обдумывать будущий образ, подготавливать место для работы, облепливать



Святые Петр и Феврония Муромские. Самара. 2011 г.
Бронза

глиной каркас, находить большую форму и внутренний характер произведения, прорабатывать детали и т. д., и, конечно же, наблюдать первую реакцию зрителей, когда на открытии покрывало слетает со скульптуры.

«ГЖ»: Чей скульптурный образ Вам хотелось бы создать?

К. Ч.: Пространство между желанием создать чей-либо образ и его созданием имеет самые различные формы. Например, у меня в мастерской много уже, казалось бы, созданных образов разных героев, но они пока в небольшом размере, не вышли на улицы и площади городов, поэтому нельзя сказать, что образ окончательно создан. Такие личности, как атаман М. И. Платов и А. С. Пушкин, с детства волновали меня, и наконец они получили свое воплощение, благодаря неравнодушным людям, которые смогли помочь в осуществлении создания этих памятников. А бывает наоборот — я ничего не знал ни о графе Е. Ф. Канкрине,



Памятник «Воинам, погибшим в боях за Родину, и их женам». Село Ильинское, Калужская обл. 2018 г.
Бронза, гранит

ни о сенаторе Е. В. Карнееве*, но узнав, весьма заинтересовался и их деятельностью, и их судьбами, и их характерами, и сразу захотел создать образы этих достойнейших государственных мужей.

«ГЖ»: Какие звания и награды Вы имеете?

К. Ч.: На мой взгляд, главное не награды, а отношение к ним. Отношение не только того, кто получает награду, но прежде всего того, кто вручает. У меня отношение к ним более чем спокойное, хотя и положительное. Все мои награды я отношу, скорее, к признанию тех героев, которых мне посчастливилось создать, чем лично к своим заслугам. Поэтому скажу так: мое творчество отмечено наградами общественных, казачьих и церковных организаций, есть ведомственные награды и, как высшее признание государства и коллег, — звание «Заслуженный художник Российской Федерации». Но особенно памяты мне такие награды, когда на открытии памятника Святым Петру и Февронии во Владивостоке архиепископ Владивостокский и Приморский Вениамин заплясал от восторга, увидев памятник, или когда на открытии памятника атаману М. И. Платову старик-казак со слезами поклонился мне в ноги. 

* Е. Ф. Канкрин — министр финансов в России в 1823–1844 гг., Е. В. Карнеев — директор Департамента горных и соляных дел, директор Горного кадетского корпуса (1824–1834 гг.) — инициатор издания при Горном департаменте «Горного Журнала или собрания сведений о горном и соляном деле, с присовокуплением новых открытий по наукам, к сему предмету относящимся» (1825 г.) — Прим. ред.

ПРОВЕДЕНИЕ БУРОВЗРЫВНЫХ РАБОТ ПРОМЫШЛЕННЫМИ ЭМУЛЬСИОННЫМИ ВЗРЫВАЧАМИ В ПОДЗЕМНЫХ РУДНИКАХ

Компания НАО «НИПИГОРМАШ» предлагает комплекс услуг по проведению подземных буровзрывных работ. В данный комплекс входит:

- применение собственных технологий БВР и взрывных работ.
- парк подземных смесительно-зарядных машин, выполненных на базе собственного шасси, а также на шасси PAUS, Normet.
- предоставление водителей-операторов ПСЗМ
- производство и доставку компонентов для эмульсионных взрывчатых веществ
- нахождение наших инженеров испытателей на объекте на время выполнения работ.

Сегодня компания предоставляет подземные смесительно-зарядные машины МСЗП-4М и доставщики компонентов на различных шасси:

- для заряжания восстающих скважин диаметром 89–102 мм;
- для заряжания горизонтальных шпуров диаметром 35–60 мм;
- для транспортирования исходных компонентов и изготовления из них эмульсионных ВВ в подземных условиях.

Подземные смесительно-зарядные машины грузоподъемностью 4–6 т, технической производительностью до 60 кг/мин позволяют заряжать скважины глубиной до 60 м.

НАО «НИПИГОРМАШ» запатентовало технологию заряжания восстающих скважин с помощью тканевого рукава. Данная технология позволяет заряжать скважины с большим водопритоком, в сильно трещиноватых массивах, а также распределять гидростатическое давление по всей длине заряда. В настоящее время прошли испытания технологии заряжания скважин в подземных рудниках АО «Учалинский ГОК», АО «Кольская ГМК» (дочернем предприятии ПАО «ГМК «Норильский Никель»), ПАО «Гайский ГОК». Компания НАО «НИПИГОРМАШ» после проведения испытаний получила разрешение Ростехнадзора на постоянное применение ЭВВ.

Для заряжания восстающих скважин в подземных условиях НАО «НИПИГОРМАШ» предоставляет собственное ЭВВ марки «НПГМ»: НПГМ-П-II, НПГМ-ХП-III (для рудников, опасных по газу и пыли).

Данная услуга подходит для объектов с различными объемами работ. Также она позволит сэкономить бюджет и снять ряд вопросов связанных с персоналом, оборудованием и техникой.

Но, если необходима организация масштабных подземных буровзрывных работ, НАО «НИПИГОРМАШ» предоставит полный комплекс: модульные линии по производству компонентов ЭВВ, широкую линейку смесительно-зарядных машин для



производства и транспортирования компонентов, а также сами компоненты эмульсионных и патронированных ВВ.

Подробную информацию по услугам подземных горно-шахтных работ на территории России и других стран СНГ можно получить у специалистов нашей компании.



НИПИГОРМАШ

Россия, г. Екатеринбург, ул. Симская, 1;

тел.: + 7 (343) 295-85-07.

Факс: + 7 (343) 256-87-49.

Сервисная служба: +7 (343) 256-87-55

Эл. почта: main@npgm.ru

www.npgm.ru

НОВОЕ ПОКОЛЕНИЕ.

НАДЁЖНОСТЬ.
ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ.
ЭФФЕКТИВНОСТЬ.

ПРЕДСТАВЛЯЕМ CAT® 374

Технологии Cat® — это настоящий квантовый скачок в развитии индустрии. Тяжёлый экскаватор Cat 374 с технологиями нового поколения разработан для длительной надёжной работы и поможет вам зарабатывать больше. Cat 374 — лидер индустрии по снижению затрат на техническое обслуживание.



В 2 РАЗА
УСИЛЕНА
КОНСТРУКЦИЯ

ЗАГРУЖАЕТ ДО 33
40-ТОННЫХ
САМОСВАЛОВ В ЧАС

ДО 20%
ЭКОНОМИЯ НА
ОБСЛУЖИВАНИИ