

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ
ЖУРНАЛ

МАРКШЕЙДЕРИЯ И НЕДРОПОЛЬЗОВАНИЕ

№ 4, июль-август 2024 г.

www.n-gn.ru

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



**100 лет
со Дня рождения
Михаила Абрамовича
Иофиса**

Научно-технический и производственный журнал



№ 4(132)

июль-август 2024 г.

Журнал издается с 2001 года

УЧРЕДИТЕЛЬ ЖУРНАЛА

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



РЕДАКЦИЯ:

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

АДРЕС РЕДАКЦИИ И ИЗДАТЕЛЯ:

117647, ул. Академика Капицы, д. 26, 1.
Тел.: +7(915) 111 0386

E-mail: office@n-gn.ru, articles@n-gn.ru http://www.n-gn.ru

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

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

Журнал включен в Реферативный журнал и Базы данных
ВИНИТИ и в Российский индекс научного цитирования.
Сведения о журнале ежегодно публикуются в международной
справочной системе по периодическим и продолжающимся
изданиям «Ulrich's Periodicals Directory»

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

В течение года можно произвести подписку на журнал
непосредственно в редакции

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

При перепечатке ссылка на журнал
«Маркшейдерия и недропользование» обязательна

Журнал отпечатан в типографии «**CLUB PRINT**»

тел.: +7(495) 669 5009

ISSN 2079-3332



24 003



ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР

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

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

МЕЖДУНАРОДНАЯ РЕДКОЛЛЕГИЯ

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

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

К. Дребенштетт – д.т.н., проф., кафедра «Открытые горные работы», Технический университет Горной академии Фрайберга, Германия

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

А. А. Осокин – к.т.н., Инженер-геотехник, рудник «Золотая роща», 29Metals, Западная Австралия

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

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

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

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

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

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

РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

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

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

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

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

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

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

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

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

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

ISSN 2079—3332

Scientific, Technological and Production Journal



№ 4(132)
july-august 2024

journal has been published since 2001



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

EDITION:

Chief editor **Y.V. Dmitrak**
Deputy Editor-in-Chief **V.N. Khetagurov**
Lead Editor **N.A. Fedotenko**
Scientific secretary **N.A. Miletenko**
Assistant Editor-in-Chief **B.N. Pashichev**

ADDRESS OF THE EDITORIAL OFFICE AND PUBLISHER:

117647, Akademika Kapitsa st., 26, 1.
Phone: +7(915) 111 0386
E-mail: office@n-gn.ru, articles@n-gn.ru
http://www.n-gn.ru

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

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

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

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

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

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

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

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

ISSN 2079-3332



9 772079 333778

24 003



>



© 000 Publishing House Minerals Management
and Mining Sciences, LLC

EDITOR-IN-CHIEF

Yuri V. Dmitrak - DSc in Technical Sciences, Prof., Head of the Department of Modeling and Management Mining Systems, Institute of Comprehensive Exploitation of Mineral Resources RAS, Moscow, Russian Federation

EDITORIAL BOARD

Alexander A. Baryakh - Academician of the RAS, DSc in Technical Sciences, Prof., Head of the scientific direction Mining Sciences of the center, Mining Institute, Ural Branch, RAS, Perm, Russian Federation
Vladimir I. Golik - DSc in Technical Sciences, Prof., Professor of the Mining Department, North-Caucasian Institute of Mining and Metallurgy (State Technological University), Vladikavkaz, Russian Federation

Victor A. Gordeev - DSc in Technical Sciences, Prof., Department of Cadastre and Geoengineering of Kuban State Technological University, Member of the Central Council of the Union of Surveyors of Russia, Krasnodar, Russian Federation

Victor V. Gritskov - Vice-President of the Union of Surveyors of Russia, Moscow, Russian Federation
Valery N. Zakharov - Academician of the RAS, DSc in Technical Sciences, Prof., Director, Institute of Comprehensive Exploitation of Mineral Resources RAS, Moscow, Russian Federation

David R. Kaplunov - Corresponding Member of the RAS, DSc in Technical Sciences, Prof., Scientific Director of the Department of Design Theory and Geotechnology of Integrated Subsoil Development, Institute of Comprehensive Exploitation of Mineral Resources RAS, Moscow, Russian Federation

Nikolay M. Kachurin - DSc in Technical Sciences, Prof., Head of the Department of Geotechnologies and Construction of Underground Structures, Tula State University, Tula, Russian Federation

Roman V. Klyuev - DSc in Technical Sciences, Prof., Head of Department Power Supply of Industrial Enterprises, North-Caucasian Institute of Mining and Metallurgy (State Technological University), Vladikavkaz, Russian Federation

Nikolay V. Miletenko - DSc in Geol. Mineral. Sciences, Prof., Scientific Secretary of the Scientific and Technical Council, Ministry of Natural Resources and Environment of the Russian Federation, Moscow, Russian Federation

Ivan A. Pytalev - DSc in Technical Sciences, Prof., Director of the Institute of Mining and Transport, Nosov Maritogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russian Federation

Kliment N. Trubetskoy - Academician of the RAS, DSc in Technical Sciences, Prof., Advisor to the Presidium of the RAS, Institute of Comprehensive Exploitation of Mineral Resources RAS, Moscow, Russian Federation

Maxim A. Tylenov - PhD in Technical Sciences, Ass. Prof., Head of the Department of Open-pit Mining, T.F. Gorbachev State Technical University, Kemerovo, Russian Federation

Valentin A. Chanturia - Academician of the RAS, DSc in Technical Sciences, Prof., Scientific Director of the Department of Problems of complex extraction of mineral components from natural and man-made raw materials, Institute of Comprehensive Exploitation of Mineral Resources RAS, Moscow, Russian Federation

INTERNATIONAL EDITORIAL BOARD

Slobodan B. Vujčić - Prof., Full member of the Academy of Engineering Sciences of Serbia, Belgrade, Serbia

Yousef Ghorbani - PhD in Technical Sciences, Prof. in Materials Chemistry and Bio-Hydrometallurgy, School of Natural Science, College of Health and Science, University of Lincoln, United Kingdom

Carsten Drebenstedt - DSc in Technical Sciences, Prof., Chair Surface Mining, Technical University Mining Academy Freiberg, Germany

Yuliy D. Kaplunov - Prof., DSc in Theoretical Solid Mechanics, School of Computer Science and Mathematics, Keele University, United Kingdom

Alexander A. Osokin - PhD in Technical Sciences, Geotechnical Engineer, Golden Grove, Operations Pty Ltd, 29Metals, Western Australia

Nurlan B. Ryspanov - DSc in Technical Sciences, President of the National Academy of Mining Sciences of Kazakhstan, President of the Kazakhstan Mining Union, Kazakhstan

Leting Huang - Prof., China University of Mining and Technology, Chair of the International Society for Mine Surveying, China

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

Michal Cehlár - Prof., PhD in Technical Sciences, Dean, Faculty of Mining, Ecology, Process Control and Geotechnologies, Technical University of Kosice, Slovakia

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

Barysh Erbash - Prof., Department of Mathematics, Eskisehir Technical University, Turkey

EDITORIAL COUNCIL

Igor I. Ainbinder - DSc in Technical Sciences, Prof., Chief Researcher of the Department of Design Theory and Geotechnology of Integrated Subsoil Development, Institute of Comprehensive Exploitation of Mineral Resources RAS, Moscow, Russian Federation

Alexander A. Dobrynin - PhD in Technical Sciences, Senior Researcher at the Department of Geomechanics and Rock Destruction, Institute of Comprehensive Exploitation of Mineral Resources RAS, Moscow, Russian Federation

Gennady V. Kalabin - DSc in Technical Sciences, Prof., Chief Researcher of the Department of Mountain Ecology, Institute of Comprehensive Exploitation of Mineral Resources RAS, Moscow, Russian Federation

Sergey B. Kulibaba - DSc in Technical Sciences, Prof., Leading Researcher Laboratory of Multiphase processes in rock formations during field development, Institute of Comprehensive Exploitation of Mineral Resources RAS, Moscow, Russian Federation

Farit K. Nizametdinov - DSc in Technical Sciences, Prof., Head of the Department of Surveying and Geodesy, Abylkas Saginov Karaganda Technical University, Karaganda, Kazakhstan

Mikhail B. Nosyrev - DSc in Technical Sciences, Prof., Department of Computer Science, Ural State Mining University, Ekaterinburg, Russian Federation

Vladimir N. Odintsev - DSc in Technical Sciences, Leading researcher at the Center for Problems of Methane and Gas Dynamic Phenomena of Coal and Ore Deposits, Institute of Comprehensive Exploitation of Mineral Resources RAS, Moscow, Russian Federation

Alexey A. Khreshok - DSc in Technical Sciences, Prof., Scientific Director of the Mining Institute, T.F. Gorbachev State Technical University, Kemerovo, Russian Federation

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

СОДЕРЖАНИЕ

CONTENTS

К 100-летию Иофиса М.А.	4	On the 100th anniversary of the birth of Professor Mikhail Abramovich Iofis
Давиду Родионовичу Каплунову 90 лет	7	Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences David Rodionovich Kaplunov is 90 years old
ГЕОМЕХАНИКА		
Гришин А.В. АНАЛИЗ РАЗВИТИЯ ДЕФОРМАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ В ОСТАВЛЯЕМЫХ ЦЕЛИКАХ ПРИ ОСВОЕНИИ КАЛИЙНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ НА БОЛЬШИХ ГЛУБИНАХ ЗАЛЕГАНИЯ	9	A. V. Grishin. ANALYSIS OF THE DEVELOPMENT OF DEFORMATION PROCESSES IN THE ABANDONED TSELIKAS DURING THE DEVELOPMENT OF POTASH DEPOSITS AT GREAT DEPTHS OF OCCURRENCE
Дрибан В. А., Хохлов Б. В., Дуброва Н. А., Рожко М. Д. ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ФИЛЬТРАЦИИ И КОЛЬМАТАЦИИ В ОБВОДНЕННОЙ ПРИПОВЕРХНОСТНОЙ ЗОНЕ ПРИ ЕЕ ПОДРАБОТКЕ	15	V. A. Driban, B. V. Khokhlov, N. A. Dubrova, M. D. Rozhko. RESEARCH OF FILTRATION AND COLMATATION PROCESSES IN THE WATERED NEAR-SURFACE ZONE DURING MINING UNDER THE EARTH'S SURFACE
Арно В. В., Колесниченко Е. П., Гарифулина И. Ю., Ломакина Н. Е., Тимченко Е. Ю., Миккельсен Е. А. ОЦЕНКА УСТОЙЧИВОСТИ ОТКОСОВ УСТУПОВ КАРЬЕРА «НЕЖДАНИНСКОЕ»	24	V. V. Arno, E. P. Kolesnichenko, I. Y. Garifulina, N. E. Lomakina, E. Y. Timchenko, E. A. Mikkelsen. ASSESSMENT OF THE STABILITY OF THE SLOPES OF THE LEDGES OF THE NEZHDANINSKOYE QUARRY
Ботоканова Б. А. ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ ПОРОД ВОКРУГ ГИДРОТЕХНИЧЕСКОГО ТУННЕЛЯ, РАСПОЛОЖЕННОГО В ГОРНОМ МАССИВЕ	30	B. A. Botokanova. STUDY OF THE STRESSED STATE OF ROCKS AROUND A HYDRAULIC TUNNEL LOCATED IN A MOUNTAIN MASSIF
ОБОГАЩЕНИЕ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ		
Голик В. И., Белодедов А. А., Мулухов К. К., Масленников В. А., Дзапаров В. Х. К НАДЕЖНОСТИ ЗАКРЕПЛЕНИЯ ХВОСТОВ ОБОГАЩЕНИЯ РУД В ХРАНИЛИЩАХ	35	V. I. Golik, A. A. Belodedov, K. K. Mulukhov, V. A. Maslennikov, V. H. Dzaparov. TO THE RELIABILITY OF SECURING ORE DRESSING TAILINGS IN STORAGEES
ГОРНОТЕХНИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ		
Кушнерчук В. В., Хаустов В. В., Ермолович Е. А., Семенова Л. А., Симонян В. В. ВЛИЯНИЕ ПОДРАБОТКИ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК ПОДЗЕМНОГО ДРЕНАЖНОГО КОМПЛЕКСА НА ПРОЦЕССЫ ОСУШЕНИЯ КАРЬЕРА МИХАЙЛОВСКОГО ГОКа им. А. В. ВАРИЧЕВА (КУРСКАЯ МАГНИТНАЯ АНОМАЛИЯ)	47	V. V. Kushnerchuk, V. V. Khaustov, E. A. Ermolovich, L. A. Semenova, V. V. Simonyan. THE INFLUENCE UNDERMINING UNDERGROUND MININGS OF AN UNDERGROUND DRAINAGE COMPLEX ON THE DRAINAGE PROCESSES OF THE MIKHAILOVSKY GOK QUARRY named after A. V. VARICHEV (KURSK MAGNETIC ANOMALY)
ГЕОТЕХНОЛОГИЯ		
Пыталев И. А., Полинов А. А., Якшина В. В., Туркин И. С. ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ И ТЕХНОЛОГИИ ФОРМИРОВАНИЯ СОЛНЕЧНОГО СОЛЯНОГО ПРУДА ПРИ ОТКРЫТОЙ РАЗРАБОТКЕ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ТВЕРДЫХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ	56	I. A. Pytalev, A. A. Polinov, V. V. Yakshina, I. S. Turkin. SUBSTANTIATION OF PARAMETERS AND TECHNOLOGY OF FORMATION OF A SOLAR SALT POND IN THE OPEN-PIT MINING OF DEPOSITS OF SOLID MINERALS
Пыталев И. А., Якшина В. В., Артюшин А. К., Маренков П. А. ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ ТИПА ДОРОЖНОЙ ОДЕЖДЫ КАРЬЕРНЫХ АВТОДОРОГ НА ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ АВТОСАМОСВАЛА ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ	62	I. A. Pytalev, V. V. Yakshina, A. K. Artyushin, P. A. Marenkov. STUDIES OF THE INFLUENCE OF THE PAVEMENT OF QUARRY ROADS ON THE PERFORMANCE OF A DUMP TRUCK USING SIMULATION MODELING
МАРКШЕЙДЕРСКОЕ И ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ГОРНЫХ РАБОТ		
Писарев В. С. ГЕОТЕХНИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ НЕФТЕГАЗОНОСНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ	67	V. S. Pisarev. GEOTECHNICAL MONITORING DURING OPERATION OF OIL AND GAS FIELDS
Басаргин А. А. ПРАКТИЧЕСКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ РАЗЛИЧНЫХ МЕТОДОВ СЪЕМКИ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОБЪЕМА КАРЬЕРНОЙ ДОБЫЧИ ДОЛОМИТОВОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ	72	A. A. Basargin. PRACTICAL APPLICATION OF VARIOUS SHOOTING METHODS FOR DETERMINATION OF THE VOLUME OF QUARRY PRODUCTION OF DOLOMITE DEPOSITS

ЛИЧНОСТЬ БОЛЬШОГО МАСШТАБА

*К 100-летию со дня рождения профессора Михаила Абрамовича Иофиса
13.08.1924 — 19.06.2021*

13 августа 2024 года заслуженному деятелю науки РФ, профессору, доктору технических наук, ветерану Великой Отечественной войны Михаилу Абрамовичу Иофису исполнилось бы 100 лет. Михаил Абрамович — крупный ученый-горняк, известный специалист по маркшейдерскому делу и геомеханике, который более 70 лет жизни посвятил научной, педагогической и инженерной деятельности.

Статьи, посвященные этому юбилею, опубликованы в нескольких профильных изданиях. В них описаны основные направления его работы и профессиональные достижения. Здесь хотелось бы рассказать о его жизненном пути и человеческих качествах. Путь Михаила Абрамовича был непростым — это жизнь поколения, которое отстояло страну и построило все, чем мы пользуемся. Но он смог достойно его пройти.

Родился в городе Перми, на Урале (город тогда назывался Молотов). Через много лет, уже признанным специалистом, он вернулся в родной город, когда занимался проблемами Северо-Уральского бокситового рудника. В семье было семеро детей, работал один отец, мать занималась хозяйством. Жили небогато, одежда переходила от старших к младшим. Он, как самый младший, донашивал за братьями. На послевоенной фотографии в сборе почти вся семья.

Однако, несмотря на трудности, дети получили высшее образование, а многие достигли больших успехов. Старший брат Евсей стал крупнейшим специалистом по обработке кино- и фотопленки, лауреатом Сталинской премии. Он автор множества научных трудов, а также учебников и популярных книг по фототехнике и операторскому искусству, переведенных на разные языки. Работал на «Мосфильме» и был профессором ВГИКа. Другой брат — Григорий, стал кадровым военным, танкистом, дослужился до полковника. Был на фронте с первого до последнего дня войны.



С отцом, братьями и сестрами (крайний справа)

Награжден многими отечественными и зарубежными орденами и медалями. Сестра Ева также участник Великой Отечественной, военврач, старший лейтенант. Удостоена правительственных наград, после войны работала врачом, заведовала медицинским отделением. Наум стал инженером-механиком, работал главным инженером завода «Эмитрон», был доктором наук, профессором МХТИ. Стал лауреатом Ленинской премии за создание искусственных кристаллов — фианитов. Впоследствии получил премию Совмина СССР за создание первого в стране клапана сердца.

В 1940 году Михаил Иофис поступил учиться в Московский машиностроительный техникум. В 1942 году он добровольцем ушел служить в ряды Красной армии, был зачислен в Селищенскую военную школу авиамехаников.

После досрочного ее окончания был направлен в 220-й штурмовой авиационный полк, в составе которого участвовал в боях против фашистских захватчиков до конца войны. Он был не только авиамехаником, но часто и стрелком-радистом. В штурмовиках Ил-2 у пилота спинка кресла была бронированной, а стрелок сидел в незащищенной кабине. Людские потери были большие, и приходилось часто их восполнять. Авиаполк сражался в составе 2-го и 4-го Украинских фронтов, участвовал в освобождении Киева, а войну закончил в Чехословакии. За воинские заслуги М. А. Иофис награжден орденами «Красной Звезды» и «Отечественной войны», медалями «За боевые заслуги», «За победу над Германией в Великой Отечественной войне 1941–1945 гг.». Впоследствии ему было вручено множество юбилейных медалей.

После демобилизации поступил учиться в Московский горный институт. Он не только отлично учился, но и активно занимался общественной работой, был заместителем секретаря комитета комсомола института. Жизнь студентов была небогатой, но веселой. Успевали и учиться, и ходить в театры и на выставки. В те годы студенты могли получить билеты даже в Большой театр. В послевоенное время у горняков, в том числе и студентов, была красивая форма. Он сам старательно выпиливал вензеля для мундира. Институт окончил с красным дипломом в 1951 году по специальности «Горный инженер-маркшейдер». Работать его направили на шахту № 2 треста «Щекинуголь», комби-



Фронтная



Выпускник Московского горного института полуострове. Впоследствии он стал директором Горного института, членом-корреспондентом АН СССР. Несмотря на то что они жили и работали в разных уголках страны, продолжали регулярно общаться и переписываться. Именно так и была написана известная монография «Основы механики горных пород», выдержавшая два издания и впоследствии переведенная в США. К сожалению, ранняя кончина Игоря Александровича не позволила продолжить это плодотворное сотрудничество.

Михаил Абрамович был человеком с разносторонними интересами. В конце 1960-х годов в Донецке он активно участвовал в работе клуба подводников «Ихтиандр». Два года подряд экспедиции выезжали в тогда еще пустынную бухту Ласпи в Крыму и устанавливали первые в СССР подводные дома. Причем все это делалось на энтузиазме без государственного финансирования. Он преимущественно занимался подводной геодезией и обеспечением работы буровой установки на морском дне, сам опускался под воду с аквалангом.

В 1978 году М. А. Иофис перешел в Институт проблем комплексного освоения недр АН СССР (ныне ИПКОН РАН), где проработал до последних дней своей жизни в качестве старшего, ведущего, а затем главного научного сотрудника. Докторскую диссертацию он защитил в 1989 году, а звание профессора ему было присвоено в 1991 году. Здесь он несколько лет разрабатывал эффективные методы искусственной дегазации выбросоопасных угольных пластов для предотвращения внезапных выбросов угля, породы и газа, затем значительно расширил область своих работ. Он всю жизнь считал, что в геомеханике самое важное — это натурные инструментальные наблюдения. Много лет проводил их сам в Донецком и Львовско-Волынском угольных бассейнах. Уже работая в Москве, часто ездил в командировки в Донбасс, Сибирь и на Урал. Собранные материалы потом обобщались и использовались для верификации теоретических гипотез.

Приобретая большой опыт, стремился передать его молодому поколению. Очень серьезно помог улучшению обучения маркшейдеров в московских университетах: МГГУ, Дружбы народов, геологоразведочном и даже в Мурманском университете (филиал в Апатитах). Сам читал в них лекции в качестве про-

ната «Тулауголь», где он прошел путь от участкового и главного маркшейдера до главного инженера шахты.

В 1954 году поступил учиться в аспирантуру Всесоюзного научно-исследовательского маркшейдерского института, по окончании которого был направлен в Украинский филиал этого института, где проработал более 20 лет в качестве младшего научного сотрудника, старшего научного сотрудника, заведующего лабораторией и заместителя директора по научной работе. В 1963 году в Донецке он защитил кандидатскую диссертацию. Именно в Донбассе М. А. Иофис сформировался как ученый и организатор науки. Там он занимался разработкой методов расчета деформаций горных пород и земной поверхности при отработке запасов полезных ископаемых под сооружениями и природными объектами. Изучал причины повреждения зданий при их подработке, условия формирования провалов на земной поверхности и опасных прорывов воды из подрабатываемых водоемов в шахты.

Многие годы его связывала настоящая дружба с И. А. Турчаниновым. Познакомились они после войны при поступлении в МГИ и с тех пор не расставались. Учились в одной группе, вместе занимались. Даже парадный студенческий мундир у них был один на двоих. И. А. Турчанинов много лет работал на Кольском



Через 20 лет после выпуска: М. А. Иофис (слева), зав. кафедрой маркшейдерии П. А. Рыжов, И. А. Турчанинов



Перед погружением



2018 год, выступление на конференции Международной научной школы академика РАН К. Н. Трубецкого

выков работы с современными компьютерами. Многолетнее руководство семинаром по проблемам маркшейдерии и геометрии недр на Международном научном симпозиуме «Неделя горняка», ежегодно проводимом в МГГУ, позволяло всегда быть в курсе последних достижений науки и технологии. М. А. Иофис пользовался огромным авторитетом среди специалистов, много раз давал экспертные заключения по различным объектам горной промышленности. Он был председателем редакционного совета журнала «Маркшейдерский вестник», членом нескольких научных и диссертационных советов.

Помогало быть в тонусе профессору и постоянное общение с молодежью. Его благодарные многочисленные ученики с большим теплом и признательностью отзываются о нем не только как об учителе в науке, но и в жизни. Его житейская истина осталась нам на все времена: «Не судите о человеке по словам, судите только по поступкам».

М. А. Иофис был лауреатом премий Совета министров СССР, Правительства РФ и имени академика А. А. Скочинского. Горняцкая общественность многократно отметила его труд: он был почетным работником угольной промышленности, кавалером знаков «Шахтерская слава» всех трех степеней и «Шахтерская доблесть». Информация о его достижениях публиковалась в книгах «Маркшейдеры — кто есть кто» и «Маркшейдерская энциклопедия».

Михаил Абрамович был личностью большого масштаба. Во всех жизненных испытаниях он проявлял видение сути проблемы, умение принимать обоснованные тактические и стратегические решения, что подкреплялось завидной энергией и твердостью характера. Эти качества и глубокие знания позволили ему также быть вице-президентом Союза маркшейдеров России, членом международного Маркшейдерского общества, лучшим государственным инспектором Госгортехнадзора России, экспертом Академии наук и Следственного комитета РФ.

Много занимался он и общественной деятельностью, прежде всего как ветеран Великой Отечественной войны. Регулярно участвовал в мероприятиях Академии горных наук, академиком и почетным академиком которой был много лет. С особым вниманием Михаил Абрамович относился к встречам в Землячестве Донбассовцев. Там он был одним из самых уважаемых членов, а его биография несколько раз публиковалась в изданиях Землячества.

Память о Михаиле Абрамовиче Иофисе, ученом высочайшего уровня, эрудированном, чутком и доброжелательном человеке и педагоге, навсегда останется в сердцах всех, кто его знал, кто с ним работал.

фессора, написал несколько учебников и учебных пособий в соавторстве с их преподавателями. Сейчас в этих вузах преподают его ученики. В 1990-е годы М. А. Иофиса приглашали читать лекции в Китае. Достиг он больших успехов и в подготовке научных кадров высшей квалификации: отбирал способных студентов, принимал их к себе в аспирантуру и готовил кандидатов наук.

Одной из причин его долголетия, позволившего прожить почти до 100 лет, была творческая активность. В возрасте за 70, когда большинство людей давно прекращают работать, он переходил на новые для себя разделы геомеханики, такие как освоение подземного пространства городов и разработка алмазоносных месторождений. Уже будучи старше 80 лет, поехал в Якутию, опускался на дно алмазодобывающего карьера. Был старейшим сотрудником ИПКОН РАН, последним из участников войны в институте. В 2018 году, в 94 года, М. А. Иофис самостоятельно сделал доклад на школе-конференции академика РАН К. Н. Трубецкого. На свое торжественно отмечаемое 95-летие он смог подняться без лифта на 4-й этаж. В последние годы жизни он активно развивал новое научное направление — «Инженерная геомеханика». Михаилу Абрамовичу в работе очень помогало овладение на-

*Редакция журнала «Маркшейдерия и недропользование»,
родственники, друзья, коллеги*

ЧЛЕН-КОРРЕСПОНДЕНТУ РАН КАПЛУНОВУ ДАВИДУ РОДИОНОВИЧУ 90 ЛЕТ!



22 июля 2024 года исполнилось 90 лет Давиду Родионовичу Каплунову — ведущему ученому в области горных наук и известному специалисту по горному делу в России и странах СНГ.

Член-корреспондент Российской академии наук Д.Р. Каплунов — представитель «рудной ветви» горных наук. Область его научных интересов — комплексное освоение и сохранение недр Земли; подземная разработка рудных месторождений; научные основы технического перевооружения горных предприятий; управление качеством минерально-сырьевых потоков; теория проектирования освоения недр; системы подземной разработки рудных месторождений; модернизация горного производства.

Д.Р. Каплунов родился в 1934 году в семье известного советского ученого профессора Р.П. Каплунова. В 1958 г. по окончании Московского горного института поступил в очную аспирантуру ИГД АН СССР, которую успешно закончил, защитив кандидатскую диссертацию на тему «Исследование системы этажного принудительного обрушения». С 1961 по 1969 г. он младший, а затем старший научный сотрудник этого института. В 1969 году был переве-

ден на работу старшим научным сотрудником в Сектор физико-технических горных проблем Института физики Земли им. О.Ю. Шмидта АН СССР. В 1977 году, после создания на его базе Института проблем комплексного освоения недр АН СССР (ныне ИПКОН РАН), был избран на должность заведующего лабораторией Теории проектирования подземной разработки месторождений при комплексном освоении недр. По настоящее время Д.Р. Каплунов работает в ИПКОН РАН главным научным сотрудником, являясь научным руководителем Отдела теории проектирования и геотехнологии комплексного освоения недр. Он руководит выполнением исследований по разработке усовершенствованных методов проектирования основных параметров горнотехнических систем, комплексного освоения и сохранения недр Земли в ходе разработки месторождений твердых полезных ископаемых.

В 80-90-ые годы руководил выполнением ряда крупных научно-исследовательских работ, связанных с региональными и государственными проблемами в области освоения недр. За работу в этот период в 1982 г. был удостоен Премии Совета Министров СССР за «Исследование и обоснование направлений освоения минерально-сырьевой базы и технического перевооружения подземных рудников и карьеров», а в 1991 г. удостоен Премии Совета Министров СССР «За разработку и внедрение новых технологий, обеспечивающих снижение потерь в недрах и повышение качества товарной продукции при подземной добыче руд в Криворожском бассейне».

В 1986 году защитил докторскую диссертацию «Определение производственной мощности подземных рудников горно-промышленного региона при техническом перевооружении». В 1994 году был утвержден председателем Секции по проблемам КМА Научного совета РАН по проблемам горных наук и по настоящее время является также заместителем председателя этого совета.

30 мая 1997 г. Общим собранием Российской академии наук был избран член-корреспондентом РАН по отделению геологии, геофизики, геохимии и горных наук (разработка твердых полезных ископаемых).

В 2001 году в составе авторского коллектива стал Лауреатом Премии Правительства Российской Федерации за разработку и широкомасштабное промышленное внедрение комбинированных технологий комплексного освоения медно-колчеданных месторождений Урала.

В 2013 году был назначен председателем экспертного совета по проблемам разработки месторождений твердых полезных ископаемых Высшей аттестационной комиссии Министерства образования и науки Российской Федерации. По настоящее время Давид Родионович член президиума ВАК Минобрнауки России.

В результате многолетней работы над проблемой комплексного освоения суперкрупных месторождений России, в 2015 году в составе авторского коллектива получил Премия Правительства Российской Федерации в области науки и техники «За крупномасштабное промышленное внедрение ресурсосберегающей экологически сбалансированной геотехнологии комплексного освоения месторождений Курской магнитной аномалии».

По совместительству более 45 лет работает профессором Горного института НИТУ МИСиС. Награжден Премией Президента Российской Федерации в области образования за 2001 г. «За обоснование новых направлений в области образования по рациональному природопользованию на основе интеграции вузовской и академической науки». Среди его учеников — доктора и кандидаты наук, сотни горных инженеров.

Имеет более 350 научных трудов, среди которых монографии, патенты на изобретения, статьи, научно-популярные издания, очерки и биографии ученых. Результаты исследований Д.Р. Каплунова, связанные с установлением закономерностей и обоснованием параметров и перспектив техногенного преобразования недр Земли при освоении месторождений твердых

полезных ископаемых, освещены более, чем в 350 научных трудах, наиболее известные из них монографии: «Научные основы технического перевооружения рудников»; «Горные науки: Освоение и сохранение недр Земли»; «Комбинированная геотехнология»; «Комплексное освоение месторождений и глубокая переработка минерального сырья».

Д.Р. Каплунов является действительным членом РАЕН и Академии горных наук, редакционной коллегии «Горного журнала», «Горного журнала Казахстана», журналов «Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых», «Горного информационно-аналитического бюллетеня». Он имеет почетные звания и награды: Орден Александра Невского, Заслуженный деятель науки и техники РФ, Почетный работник высшего профессионального образования Российской Федерации, Лауреат премии им. Н.В. Мельникова Российской академии наук, Лауреат премии Академии горных наук имени акад. М.И. Агошкова. Награжден Орденом Дружбы, Орденом Почета, почетным знаком «Шахтерская слава» I, II и III степеней.

Глубокоуважаемый Давид Родионович! Ваши труды, исследования, открытия и достижения являются важным вкладом в развитие российской науки. Вы - человек, чья работа стала опорой и вдохновением для многих исследований в области наук о Земле.

Желаем Вам крепкого здоровья, творческого богатства и новых научных достижений. Мы, Ваши друзья и коллеги, рады поздравить Вас, выдающегося ученого, организатора и руководителя, с замечательным юбилеем!

*Редакция журнала Маркшейдерия и недропользование,
коллектив ИПКОН РАН*

Статья посвящена столетию со дня рождения видного советского и российского ученого в области горных наук, заслуженного деятеля науки РФ, доктора технических наук, профессора Михаила Абрамовича Иофиса.

The article is dedicated to the centenary of the birth of Mikhail Abramovich, a prominent Soviet and Russian scientist in the field of mining sciences, Honored Scientist of the Russian Federation, Doctor of Technical Sciences, Professor Iofis.

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

SCIENTIFIC ARTICLE

УДК 622.834

DOI: 10.56195/20793332_2024_4_9_14

АНАЛИЗ РАЗВИТИЯ ДЕФОРМАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ В ОСТАВЛЯЕМЫХ ЦЕЛИКАХ ПРИ ОСВОЕНИИ КАЛИЙНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ НА БОЛЬШИХ ГЛУБИНАХ ЗАЛЕГАНИЯ

А. В. Гришин

ООО «Научно-внедренческая компания «Горная геомеханика» (ООО «НБК «Горгеомех»), г. Москва, Россия

Аннотация: Изложен способ, позволяющий применять камерно-целиковую систему разработки при освоении калийных месторождений на больших глубинах под водоносными горизонтами. Приведены результаты анализа проводимых натурных наблюдений за деформациями оставляемых опорных и междукammerных целиков на калийном руднике глубокого заложения.

Ключевые слова: опорный целик, репер, наблюдения, междукammerный целик, деформация, степень нагружения

Для цитирования: Гришин А. В. Анализ развития деформационных процессов в оставляемых целиках при освоении калийных месторождений на больших глубинах залегания // Маркшейдерия и недропользование. 2024. № 4. С. 9-14. https://doi.org/10.56195/20793332_2024_4_9_14.

ANALYSIS OF THE DEVELOPMENT OF DEFORMATION PROCESSES IN THE ABANDONED TSELIKAS DURING THE DEVELOPMENT OF POTASH DEPOSITS AT GREAT DEPTHS OF OCCURRENCE

A. V. Grishin

LLC Research and Development Company "Mining Geomechanics" (LLC R&D company "Gorgeomeh"), Moscow, Russian Federation

Abstract: The article describes a method that allows the use of a chamber-whole mining system for the development of potash deposits at great depths under aquifers. The results of the analysis of field observations of deformations of the left support and inter-chamber pillars at a deep-laid potash mine are presented.

Keywords: support target, reference point, observations, inter-chamber target, deformation, degree of loading

For citation: Grishin A. V. Analysis of the development of deformation processes in the abandoned tselikas during the development of potash deposits at great depths of occurrence. Mine Surveying and Subsoil Use. 2024;(4):9-14. (In Russ.). https://doi.org/10.56195/20793332_2024_4_9_14.

Введение

Истощение запасов калийных солей, расположенных в более доступных горно-геологических условиях: на относительно небольших глубинах залегания (до 500 метров), вызывает необходимость вовлекать в разработку участки месторождений, расположенные на больших

глубинах залегания, в более сложных горно-геологических условиях [1–3]. Переход на большие глубины ведения горных работ влечет за собой пересмотр подходов по управлению горным давлением с целью обеспечения безопасного и эффективного освоения недр.

При освоении калийных месторождений самой распро-

страненной системой разработки как в нашей стране, так и за рубежом является камерная система с оставляемыми, или покидаемыми, целиками. Особенно такая система разработки незаменима, когда возникает необходимость сохранения водозащитной толщи пород при производстве горных работ под водоносными горизонтами. Такая система достаточно проста в реализации, но в то же время имеет недостатки, самый значительный — большие потери полезного ископаемого, оставляемого в целиках. Причем с увеличением глубины ведения горных работ эти потери могут существенно возрастать за счет увеличения размеров оставляемых целиков. Поэтому основной задачей освоения калийных месторождений на больших глубинах является недопущение увеличения уровня потерь полезного ископаемого, сложившегося при освоении месторождений на небольших глубинах залегания, а по возможности их сокращения.

При камерной системе разработки на небольших глубинах залегания пласта расчет параметров целиков производился по методу академика Л. Д. Шевякова (в различных интерпретациях), согласно которому междукammerные целики оставляются по всему шахтному полю одинаковыми. Размеры этих целиков рассчитываются на восприятие давления от веса горных пород, залегающих выше разрабатываемого пласта до земной поверхности. Однако, как отмечал акад. Л. Д. Шевяков, данный метод был обоснован для относительно малых глубин ведения горных работ (до 500 м) и небольших площадей отработки полезного ископаемого [4]. Поэтому применение данного метода в современных условиях ведения горных работ на больших глубинах и с большой площадью отработки необоснованно и приведет к увеличению потерь полезного ископаемого за счет увеличения размеров междукammerных целиков.

Для решения данной проблемы под руководством академика К. Н. Трубецкого профессором М. А. Иофисом с учениками был предложен способ, позволяющий применять камерно-целиковую систему разработки в указанных условиях, направленный на обеспечение безопасности ведения горных работ и снижения потерь полезного ископаемого [5, 6].

Практикой горного дела установлено, что на часть полезного ископаемого, находящуюся между двумя параллельными выработками (предполагается, что влияние от других выработок отсутствует), давит не весь объем горных пород, находящийся над ним, а лишь часть его, ограниченная некоторым сводом [7–12]. Поэтому при реализации камерной системы разработки нагрузка на междукammerные целики, равная весу вышележащих пород, происходит не сразу, а лишь по достижении площади полной подработки. Другими словами, размеры выработанного пространства должны быть сопоставимы с величиной глубины горных работ или превышать ее (условия полной подработки).

Также необходимо отметить, что при достижении полной подработки максимальное давление будут испытывать целики, расположенные в центре выработанного пространства. Целики, расположенные на периферийных участках отработанного шахтного поля, будут испытывать меньшее давление, так как часть нагрузки от вышележащего массива удерживается еще не отработанными породами, которые в это время будут испытывать дополнительное «опорное давление».

На основе выявленных закономерностей творческим коллективом проф. М. А. Иофиса под руководством академика РАН К. Н. Трубецкого был предложен подход по изменению параметров камерной системы разработки для

обеспечения возможности эффективного и безопасного ее применения на глубоких горизонтах при освоении калийных месторождений [13]. Принцип предложенного подхода заключался в том, что для снижения нагрузок на междукammerные целики в условиях больших глубин необходимо не допускать полной подработки массива. Тогда нагрузка на целик будет передаваться не от всей толщи вышележащих пород (до земной поверхности), а лишь от той ее части, которая ограничена сводом равновесия (рис. 1).

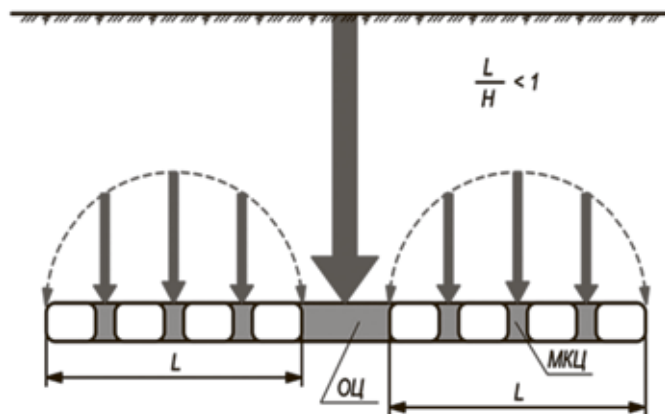


Рис. 1. Нагрузка на опорный и междукammerные целики
Fig. 1. Load on the support and inter-chamber pillars

Отсутствие полной подработки достигается за счет оставления так называемых опорных целиков между отработываемыми блоками. Параметры опорных целиков рассчитываются на восприятие нагрузки от веса вышележащих горных пород от кровли отработываемого пласта до земной поверхности, причем с некоторым запасом, зависящим от величины опорного давления, оказываемого на рассматриваемый целик. Таким образом, за счет введения опорных целиков в камерную систему отработки образуется своеобразный «каркас», воспринимающий на себя нагрузку вышележащей толщи пород и разделяющий шахтное поле на участки с неполной подработкой. В пределах таких участков параметры междукammerных целиков рассчитываются не на весь столб пород, а только на его часть, ограниченную сводом равновесия, что повышает извлечение полезного ископаемого на больших глубинах залегания по сравнению с оставлением равноразмерных целиков.

Указанная методика управления горным давлением на больших глубинах была принята для освоения Гермьинского и Нивенского месторождения калийных солей.

Цель работы: анализ развития деформационных процессов в оставляемых целиках при освоении калийных месторождений на больших глубинах залегания.

Методика исследований

Для определения деформаций опорных и междукammerных целиков на разных участках рудника были заложены наблюдательные станции, состоящие из контурных и глубинных реперов. Контурный репер станции предназначен для измерения смещений контуров горных выработок, расположенных на противоположных сторонах целика. Глубинные реперы предназначены для измерения смещений породного массива на определенной от контура выработки глубине. Наблюдения проводились при помощи высокоточных маркшейдерских измерений, в результате которых определялись планово-высотные положения деформационных реперов.

По данным инструментальных измерений вычислялись величины деформаций наблюдаемых целиков.

Результаты исследований и их обсуждение

Из данных натурных наблюдений за сдвижением контуров опорных (ОРЦ) и междукammerных (МКЦ) целиков можно заключить, что рассмотренные целики деформировались по-разному.

Зависимость изменения абсолютных деформаций опорных и междукammerных целиков от времени (абсолютная деформация) приведена на рисунке 2.

Зависимость изменения относительных деформаций опорных и междукammerных целиков от времени (относительная деформация) — на рисунке 3.

Из полученных зависимостей видно, что скорость деформирования опорных целиков характеризуется как затухающая ползучесть, а деформирование междукammerных целиков — установившаяся ползучесть. Это может свидетельствовать о том, что целики в период наблюдения не превысили предела длительной прочности и соответствуют степеням нагружения $0,3 \sigma_{сж}$ и $0,4 \sigma_{сж}$ соответственно [14].

Для определения деформирования горных пород внутри целика проводились измерения сдвижений глубинных реперов, размещенных внутри наблюдательной скважины, пробуренной в целике. Наблюдательные скважины оборудовались в опорных целиках, ширина которых составляла 30 м.

Глубинные реперы размещались на расстоянии l_n от устья наблюдательной скважины (рис. 4). В процессе проведения наблюдений определялись координаты глубинных реперов и расстояние между смежными реперами.

По результатам проведенных измерений были получены зависимости смещений точек массива от времени при различном удалении точки от контура выработки для каждой наблюдательной скважины (рис. 5).

По данным натурных измерений, проводимых в опорных целиках, было установлено, что деформации внутри целиков распределены неравномерно. Деформированию подвержены только законтурные зоны на глубину не более 4 метров, в центральной части целика какие-либо деформации не зафиксированы. Величина деформирования массива в установленных законтурных зонах также распределяется неравномерно. Наибольшие относительные деформации зафиксированы на глубине 2 метра от контура целика и составляют в среднем величину $12 \cdot 10^{-3}$, а в последующие два метра — $6 \cdot 10^{-3}$ и далее затухают, находясь в пределах точности измерения. При зафиксированных величинах деформаций расслоения законтурного массива не наблюдалось. Данные величины деформаций были получены за период наблюдений, который составил в среднем 0,5 года. Нарушения целостности законтурного массива наблюдались при относительных деформациях, близких к величине $20 \cdot 10^{-3}$ при расстоянии между реперами два метра.

По результатам данных натурных наблюдений за деформированием породного массива внутри целиков выделены несколько областей (зон), отличающихся уровнем деформационного воздействия (рис. 6):

— область обрушения — характеризуется наличием трещин, образующих поверхности отрыва, отслоения горных пород от целика, в пределах этой зоны происходит обрушение законтурных пород целика;

— область возникновения трещин — характеризуется деформациями горных пород, способными вызывать нарушение их целостности, но без образования поверхностей потенциального обрушения;

— область плавных деформаций — характеризуется деформированием горных пород без нарушения их целостности;

— область не равнокомпонентного деформирования — характеризуется отсутствием растягивающих деформаций, деформирование внутри данной области происходит за счет перераспределения внутренней структуры массива (уплотнения), породы в пределах этой зоны обладают существенно повышенными прочностными характеристиками (по сравнению с краевыми зонами) и определяют устойчивость целика.

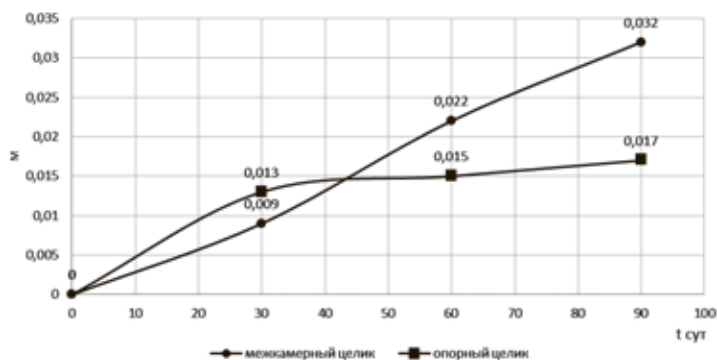


Рис. 2. Изменения ширины опорных и междукammerных целиков (абсолютная деформация) во времени

Fig. 2. Changes in the width of the support and inter-chamber pillars (absolute deformation) over time

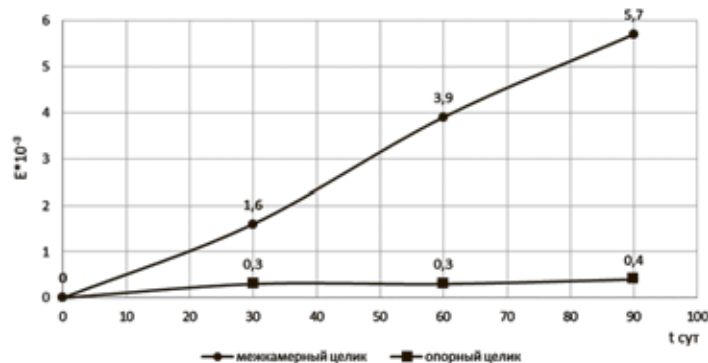


Рис. 3. Изменения относительных деформаций опорных и междукammerных целиков (относительная деформация) во времени

Fig. 3. Changes in the relative deformations of the support and inter-chamber pillars (relative deformation) over time

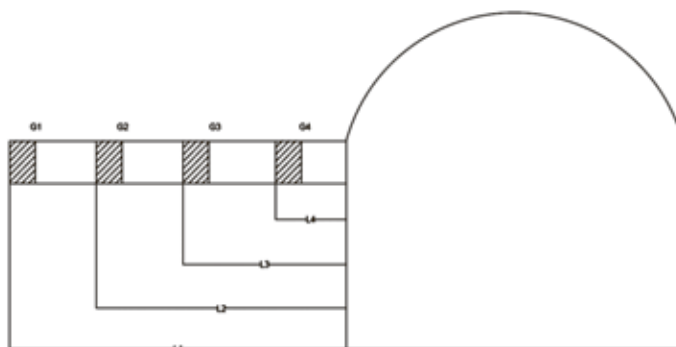


Рис. 4. Схема размещения глубинных реперов

в наблюдательной скважине на расстоянии $l_4 = 0$ м; $l_3 = 2$ м; $l_2 = 4$ м; $l_1 = 6$ м

Fig. 4. The layout of the deep reference points in the observation well at a distance of $l_4 = 0$ m; $l_3 = 2$ m; $l_2 = 4$ m; $l_1 = 6$ m

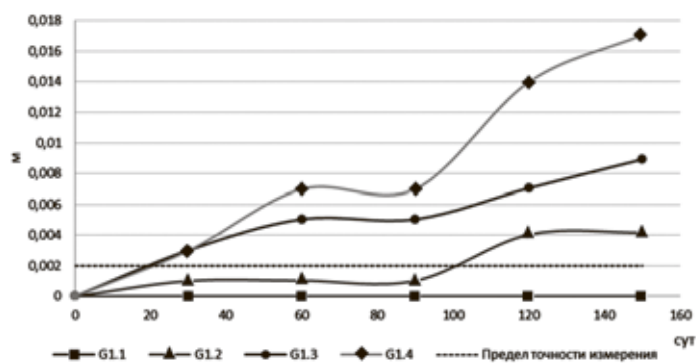


Рис. 5. Зависимости смещений ΔU_n точек массива в окрестностях экспериментальных горных выработок от времени t при различном удалении l точки от контура выработки: G4 – $l = 0$ м; G3 – 2 м; G2 – 4 м; G1 – 6 м

Fig. 5. The dependences of the displacements ΔU_n of the points of the massif in the vicinity of experimental mine workings on time t at different distances of the l point from the contour of the workings: G4 – $l = 0$ m; G3 – 2 m; G2 – 4 m; G1 – 6 m

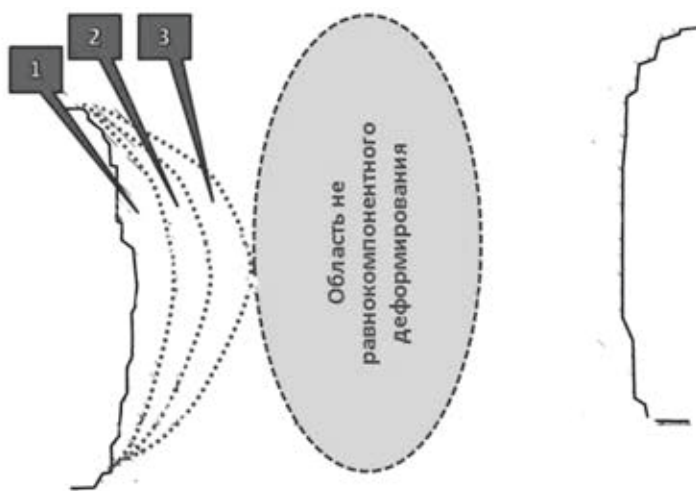


Рис. 6. Области (зоны) деформирования целика: 1 – область обрушения; 2 – область возникновения трещин; 3 – область плавных деформаций
Fig. 6. Areas (zones) of deformation of the whole: 1 – the area of collapse; 2 – the area of cracks; 3 – the area of smooth deformations

По своему размеру установленные зоны могут меняться. На рассматриваемый период наблюдений размеры зон (в среднем) для опорных целиков составляют: область обрушения – 0,3 м; область возникновения трещин – 1,5 м; область плавных деформаций – 2 м.

Величины зон деформирования внутри междукammerных целиков установить пока не удалось, т. к. не были оборудованы наблюдательные скважины в теле целиков. Поэтому деформации междукammerных целиков оценивались только по сдвигению стенок (контуров) целика, результаты которых приведены ранее. По данным наблюдений за деформациями междукammerных целиков можно характеризовать, что законтурный массив в целике может находиться в нарушенном состоянии в пределах установленных зон, некоторые нарушения были зафиксированы при визуальном обследовании выработок (зона обрушений). Если оценивать устойчивость целика по визуальным наблюдениям, то можно характеризовать, что степень его

нагрузки находится на допредельной части кривой деформирования и примерно соответствует $0,4-0,5 \sigma_{сж}$.

Другим способом оценки степени нагружения целиков является измерение величин оседания земной поверхности на подработанной территории.

Необходимо отметить, что за более чем 30-летний период наблюдений за оседанием земной поверхности в различных условиях отработки Верхнекамского месторождения было установлено, что если оседание земной поверхности происходит с постоянной скоростью, не выходящей за пределы 15 мм/год, то такой характер сдвижения относится к горнотехническим условиям разработки с расчетным нагружением междукammerных целиков $C \leq 0,4$ [15].

По данным наблюдений за сдвижением земной поверхности, на участках, где была достигнута полная ее подработка, средняя скорость оседания на текущий период составляет 9,2 мм/год. Что может характеризовать общее устойчивое состояние выбранной системы разработки.

Заключение

Представлена первичная информация о процессе деформирования целиков и законтурного массива во времени (период наблюдений – 0,5 года), в результате которой можно сделать следующие выводы:

- скорость деформирования опорных целиков характеризуется как затухающая ползучесть, а деформирование междукammerных целиков – установившаяся ползучесть, целики в период наблюдения не превысили предела длительной прочности и соответствуют степеням нагружения $0,3 \sigma_{сж}$ и $0,4 \sigma_{сж}$ соответственно;
- деформации опорных целиков распределены неравномерно внутри целика. Деформированию подлежат только законтурные зоны на глубину 4 метра, в центральной части целика деформации не зафиксированы. По результатам наблюдений выделены характерные зоны деформирования целика;
- наблюдения, проводимые за сдвижением земной поверхности в зоне влияния горных работ, также подтверждают установленный характер деформирования целиков в выработанном пространстве.

Выводы

1. В представленной статье систематизированы сведения, полученные в результате проведения натурных наблюдений при реализации камерной системы разработки с оставляемыми опорными и междукammerными целиками.
2. Полученные результаты могут свидетельствовать, что предложенный творческим коллективом проф. М. А. Иофиса и под руководством академика РАН К. Н. Трубецкого подход по изменению параметров камерной системы разработки для ее применения на глубоких горизонтах при освоении калийных месторождений направлен на повышение коэффициента извлечения полезного ископаемого при обеспечении должного уровня деформаций водозащитной толщи пород.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Baryakh, A. A.* Deformations and fracture of rock strata during deep level potash mining / A. A. Baryakh, A. K. Fedoseev, S. Yu. Lobanov // *Procedia Structural Integrity*. — 2021. — Vol. 32. — P. 109–116.
2. *Seifi, C.* Solution procedures for block selection and sequencing in flat-bedded potash underground mines / C. Seifi, M. Schulze, J. Zimmerman // *OR Spectrum*. — 2021. — Vol. 43. — P. 409–440.
3. *Zubov, V. P.* Technologies of intensive development of potash seams by longwall faces at great depths: current problems, areas of improvement / V. P. Zubov, D. G. Sokol // *Journal of Mining Institute*. — 2023. — Vol. 264. — P. 874–885.
4. *Шевяков, Л. Д.* Основы теории проектирования угольных шахт. — М.-Л., 1958. — 328 с.
5. Патент № 2428565 С1 Российская Федерация. Способ отработки полезных ископаемых при минимальных потерях и максимальной безопасности горных работ: № 2010123419/03: заявл. 09.06.2010: опубл. 10.09.2011 / К. Н. Трубецкой, М. А. Иофис, И. В. Милетенко [и др.]; заявитель УРАН ИПКОН РАН.
6. Патент № 2415265 С2 Российская Федерация. Способ отработки полезных ископаемых при оптимальных параметрах: № 2009103761/03: заявл. 05.02.2009 : опубл. 27.03.2011 / К. Н. Трубецкой, М. А. Иофис, И. В. Милетенко [и др.]; заявитель УРАН ИПКОН РАН.
7. A case study of displacement, stress condition and failure criterion of surrounding rock in deep super-large section double chambers in the Longgu Coal Mine, Shandong, China / Z. Wang, S. Zhang, D. Fan [et al.] // *Scientific Reports*. — 2024. — Vol. 14. — P. 16850.
8. Geomechanical justification of security measures in the development of the South Khingan deposit of manganese ore / M. Rasskazov, M. Potapchuk, G. Kursakin [et al.] // *E3S Web Conf*. — 2018. — Vol. 56. — P. 02014.
9. *Борщ-Компонице, В. И.* Практическая механика горных пород / В. И. Борщ-Компонице // М.: Горная книга, 2013. — 322 с.: ил.
10. *Чернопазов, Д. С.* Оценка параметра объемного веса пород подрабатываемой породной толщи для условий разработки Верхнекамского месторождения солей / Д. С. Чернопазов, А. И. Секунцов // *Маркшейдерия и недропользование*. — 2020. — № 5 (109). — С. 11–16.
11. Экспериментальное исследование характера и последствий взаимодействия соляных пород с гидрозакладочными рас- солами при подземной разработке месторождений калийных солей / Д. Н. Радченко, Р. В. Бергер, В. И. Татарников, П. О. Зуб- ков // *Маркшейдерия и недропользование*. — 2023. — № 6 (128). — С. 60–67.
12. *Васильчук, М. П.* Анализ геомеханических процессов и причин аварий на Верхнекамском месторождении калий- но-магниевых солей / М. П. Васильчук, М. А. Иофис // *Маркшейдерский вестник*. — 2007. — № 1 (59). — С. 30–32.
13. *Иофис, М. А.* Управление деформационным состоянием массива горных пород при камерной системе разработки калийных месторождений на больших глубинах и в сложных горно-геологических условиях / М. А. Иофис, А. В. Гришин, В. Е. Мараков // *Маркшейдерский вестник*. — 2021. — № 4. — С. 40–43.
14. *Барях, А. А.* Деформирования соляных пород / А. А. Барях, С. А. Константинова, В. А. Асанов. — Екатеринбург: УрО РАН, 1996.
15. *Пинский, В. Л.* Обоснования к основным положениям проекта «Указаний по защите рудников от затопления и охране объектов на земной поверхности от вредного влияния подземных горных разработок в условиях Верхнекамского месторожде- ния калийных солей» / В. Л. Пинский, Б. А. Крайнев, В. Е. Мараков; АО «ВНИИГ» // Научный отчет. — СПб., 1993.

REFERENCES

1. *Baryakh AA, Fedoseev AK, Lobanov SYu.* Deformations and fracture of rock strata during deep level potash mining. *Procedia Structural Integrity*. 2021;32:109-16.
2. *Seifi C, Schulze M, Zimmermann J.* Solution procedures for block selection and sequencing in flat-bedded potash underground mines. *OR Spectrum*. 2021;43:409-40.
3. *Zubov VP, Sokol DG.* Technologies of intensive development of potash seams by longwall faces at great depths: current problems, areas of improvement. *Journal of Mining Institute*. 2023;264:874-85.
4. *Shevyakov LD.* Fundamentals of the theory of designing coal mines. Moscow, 1958 (In Russ.).
5. Patent No. 2428565 C1 Russian Federation. Method of mining minerals with minimal losses and maximum safety of mining operations : No. 2010123419/03: application 09.06.2010 : publ. 10.09.2011 / K. N. Trubetskoy, M. A. Iofis, I. V. Miletchenko [et al.] ; applicant URANIUM IPCON RAS (In Russ.).
6. Patent No. 2415265 C2 Russian Federation. Method of mining minerals at optimal parameters : No. 2009103761/03 : application 05.02.2009 : publ. 27.03.2011 / K. N. Trubetskoy, M. A. Iofis, I. V. Miletchenko [et al.] ; applicant URANIUM IPCON RAS (In Russ.).
7. *Wang Z, Zhang S, Fan D, et al.* A case study of displacement, stress condition and failure criterion of surrounding rock in deep super-large section double chambers in the Longgu Coal Mine, Shandong, China. *Sci Rep*. 2024;14:16850 (In Russ.).
8. *Rasskazov M, Potapchuk M, Kursakin G, et al.* Geomechanical justification of security measures in the development of the South Khingan deposit of manganese ore. *E3S Web Conf*. 2018;56:02014 (In Russ.).
9. *Borsch-Komponietz VI.* Practical mechanics of rocks. Moscow, 2013 (In Russ.).
10. *Chernopazov DS, Sekuntsov AI.* Estimation of the parameter of the volume weight of rocks of the mined rock strata for the conditions of development of the Verkhnekamsk salt deposit. *Surveying and subsoil use*. 2020;5(109):11-6 (In Russ.).
11. *Radchenko DN, Berger RV, Tatarsnikov VI, et al.* Experimental study of the nature and consequences of the interaction of salt rocks with hydraulic brines during underground mining of potash deposits. *Surveying and subsoil use*. 2023;6(128):60-7 (In Russ.).
12. *Vasilchuk MP, Iofis MA.* Analysis of geomechanical processes and causes of accidents at the Verkhnekamsk deposit of potassium and magnesium salts. *Surveying bulletin*. 2007;1(59):30-2 (In Russ.).

13. Iofis MA, Grishin AV, Marakov VE. Control of the deformation state of a rock mass in a chamber system for the development of potash deposits at great depths and in difficult mining and geological conditions. The Surveyor's Bulletin. 2021;4:40-3 (In Russ.).
14. Baryakh AA, Konstantinova SA, Asanov VA. Deformation of salt rocks. Yekaterinburg, 1996 (In Russ.).
15. Pinsky VL, Krainev BA, Marakov VE. Justification for the main provisions of the draft «Guidelines for the protection of mines from flooding and the protection of objects on the Earth's surface (In Russ.).

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ



*Гришин Александр Викторович —
доцент, кандидат технических наук,
генеральный директор, консультант по
геомеханике, ООО «Научно-внедренческая
компания «Горная геомеханика» (ООО «НВК
«Горгеомех»), г. Москва, Россия,
e-mail: info@gorgeomeh.ru*

ABOUT THE AUTHOR

*Alexander V. Grishin —
Associate Professor, Ph.D. of Engineering Sciences,
General Director, Geomechanics Consultant, LLC
Research and Development Company «Mining
Geomechanics» (LLC R&D company «Gorgeomeh»),
Moscow, Russian Federation,
e-mail: info@gorgeomeh.ru*

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ФИЛЬТРАЦИИ И КОЛЬМАТАЦИИ В ОБВОДНЕННОЙ ПРИПОВЕРХНОСТНОЙ ЗОНЕ ПРИ ЕЕ ПОДРАБОТКЕ

В. А. Дрибан, Б. В. Хохлов, Н. А. Дуброва, М. Д. Рожко

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Республиканский академический научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт горной геологии, геомеханики, геофизики и маркшейдерского дела» (РАНИМИ), г. Донецк, ДНР, РФ

Аннотация: Представлены результаты экспериментов по подработке полигона твердых бытовых отходов. Проведены оценки изменения проницаемости массива горных пород под воздействием подработки, опасности проникновения вредных веществ в горные выработки и возможности заболачивания земной поверхности в мульде сдвижения под полигоном твердых бытовых отходов. На основании выполненного прогноза деформаций земной поверхности определены параметры безопасного ведения горных работ у полигона твердых бытовых отходов.

Ключевые слова: полигон твердых бытовых отходов, горная выработка, приповерхностная зона, подработка, кольматация

Для цитирования: Дрибан В. А., Хохлов Б. В., Дуброва Н. А., Рожко М. Д. Исследование процессов фильтрации и кольматации в обводненной приповерхностной зоне при ее подработке // Маркшейдерия и недропользование. 2024. № 4. С. 15-23. https://doi.org/10.56195/20793332_2024_4_15_23.

RESEARCH OF FILTRATION AND COLMATATION PROCESSES IN THE WATERED NEAR-SURFACE ZONE DURING MINING UNDER THE EARTH'S SURFACE

V. A. Driban, B. V. Khokhlov, N. A. Dubrova, M. D. Rozhko

«Republican Academic R&D Institute of Mining Geology, Geomechanics, Geophysics and Mine Surveying» (RANIMI), Donetsk, DPR, Russian Federation

Abstract: The article describes the results of an experiment on the part-time operation of a solid waste landfill. Estimates of changes in the permeability of the rock mass under the influence of mining, the danger of penetration of harmful substances into the mine workings and the possibility of waterlogging of the earth's surface in the drift under the landfill were carried out. A forecast of deformations of the earth's surface under the landfill during lava mining has been made. Based on the research, the parameters of safe mining operations at the landfill were determined. The methodology proposed in the article can serve as a basis for mining reservoir deposits in similar conditions.

Keywords: solid waste landfill, mining, near-surface zone, part-time work, colmatation

For citation: Driban V. A., Khokhlov B. V., Dubrova N. A., Rozhko M. D. Research of filtration and colmatation processes in the watered near-surface zone during mining under the earth's surface. Mine Surveying and Subsoil Use. 2024;(4):15-23. (In Russ.). https://doi.org/10.56195/20793332_2024_4_15_23.

Введение

Полигоны твердых бытовых отходов (ТБО) представляют собой долговременную опасность для людей и окружающей среды. Негативное воздействие полигонов при обычных условиях эксплуатации достаточно хорошо изучено, но ущерб, который будет нанесен в случае их затопления по ряду причин, трудно оценить. Оценив возможный наибольший ущерб эту проблему можно решить, и на ее основе принимать решение.

В Австрии, например, где с 2005 года прекращена добыча угля, разработана методика оценки потенциальных эко-

логических рисков вымывания и эрозии полигонов ТБО, на основе которой принимается решение об их дальнейшем использовании [1] или санации [2]. Подобный подход в районах с активной добычей полезных ископаемых не применим, так как количество факторов, влияющих на процесс фильтрации и кольматации, учесть сложно, а последствия экологической катастрофы могут быть достаточно тяжелыми. Как пример можно привести аварию на шахте «Александр-Запад» (г. Горловка) в 1989 г. в Горловке, над горными выработками которой расположены могильники химических отходов. В течение шести лет небольшие количества

хлорбензола и фенола с водой просачивались в выработки, после чего произошел прорыв химикатов в шахту. Пострадало около 300 человек, и добыча угля на шахте была остановлена [3].

При многократной подработке фильтрационные свойства обводненного деформируемого массива изменяются, и вредные вещества из полигонов ТБО могут попасть в водоносные горизонты, питающие населенные пункты и горные выработки [3]. Единого решения этой проблемы пока нет. Каждая конкретная ситуация требует отдельного подхода, и поэтому исследования в данном направлении весьма актуальны.

Целью исследования является минимизация рисков проникновения вредных веществ из полигона ТБО в водоносные горизонты питьевой воды и горные выработки при максимальном извлечении запасов угля.

Объект исследования: процессы сдвижения, фильтрации и кольматации в обводненной приповерхностной зоне при ее подработке.

Материал и методы

Для исследования процессов фильтрации, кольматации и разработки модели деформирования и сдвижения в обводненной приповерхностной зоне при подработке земной поверхности был проведен эксперимент на шахте «Павлоградская», где в области сдвижения массива горных пород от работы лавы № 423 пласта $c_4 + c_4^H$ попадает полигон ТБО (рис. 1).

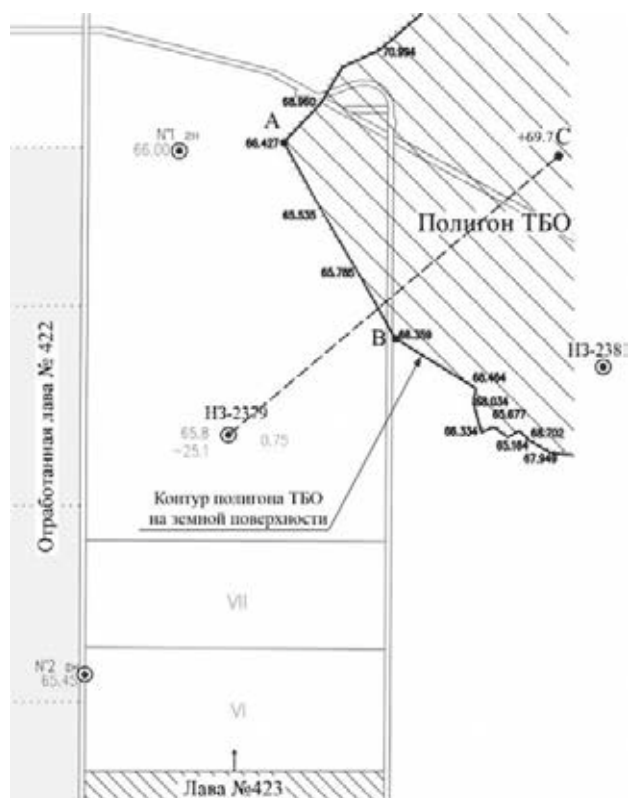


Рис. 1. Выкопировка из плана горных выработок пласта $c_4 + c_4^H$ с поверхностным контуром полигона твердых бытовых отходов

Fig. 1. A copy from the mining plan of the $c_4 + c_4^H$ formation with the surface contour of the landfill

В работе применялся комплексный метод исследования, включающий анализ теоретических и экспериментальных исследований по сдвижению горных пород и содержанию

вредных веществ в воде приповерхностной зоны и в горных выработках.

Ведение очистных работ 423-й лавой по пласту $c_4 + c_4^H$ (рис. 1) производилось в следующих геомеханических условиях:

- средняя глубина отработки — 102 м;
- вынимаемая мощность пласта — 1,05 м;
- угол падения — $1-3^\circ$;
- размеры выемочного участка лавы по линии простирания пласта — 238 м, по линии вкрест простирания пласта — 1 740 м;
- способ управления кровлей — полное обрушение;
- марка угля — Г;
- мощность наносов — 1 м;
- мощность мезозойских отложений — 62 м.

Отработка лавы производилась по восстанию. Среднемесячное подвигание линии очистного забоя составляло 120 м в месяц.

Мощность пород третично-четвертичной толщи на площади поля составляет 60–80 м (рис. 2).

Водоносные горизонты, распространенные на шахтном поле, приурочены к отложениям четвертичного, неогенового, палеогенового, триас-юрского и каменноугольного возрастов. В четвертичных отложениях выделяют два водоносных горизонта: приуроченные к лессовидным суглинкам и в аллювиальных породах долины реки Самары. В этих отложениях постоянно циркулирующих подземных вод не содержится. За счет инфильтрации в низинах они могут насыщаться водой, которая скапливается в песчаных разностях и тонких прослоях песков, содержащихся в суглинках, местами образуя верховодку.

В отложениях неогеновой системы развит водоносный горизонт, заключенный в песках самарского яруса. Этот горизонт приурочен к разнозернистым пескам, содержащим значительный процент глинистого материала, которые обводнены лишь в нижней части мощностью 3–5 м.

Третичные отложения палеогеновой системы представлены сильно обводненными и обладающими свойствами плывунов бурыми и темно-бурыми глинистыми песками бучакской свиты, известковыми глинами, реже мергелями киевской свиты и значительно обводненными сильно глинистыми песками харьковской свиты. Подземные воды заключены в породах киевско-харьковской и бучакской свит, играют основную роль в обводнении горных выработок шахты на тех площадях, где угольные пласты непосредственно выходят под бучакские пески, обладающие плывунными свойствами. Основной водоносный горизонт — Бучакский, имеющий повсеместное распространение. Высота напора составляет от 15–26 до 43 м, коэффициент фильтрации — от 0,007 до 15 м/сут.

Непосредственное участие в обводнении горных выработок принимают водоносные горизонты, приуроченные к отложениям каменноугольного возраста. Водосодержащими породами являются песчаники, известняки и пласты угля. Аргиллиты характеризуются относительно низкой прочностью, что свидетельствует об их слабой литификации, эти породы склонны к набуханию и размоканию в течение 0,5–1 часа. Следовательно, аргиллиты проявляют свойства, присущие глинистым пластичным породам, для которых характерен реологический характер деформирования. В процессе подработки толщи с аргиллитами развитие водопроводящих трещин над выработанным пространством ограничивается в силу проявления кольматационных свойств, смыкания образующихся трещин за счет набухания глинистых пород при разгрузке.

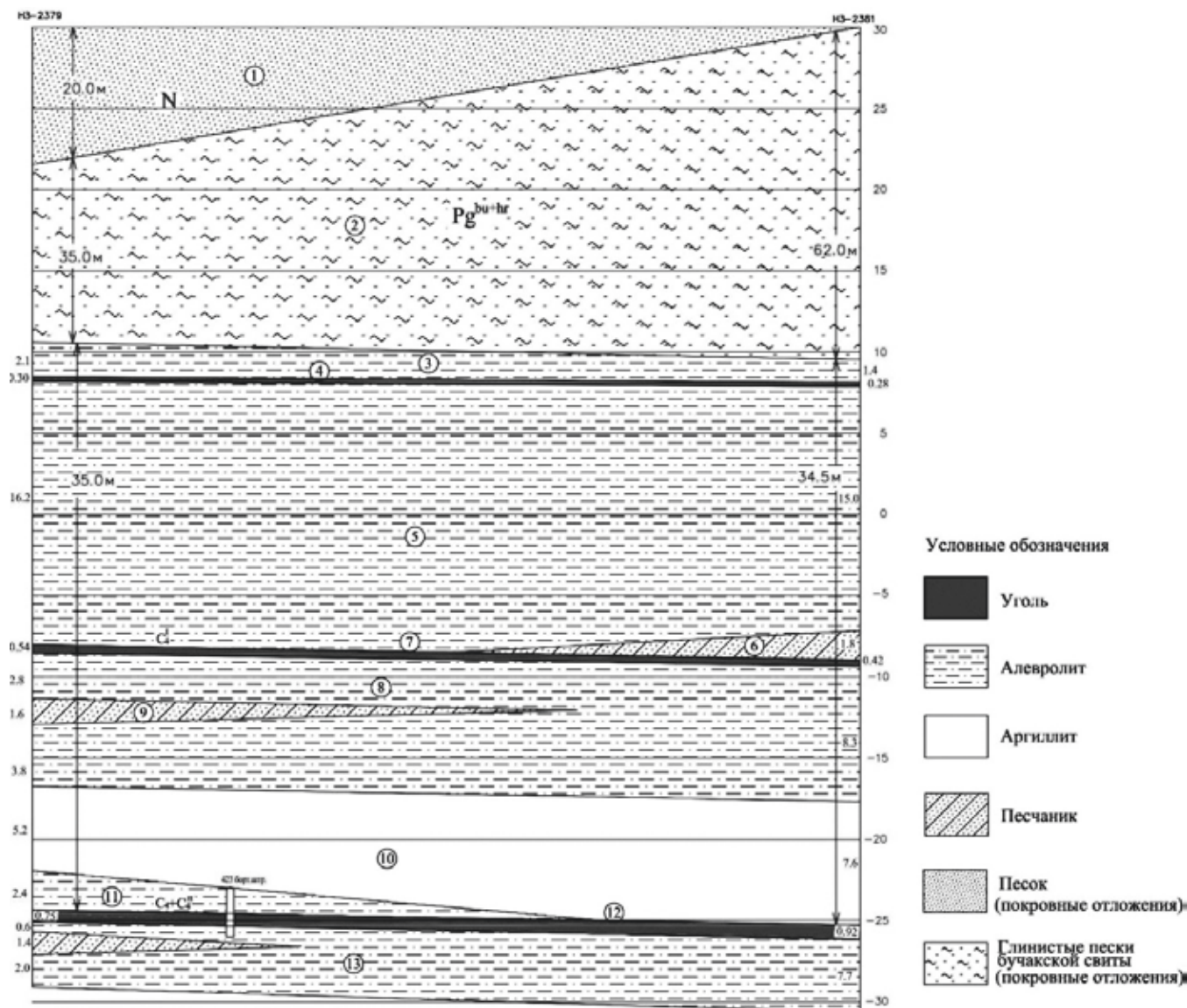


Рис. 2. Геологический разрез по линии скважин НЗ-2379-НЗ-2381 (рис. 1)

Fig. 2. Geological section along the line of wells H3-2379-H3-2381 (Fig. 1)

Результаты исследований

Оценка опасности проникновения вредных веществ в горные выработки

Согласно «Правилам...» [4, 5], перед подработкой мест захоронения промышленных отходов следует производить прогноз опасных зон возможного проникновения вредных веществ в горные выработки. Безопасную глубину разработки одного пласта под подобными объектами определяют в соответствии с [4, 5], в наших условиях безопасная глубина составляет 40 м при фактической глубине разработки 102 м, то есть в данном случае проникновение вредных веществ в горные выработки исключено.

Оценка возможности заболачивания земной поверхности в мульде сдвижения под полигоном технических бытовых отходов

Опасность заболачивания земной поверхности и последующего проникновения вредных веществ в нижние водоносные горизонты и горные выработки из водного объекта, образовавшегося на дне мульды сдвижения, возникает при выполнении двух главных условий:

- мульда сдвижения после подработки земной поверхности с учетом ее первоначального рельефа образует вогнутую форму в виде впадины, где может скапливаться вода;
- уровень верховодки находится выше уровня этой впадины, постоянно подпитывая этот вновь образовавшийся на земной поверхности водный объект.

Характер залегания четвертичных отложений на рассматриваемом участке не предполагает образования верховодки, поэтому анализ второго фактора не требуется. Однако даже в отсутствии постоянного источника водной подпитки в виде верховодки остается возможность наполнения образовавшейся впадины атмосферными осадками. Учитывая факт, что четвертичные отложения имеют повсеместное распространение и представлены лёссовидными суглинками и красно-бурыми глинами, можно дать прогноз: вероятность появления такого водоема незначительна, но все же существует.

Расчеты, выполненные согласно [4, 5], показали, что при отработке пласта $c_4 + c_4^H$ лавой № 423 на земной поверхности ожидается образование плоского дна мульды сдвижения.

Вид графиков абсолютных отметок земной поверхности по контуру (рис. 3) и вкrest контура полигона (рис. 4) указывает на то, что уклон земной поверхности при ее подработке увеличивается, что исключает образование на земной поверхности в районе полигона ТБО какого-либо водного объекта.

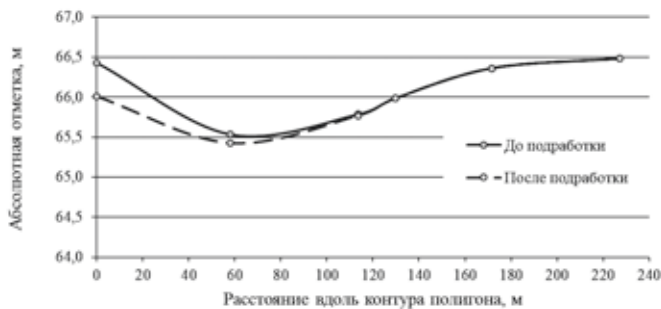


Рис. 3. Абсолютные отметки земной поверхности по линии А–В (см. рис. 1)
Fig. 3. Absolute marks of the Earth's surface along the A–B line (see Fig. 1)

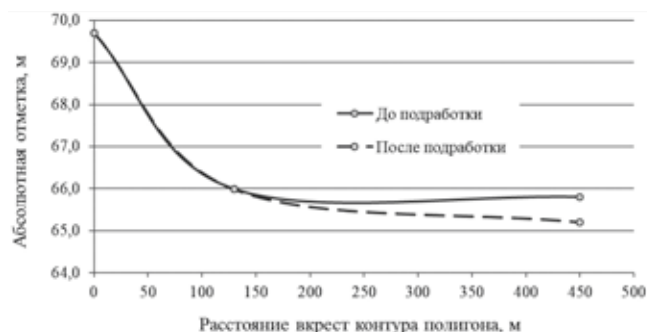


Рис. 4. Абсолютные отметки земной поверхности вкrest контура полигона по линии С-НЗ–2379 (рис. 1)
Fig. 4. Absolute marks of the earth's surface at the intersection of the polygon contour along the line C-H3-2379 (Fig. 1)

Оценка изменения проницаемости массива горных пород под воздействием подработки

Изучение фильтрации в трещиновато-пористых горных породах связано с рассмотрением процессов переноса как в крупных трещинах, так и внутри пористых блоков.

При решении подобных задач для описания линейных процессов обычно используют два вида моделей:

- модель среды с двойной пористостью;
- модель фильтрации с типовым блоком.

Для решения нелинейных задач был использован метод, основанный на моделировании свойств одного из компонентов среды соотношениями наследственного типа [6]. Особенности строения структурных элементов среды, разнообразие законов движения и другие факторы учитываются в предложенной модели с помощью обобщенных кинетических параметров, при таком подходе вмещающие породы рассматриваются как две среды, вложенные одна в другую. Поры и трещины размером от 10^{-6} до 10^{-1} см образуют сложную систему сообщающихся между собой пустот, являющихся транспортными каналами при фильтрации. Геометрические характеристики систем транспортных каналов (густотность, свободный просвет, ориентация и т. д.) определяют важнейшее свойство среды: ее проницаемость.

Еще в 70-е годы прошлого столетия Е. С. Ромм [7, 8] разработал практически универсальную схему получения аналитического выражения проницаемости применительно

к упругой среде с изотропным распределением систем трещин, которая применяется и в современных работах [9, 10].

Для создания аналитической модели проницаемости массива горных пород под воздействием подработки проведен предварительный анализ условий среды.

На первом этапе выбирается некоторая эквивалентная модель среды, структура порового пространства которой соответствует усредненным геометрическим характеристикам порового пространства рассматриваемых типов горных пород. На втором этапе используется какое-либо газо- или гидродинамическое соотношение, связывающее скорость течения флюида в единичном канале $\bar{v}$ с градиентом давления $\bar{\nabla}P$ одним из двух способов. В первом случае соотношения, отражающие характер движения жидкостей и газов, рассматриваются независимо друг от друга, во втором случае используют однотипные соотношения с оговоркой на диапазон удовлетворяющих условий.

Для перехода от скорости течения флюида в отдельных порах к средней скорости фильтрации необходимо отнести его суммарный расход в поперечных к каналам сечениях к единице их площади. При этом скорость фильтрации выражается через скорость течения в единичных трещинах зависимостью Дюпюи – Форхгеймера. Учитывая подобным образом все каналы, в итоге получают линейное соотношение между вектором средней скорости фильтрации и вектором градиента давления, множителем в котором является тензор проницаемости [11, 12].

Тензорный множитель определяет связь между скоростью фильтрации и градиентом давления и представляет по определению тензор проницаемости. Он симметричен, и как всякому симметричному тензору второго ранга ему отвечают три главных направления и три главных значения K_1, K_2, K_3 по этим направлениям.

$$K = \frac{1}{12} \int_{\zeta} a(n) b^2 m_0(n) (\bar{I} - \bar{m}\bar{m}) dS \quad (1)$$

где K – тензор проницаемости;

a – постоянная, связанная с главным значением тензора проницаемости;

b – ширина раскрытия трещин;

m_0 – постоянная, равная модулю деформации сжатия ϵ_y^e , при которой проницаемость практически равна нулю;

I – единичный тензор;

$\bar{m}\bar{m}$ – векторная диада.

Оценка проницаемости при упругом деформировании

При упругом деформировании не происходит образования новых трещин, следовательно, главное значение в изменении проницаемости имеет сжатие и раскрытие первоначальных трещин.

Проницаемость деформируемых горных пород оценивается по формуле

$$K^e = \frac{1}{12} \int_{\zeta} q(n) (1 + \epsilon_m^e / m_0)^3 (I - \bar{m}\bar{m}) dS, \quad (2)$$

где $q(n) = a(n) m_0^3(n) L_1^2(n)$ – функция, характеризующая проницаемость K_0 в недеформированном состоянии ($L_1 = b_0(n) + L(n)$),

$L(n)$ – расстояние между стенками смежных трещин;

ϵ_m^e – нормальная к плоскости трещин деформация.

Влияние неравнокомпонентности напряжений нередко с избытком превышает роль начальной анизотропии, что дает

основание в подавляющем большинстве случаев использовать уравнения (1) и (2) при постоянных q и m_0 :

$$K^e = \frac{q}{12} \int_S (1 - \varepsilon_{nm}^e / m_0)^3 (I - nm) dS, \quad K_0 = \pi q / 9. \quad (3)$$

Случаю $a_1 = a_2 = a_3$ отвечает изотропия начального распределения трещин. При этом

$$a_n = M / 2\pi, \quad m_0 = b_0 / (b_0 + L), \quad L_1 = b_0 = L, \quad (4)$$

где M – общее число систем трещин.

Тогда $q(n) = Mb_0^3 / 2\pi (b_0 + L)$ и выражение (3) принимает вид

$$K_0 = Mb_0^3 / 18(b_0 + L). \quad (5)$$

где b_0 – ширина раскрытия трещин;

L – расстояние между стенками смежных трещин.

При преобладании одной системы трещин ($\theta = 0$) для главных составляющих K_1^2 , K_2^2 , K_{0P} , K_{02} в плоскости трещин

$$K_1^e = K_2^e = K_{01} (1 - \varepsilon_y^e / m_0^e)^3; \quad K_{01} = K_{02} = q / 12, \quad (6)$$

где q и m – постоянные, обладающие простым физическим смыслом;

q – характеризует проницаемость в разгруженном состоянии;

m – равна модулю деформации сжатия ε_y^e , при которой проницаемость практически равна нулю [12].

Оценка проницаемости при необратимом деформировании

В связи с образованием новых трещин при необратимых деформациях необходим их учет путем введения в функцию плотности распределения систем трещин дополнительного слагаемого $\Delta a(\varepsilon^p)$ в виде набора δ – функций для плоскостей сдвига. Тогда проницаемость

$$K = \frac{1}{12} \int_S [a(\bar{n}) + \Delta a(\varepsilon^p)] L_i^2 (m_0 + \varepsilon_{nm})^3 \times (\bar{I} - \bar{nm}) dS. \quad (7)$$

При чисто упругих деформациях $\varepsilon^p = 0$ и $\Delta a(\varepsilon^p) = 0$, а при $\varepsilon^p = 0$ формула (7) разбивается на два слагаемых: K^e – отвечает упругим деформациям, а K^p – необратимым.

$$K = K^e + K^p. \quad (8)$$

При этом

$$K^p = \frac{1}{12} \sum_r L_{ir}^2 (\varepsilon_{mr}^p)^3 (\bar{I} - \bar{nm}), \quad (9)$$

где i – индекс системы плоскостей скольжения с нормалью n ;

r – число таких систем;

L_{ij} – расстояние между трещинами в i -й системе.

Иными словами, формула (9) дает искомую связь основной фильтрационной характеристики горных пород с характеристиками напряженно-деформированного состояния массива. Таким образом, для предварительных оценок изменения проницаемости вмещающих горных пород под воздействием запредельных деформаций будем использовать формулу (9), отражающую влияние необратимых деформаций на изменение проницаемости K^p деформируемых горных пород в случае конечного числа трещин.

На основании вышесказанного и используя формулу

(5) как базовую, оценим изменение проницаемости горных пород, обладающих различной естественной пористостью и трещиноватостью под воздействием предельных и запредельных деформаций растяжения.

Для этого были проведены расчеты, целью которых являлось установление характера изменения проницаемости горных пород, обладающих различной исходной природной пористостью, под воздействием запредельных деформаций. Необходимо подчеркнуть, что в данном случае оценивается влияние «больших» (предельных и запредельных) деформаций, многократно превышающих пределы прочности горных пород и ведущих к их разрушению.

В качестве основного фактора, определяющего изменение проницаемости, рассматривается влияние деформаций растяжения как наиболее значимых для разрушения горных пород [13–15].

Суть расчетов заключается в поэтапном пересчете величины проницаемости горных пород различной начальной трещиноватости после воздействия деформаций предельных и запредельных значений, локализующихся в единичную трещину. Таким образом, формула (5) примет вид

$$K_0 = \frac{M}{18} \cdot \frac{b_0^3}{(b_0 + L)} + \frac{M}{18} \cdot \frac{b_{e0}^3}{(b_{e0} + L_{e0})}, \quad (11)$$

где b_{e0} – ширина раскрытия единичной наибольшей трещины;

L_{e0} – расстояние между стенками смежных трещин (характеризует плотность возникновения «зияющих» трещин).

На рис. 5 и 6 приведены графики изменения проницаемости горных пород с различной начальной густотностью трещин при 5 и 10 % пористости в зависимости от величины деформаций растяжения.

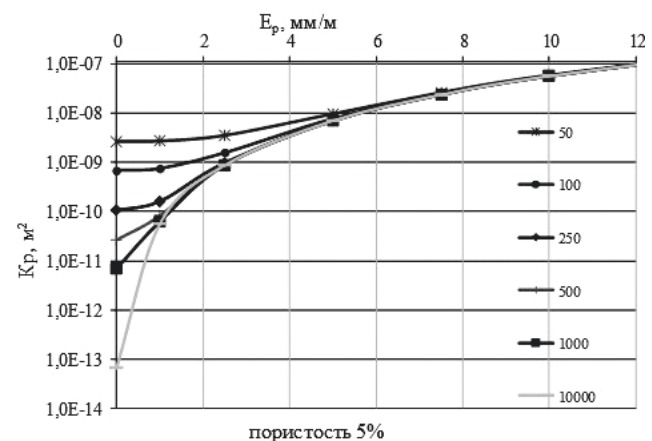


Рис. 5. Изменение проницаемости горных пород пористостью 5 % с различной начальной густотностью трещин и единичной плотностью трещин разрыва

Fig. 5. Change in the permeability of rocks with a porosity of 5 % with different initial crack densities and single crack densities

Согласно данным исследований РАНИМИ, проведенным в разные годы [13–15], где были изучены водно-физические свойства покровных отложений на основании испытаний проб, отобранных при бурении контрольно-разведочных скважин на полях ряда шахт Западного Донбасса, коэффициент фильтрации пород Бучакского водоносного горизонта отличается довольно широкой вариабельностью и изменяется от 0,005 до 0,625 м/ч.

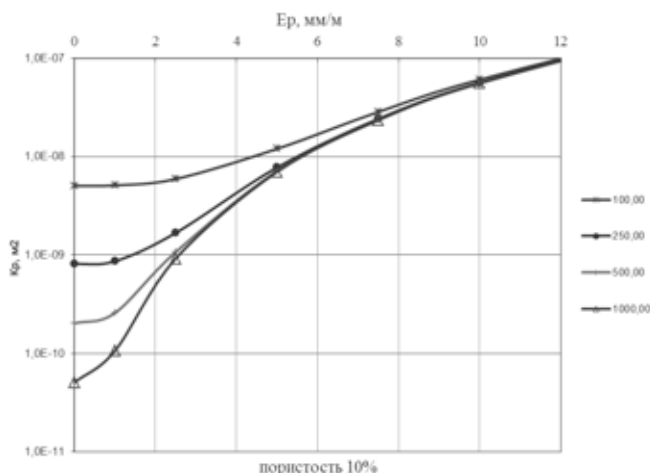


Рис. 6. Изменение проницаемости горных пород пористостью 10 % с различной начальной густотностью трещин и единичной плотностью трещин разрыва

Fig. 6. Change in the permeability of rocks with a porosity of 10 % with different initial crack densities and single fracture crack densities

Таким образом, коэффициент фильтрации достигает значений 0,017 см/сек, что, согласно классификации водопроницаемости горных пород по Н. А. Плотнокову, соответствует III–II группе – проницаемые и хорошо проницаемые породы. С учетом высокой изменчивости проницаемость пород Бучакского водоносного горизонта находится в пределах 10^{-12} – 10^{-10} м².

Следующим обстоятельством, которое необходимо учитывать при оценке экологических последствий деформирования горного массива при подработке, это интенсивность колюматационных процессов.

Результаты исследований РАНИМИ, показывают, что отложения бучакской свиты залегают на размытой поверхности карбона и представлены кварцевыми мелкозернистыми глинистыми песками с довольно слабой водоотдачей. При этом нижележащие аргиллиты характеризуются низкой прочностью, нарушением генетической слоистости, перемятостью и наличием поверхностей скольжения. Эти породы склонны к набуханию и размоканию в течение 0,5–1 часа [16–18]. Следовательно, аргиллиты проявляют свойства, присущие глинистым пластичным породам, для которых характерен реологический характер деформирования. Дополнительно, согласно данным, представленным шахтой, по лавам – аналогам 421 и 425 при первичной посадке кровли происходило усиленное поступление воды с притоком 15–25 м³/ч, но при стабилизации приток уменьшился и составил 5–10 м³/ч.

Исходя из вышесказанного можно утверждать, что в изучаемых условиях имеет место высокая интенсивность колюматационных процессов. При этом за счет колюматации проницаемость массива уменьшается в пять раз и более.

Прогноз деформаций земной поверхности под полигоном твердых бытовых отходов при отработке 423-й лавы пласта $c_4 + c_4''$

В зону влияния 423-й лавы $c_4 + c_4''$ попадает полигон бытовых отходов, допустимость подработки которой следует определять по прогнозу сдвижений и деформаций земной поверхности, выполненному на основании [4, 5, 19].

В процессе отработки объект оказывается в зонах полного сдвижения и перегибов, образующихся в результате

зависания и прогиба породных слоев над выработанным пространством. Сдвигения и деформации земной поверхности на рассматриваемом участке 423-й лавы не будут суммироваться с соответствующими их величинами от соседней отработанной 425-й лавы потому, что разница во времени отработки этих лав превышает продолжительность процесса сдвижения от 425-й лавы. Зона же активизации процесса сдвижения от 425-й лавы находится вне исследуемого участка и поэтому не рассматривается.

Результаты расчетов показали следующее. Максимальная величина оседаний земной поверхности составляет 838 мм, с учетом коэффициента перегрузки – 1005 мм. Распределение оседаний на искомом участке представлено на диаграмме (рис. 7) (см. цветную вклейку на стр. 43).

Расчеты проведены в условной системе координат [4, 5, 20], в которой за 0 принят центр 423-й лавы. Как видно из представленной диаграммы рис. 7, большая часть мульды сдвижения представлена плоским дном. Однако с учетом небольшой глубины подработки большая часть горизонтальных деформаций растяжения реализуется в пределах малых значений полу-мульды сдвижения и поэтому намного превышает допустимые величины [21–23]. Диаграмма ожидаемых горизонтальных деформаций при полной отработке лавы по направлению простирания пласта представлена на рис. 8 (см. цветную вклейку на стр. 43).

Прогноз сдвижений и деформаций земной поверхности на рассматриваемом участке, показал, что расчетные деформации, превышающие допустимые горизонтальные деформации земной поверхности 2 мм/м могут возникать на расстоянии в плане менее 34 м от контура очистной выработки. Поэтому для проведения эксперимента лава должна быть остановлена на расстоянии 34 м от контура полигона ТБО в плане (рис. 9).

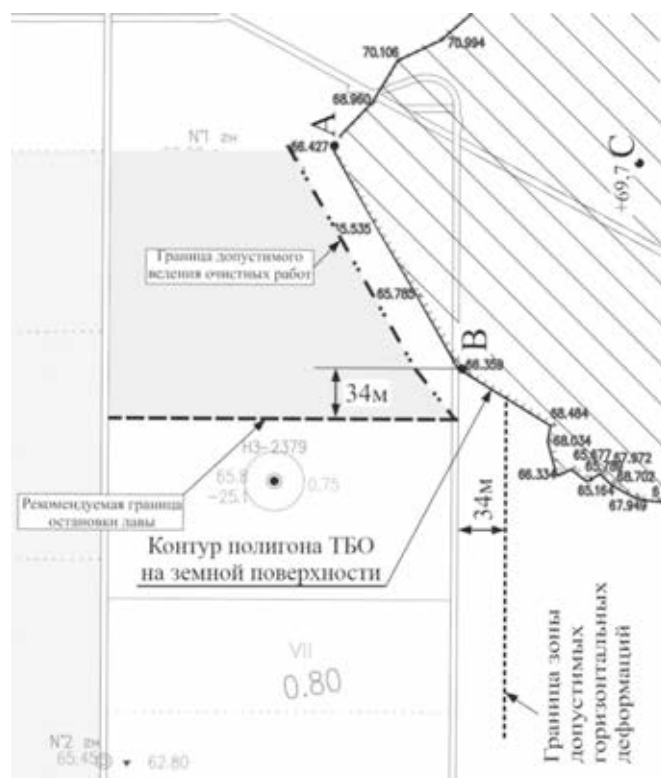


Рис. 9. Схема отработки 423-й лавы при движении вдоль границы допустимого ведения очистных работ

Fig. 9. The scheme of mining the 423rd lava when moving along the boundary of permissible cleaning operations

Заключение

Совместный анализ результатов расчетов изменения проницаемости массива горных пород и численных оценок кольтмационных процессов [16–18] позволяет сделать следующие выводы:

При деформациях растяжения массива до 2 мм/м (рис. 5 и 6) его проницаемость с учетом кольтмации увеличится не более чем в 2–4 раза, что не окажет существенного влияния на протекание фильтрационных процессов и с точки зрения экологической безопасности допустимо.

При увеличении деформаций 4 мм/м и более изменение проницаемости будет носить интенсивный характер: увеличится в 20–100 раз, что приведет к кардинальному изменению геофильтрационных характеристик массива.

При учете очень высоких градиентов полей деформаций при подработке, что в первую очередь связано с малой глубиной отработки пласта $c_4 + c_4^H$, параметры очистной выработки следует выбирать таким образом, чтобы деформации земной поверхности не превышали величину 2 мм/м.

Проведение эксперимента осуществлялось при постоянном контроле водопритоков в горные выработки и анализа воды на загрязнители. Учитывая результаты прогноза сдви-

жений и деформаций земной поверхности в районе полигона ТБО, отработка 423-й лавой пласта $c_4 + c_4^H$ осуществлялась по рекомендуемой границе остановки лавы (рис. 9). Оработка оставшейся части столба осуществлялась постепенным уменьшением линии очистного забоя, двигаясь вдоль границы допустимого ведения очистных работ (рис. 9). С целью снижения степени геомеханического воздействия деформирующегося массива горных пород на земную поверхность было рекомендовано вести отработку лавы безостановочно с постоянной скоростью подвигания очистного забоя 120 м в месяц.

Проникновение вредных веществ из полигона ТБО в горные выработки исключено, так как фактическая глубина разработки 102 м превышает безопасную глубину подработки, которая составляет 40 м.

На земной поверхности в процессе подработки в районе полигона ТБО не происходило застоя воды и осадков потому, что уклон земной поверхности направлен в сторону от полигона.

Фактические горизонтальные деформации земной поверхности по контуру полигона ТБО не превысили 2 мм/м.

Анализ воды из скважин показал, что все показатели по загрязнителям не превышают допустимых норм.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Laner, D. Flooding of municipal solid waste landfills—an environmental hazard / D. Laner, J. Fellner, P. Brunner // Science of The Total Environment. — 2009. — Vol. 407, № 12. — P. 3674–3680.
2. Hrad, M. Performance and completion assessment of an in-situ aerated municipal solid waste landfill — Final scientific documentation of an Austrian case study / M. Hrad, M. Huber-Humer // Waste Management. — 2017. — Vol. 63. — P. 397–409.
3. Дуброва, Н. А. Оценка изменения фильтрационных свойств деформируемого массива в результате многократной подработки / Н. А. Дуброва // Вісник КрНУ. — 2014. — Т. 1, № 84. — С. 96–106.
4. Правила охраны сооружений и природных объектов от вредного влияния подземных горных разработок на угольных месторождениях. — СПб.: ВНИИ, 1998. — 291 с.
5. ГСТУ 101.00159226.001-2003. Правила подработки зданий, сооружений и природных объектов при добыче угля подземным способом. Введ. 28.11.03. — Донецк: УкрНИИ, 2003. — 128 с.
6. Линьков, А. М. Об источниках наследственного типа в задачах переноса / А. М. Линьков, Е. Д. Ходырев // ДАН СССР. — 1988. — Т. 302, № 2. — С. 280–283.
7. Ромм, Е. С. Фильтрационные свойства трещиноватых горных пород / Е. С. Ромм. — М.: Недра, 1966. — 282 с.
8. Ромм, Е. С. Структурные модели порового пространства горных пород / Е. С. Ромм. — Л.: Недра, 1985. — 240 с.
9. Стулов, П. А. Современные технологии создания модели порового пространства горных пород / П. А. Стулов, А. А. Егоров, Т. В. Гавриленко // Вестник кибернетики. — 2019. — № 1 (33). — С. 47–54.
10. Маляренко, А. М. Методическое обоснование достоверности определения фильтрационно-емкостных свойств и структуры порового пространства неоднородных глинизированных коллекторов: автореф. дис. ... канд. геол.-минер. наук / А. М. Маляренко. — Уфа, 2021. — 24 с.
11. Бабелло, В. А. Развитие методов оценки физико-механических свойств горных пород в массиве для геомеханического обеспечения открытой угледобычи: автореф. дис. ... д-ра техн. наук / В. А. Бабелло. — М., 2010. — 35 с.
12. Расчетные методы в механике горных ударов и выбросов / И. М. Петухов, А. М. Линьков, В. С. Сидоров [и др.]. — М.: Недра, 1992. — 256 с.
13. Кулибаба, С. Б. Оценка влияния очистных выработок на технические скважины / С. Б. Кулибаба, Б. В. Хохлов // Уголь Украины. — 2004. — № 9. — С. 26–27.
14. Хохлов, Б. В. Рациональное ведение очистных работ в зонах влияния на технические скважины / Б. В. Хохлов, С. Б. Кулибаба // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія гірничо-геологічна: зб. наук. пр. — Донецьк, 2009. — № 5. — С. 316–326.
15. Хохлов, Б. В. О прогнозе сдвижений и деформаций околоствольного массива в зоне влияния очистных работ на вентиляционный ствол № 2 шахты «Терновская» при наличии обводненного слоя горных пород / Б. В. Хохлов, М. Д. Рожко // Труды РАНИМИ: сб. науч. тр. — Донецк, 2023. — № 23 (38). — С. 21–26.
16. Гараева, А. Н. Особенности кольтмации порового пространства в напряженно-деформируемых глинистых коллекторах / А. Н. Гараева, Э. А. Королев, М. Г. Храмченков // Нефтяное хозяйство. — 2017. — № 8 — С. 72–74.
17. Тиаб, Д. Петрофизика: теория и практика изучения коллекторских свойств горных пород и движения пластовых флюидов / Д. Тиаб, Э. Ч. Доналдсон; пер. с англ. М. Д. Углова; под ред. В. И. Петерсилье, Г. А. Белёвского. — 2-е доп. изд. — М.: Премиум Инжиниринг, 2009. — 838 с.
18. Структура фильтрационной кривой и способы ее аппроксимации: Часть 3: Уравнения для аппроксимации фильтрационной кривой / Н. А. Меренцов, В. А. Балашов, А. Б. Голованчиков [и др.] // Вестник Тамбовского государственного технического университета. 2021. — Т. 27, № 3. — С. 401–414.
19. Расположение, охрана и поддержание горных выработок при отработке угольных пластов на шахтах: Руководящий документ / РАНИМИ; Утв. Мин. угля и энергетики ДНР 15.04.21. — Донецк, 2021. — 267 с.
20. Дрибан, В. А. Трансформация геологической среды в угледобывающих регионах / В. А. Дрибан, Н. А. Дуброва // Экологические аспекты горного и перерабатывающего производства: мат.-лы VII науч.-техн. конф. — М.: ВНИПИпромтехнологии, 2022. — С. 102–112.

21. Гавриленко, Ю. Н. Основные принципы моделирования сдвижений и деформаций земной поверхности методом конечных элементов / Ю. Н. Гавриленко, А. Г. Петрушин // Наукові праці ДонНТУ. Серія гірничо-геологічна. — Донецьк, 2003. — Вип. 62. — С. 100–114.
22. Дрибан, В. А. Влияние обводненности массива горных пород вокруг выработок на НДС при подземной разработке угольных пластов в пространственной постановке задачи / В. А. Дрибан, А. Г. Петрушин // Труды РАНМИ: сб. науч. тр. — Донецк, 2022. — № 18–19 (33–34). — С. 39–81.
23. Усанов, С. В. Мониторинг трансформации структуры горного массива под влиянием процесса сдвижения / С. В. Усанов, В. В. Мельник, А. Л. Замятин // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. — Новосибирск: изд-во Сиб. отд. РАН, 2013. — № 6. — С. 83–89.

REFERENCES

- Laner D, Fellner J, Brunner PH. Flooding of municipal solid waste landfills-an environmental hazard. Science of The Total Environment. 2009;407(12):3674–3680.
- Hrad M, Huber-Humer M. Performance and completion assessment of an in-situ aerated municipal solid waste landfill — Final scientific documentation of an Austrian case study. Waste Management. 2017;63:397–409.
- Dubrova N. A. Assessment of changes in the filtration properties of a deformable array as a result of multiple sidework. Bulletin of Kremenchug National University. 2014;1:96–106 (In Russ.).
- Rules for the protection of structures and natural objects from the harmful effects of underground mining in coal deposits. St. Petersburg, 1998 (In Russ.).
- SSU 101.00159226.001 — 2003. Rules for undermining buildings, structures and natural objects in the course of underground coal mining. Intr. 01.01.2004. Donetsk, 2004 (In Russ.).
- Linkov AM, Khidyrev ED. On the sources of hereditary type in transfer problems. DAN USSR. 1988;302(2):280–83 (In Russ.).
- Romm ES. Filtration properties of fractured rocks. Moscow: Nedra, 1966 (In Russ.).
- Romm ES. Structural models of the pore space of rocks. Leningrad: Nedra, 1985 (In Russ.).
- Stulov PA, Egorov AA, Gavrilenko TV. Modern technologies for creating a model of the pore space of rocks. Bulletin of Cybernetics. 2019;1(33):47–54 (In Russ.).
- Malyarenko AM. Methodological substantiation of the reliability of determining the filtration-capacitance properties and structure of the pore space of heterogeneous clay reservoirs. Ufa, 2021 (In Russ.).
- Babello VA. The development of methods for assessing the physical and mechanical properties of rocks in the massif for geomechanical support of open-pit coal mining: abstract. Moscow, 2010 (In Russ.).
- Petukhov IM, Linkov AM, Sidorov et al. Computational methods in the mechanics of rock impacts and emissions: a reference guide. Moscow, 1992 (In Russ.).
- Kulibaba SB, Khokhlov BV. Assessment of the impact of treatment workings on technical wells. Coal of Ukraine. 2004;9:26–7 (In Russ.).
- Khokhlov BV, Kulibaba SB. Rational management of cleaning operations in the zones of influence on technical Wells. Scientific works of Donetsk National Technical University. Mining and geological series. 2009;5:316–26 (In Russ.).
- Khokhlov BV, Rozhko MD. On the forecast of displacements and deformations of the near-barreled massif in the zone of influence of cleaning works on the ventilation shaft No. 2 of the Ternovskaya mine in the presence of a watered layer of rocks. Proceedings of RANIMI: collection of scientific tr. 2023;23(38):21–6 (In Russ.).
- Garaeva AN, Korolev EA, Khramachenkov MG. Features of pore space colmatation in stress-deformable clay reservoirs. Oil industry. 2017;8:72–4 (In Russ.).
- Tiab D, Donaldson E C. Petrophysics: theory and practice of studying the reservoir properties of rocks and the movement of reservoir fluids. Moscow, 2009 (In Russ.).
- Merentsov NA, Balashov VA, Golovanchikov et al. The structure of the filtration curve and methods of its approximation. Part 3. Equations for approximating the filtration curve. Bulletin of the Tambov State Technical University. 2021;27(3):401–14 (In Russ.).
- Location, protection and maintenance of mine workings during mining of coal seams in mines. Guidance document. Approved by the Ministry coal and energy of the DPR 04/15.21. — Donetsk, 2021 (In Russ.).
- Driban VA, Dubrova NA. Transformation of the geological environment in coal-mining regions. Ecological aspects of mining and processing productions. Moscow, 2022:102–12 (In Russ.).
- Gavrilenko YuN, Petrushin AG. Basic principles of modeling displacements and deformations of the Earth's surface by the finite element method. Naukovi prati DonNTU. 2003;62:100–14 (In Russ.).
- Driban VA, Petrushin AG. The influence of the waterlogging of the rock mass around the workings on VAT during underground mining of coal seams in the spatial formulation of the problem. Proceedings of RANIMI: collection of scientific tr. 2022;18–19 (33–34):39–81 (In Russ.).
- Usanov SV, Melnik VV, Zamyatin AL. Monitoring the transformation of the structure of a mountain range under the influence of the process of displacement. Physico-technical problems of mining. 2013;6:83–9 (In Russ.).

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ



Дрибан Виктор Александрович — доктор технических наук, старший научный сотрудник, и.о. директора Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Республиканский академический научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт горной геологии, геомеханики, геофизики и маркшейдерского дела», г. Донецк, ДНР, РФ, Scopus Author ID 55963516100, e-mail: viktor-driban@yandex.ru

ABOUT THE AUTHORS

Alexander V. Grishin — Associate Professor, Ph.D. of Engineering Sciences, General Director, Geomechanics Victor A. Driban — Dr. Sc. (Tech.), Senior Researcher, Acting Director of the Republican Academic R&D Institute of Mining Geology, Geomechanics, Geophysics and Mine Surveying (RANIMI), Donetsk, DPR, Russian Federation, Scopus Author ID 55963516100, e-mail: viktor-driban@yandex.ru



Хохлов Борис Валентинович – кандидат технических наук, старший научный сотрудник, заведующий отделом горного давления, Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Республиканский академический научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт горной геологии, геомеханики, геофизики и маркшейдерского дела», г. Донецк, ДНР, РФ, e-mail: hbv@bk.ru

Boris V. Khokhlov – Ph. D. (Tech.), Senior Researcher, Head of Rock Pressure Department, Republican Academic R&D Institute of Mining Geology, Geomechanics, Geophysics and Mine Surveying (RANIMI), Donetsk, DPR, Russian Federation, e-mail: hbv@bk.ru



Дуброва Наталья Александровна – кандидат технических наук, старший научный сотрудник отдела гидрогеомеханических исследований и охраны недр, Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Республиканский академический научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт горной геологии, геомеханики, геофизики и маркшейдерского дела», г. Донецк, ДНР, РФ, e-mail: dubrovan@mail.ru

Dubrova Natalia Aleksandrovna – Ph. D. (Tech.), Senior Researcher of the Department of Hydrogeomechanical Research and Protection of Mineral Resources, Republican Academic R&D Institute of Mining Geology, Geomechanics, Geophysics and Mine Surveying (RANIMI), Donetsk, DPR, Russian Federation, e-mail: dubrovan@mail.ru.



Рожко Марина Дмитриевна – кандидат технических наук, старший научный сотрудник отдела горного давления, Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Республиканский академический научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт горной геологии, геомеханики, геофизики и маркшейдерского дела», г. Донецк, ДНР, РФ, e-mail: mdr6464@mail.ru

Marina D. Rozhko – Ph. D. (Tech.), Senior Researcher of the Department of Mining Pressure, Republican Academic R&D Institute of Mining Geology, Geomechanics, Geophysics and Mine Surveying (RANIMI), Donetsk, DPR, Russian Federation, e-mail: mdr6464@mail.ru

КРИТЕРИИ АВТОРСТВА / CONTRIBUTION:

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

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ / CONFLICT OF INTEREST:

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

ОЦЕНКА УСТОЙЧИВОСТИ ОТКОСОВ УСТУПОВ КАРЬЕРА «НЕЖДАНИНСКОЕ»

В. В. Арно¹, Е. П. Колесниченко², И. Ю. Гарифулина¹, Н. Е. Ломакина¹, Е. Ю. Тимченко¹, Е. А. Миккельсен¹

¹ФГБОУ ВО «Северо-Восточный государственный университет (Политехнический институт)», г. Магадан, Россия

²ВШЭ МГУ им. М. В. Ломоносова, г. Москва, Россия

Аннотация: Приведены результаты исследований и оценки устойчивости откосов уступов карьера «Нежданинское». Установлены оптимальные углы откосов уступов для условий карьера «Нежданинское», выявлены возможные механизмы разрушения откосов, обсуждены причины деформаций и проведен анализ возможных сценариев деформирования. Определено, что безопасность и устойчивость откосов уступов карьера важны для предотвращения обрушений и минимизации рисков. Применение новых технологий и методов оценки позволяет повысить эффективность управления устойчивостью откосов. Результаты исследования применимы к проектированию, горным работам и обеспечению безопасности на карьере «Нежданинское» и аналогичных объектах горнодобывающей отрасли.

Ключевые слова: устойчивость, борт, уступ, карьер, подсекающие трещины, подрезка откосов

Для цитирования: Оценка устойчивости откосов уступов карьера «Нежданинское» / В. В. Арно, Е. П. Колесниченко, И. Ю. Гарифулина [и др.] // Маркшейдерия и недропользование. 2024. №4. С. 24-29. https://doi.org/10.56195/20793332_2024_4_24_29.

ASSESSMENT OF THE STABILITY OF THE SLOPES OF THE LEDGES OF THE NEZHDANINSKOYE QUARRY

V. V. Arno¹, E. P. Kolesnichenko², I. Y. Garifulina¹, N. E. Lomakina¹, E. Y. Timchenko¹, E. A. Mikkelsen¹

¹North-Eastern State University (Polytechnic Institute), Magadan, Russian Federation

²Higher School of Economics of Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russian Federation

Abstract: The article presents the results of research on the assessment of the stability of the slopes of the ledges of the Nezhdaninskoye quarry. The optimal slope angles of the ledges for the conditions of the Nezhdaninskoye quarry were established, possible mechanisms of slope destruction were identified, the causes of deformations were discussed and possible deformation scenarios were analyzed. It is determined that the safety and stability of the slopes of the ledges of the quarry are important for preventing collapses and minimizing risks. The use of new technologies and assessment methods makes it possible to increase the effectiveness of slope stability management. The results of the study are applicable to the design, mining and safety at the Nezhdaninskoye quarry and analog mining facilities.

Keywords: stability, side, ledge, quarry, cutting cracks, trimming slopes

For citation: Arno V. V., Kolesnichenko E. P., Garifulina I. Y., et al. Assessment of the stability of the slopes of the ledges of the Nezhdaninskoye quarry. Mine Surveying and Subsoil Use. 2024;(4):24-29. (In Russ.). https://doi.org/10.56195/20793332_2024_4_24_29.

Введение

Оценка устойчивости откосов уступов карьера является критически важным аспектом в горнодобывающей промышленности и инженерной геологии, обусловленным необходимостью обеспечения безопасности труда и минимизации экологических рисков. Этот процесс заключается в анализе физических и механических характеристик горных пород, составляющих откосы уступов, для определения вероятности их обрушения.

В первую очередь устойчивость откосов карьера влияет на безопасность работников. Обвалы и оползни могут привести к человеческим жертвам, а также повлечь за собой значительные финансовые потери из-за остановки производственных про-

цессов. Вторым важным аспектом является защита окружающей среды. Неконтролируемые обрушения могут привести к загрязнению водных источников, уничтожению флоры и фауны, изменению ландшафта. Поэтому актуальность и важность оценки устойчивости откосов не подлежит сомнению [1–9].

Высокая значимость данной оценки обусловлена также и экономическим аспектом. Правильное планирование горных работ с учетом устойчивости откосов позволяет оптимизировать объемы добычи полезных ископаемых, минимизировать затраты на обеспечение безопасности и предотвращение обрушений, а также снизить вероятность возникновения непредвиденных расходов, связанных с ликвидацией последствий обвалов.

Специалисты в области горной механики и геотехники давно изучают эту проблему и разработали множество методов и моделей для оценки устойчивости откосов. Одним известным методом оценки устойчивости откосов является метод среза, разработанный Хеффингом в 1970-х годах. Он основывается на определении предельной силы среза грунта и оценке устойчивости откосов по соотношению между предельной силой среза и расчетной силой на откосе. Этот метод также широко используется при проектировании и эксплуатации карьеров.

Кроме того, существует большое количество научных статей и исследований, посвященных оценке устойчивости откосов уступов карьеров. Среди них можно отметить работы Переры и Гунаратне, Дж. Ли и Дж. Ванга, Еремеева и других исследователей, которые разработали новые методы и модели для оценки устойчивости откосов. Они использовали различные теоретические и экспериментальные подходы, включая использование численных моделей, физических моделей и полевых испытаний [11–17].

Основной целью при оценке устойчивости откосов уступов карьера «Нежданское» является определение факторов, влияющих на устойчивость, и оптимальных условий для проведения работ по добыче полезных ископаемых.

Методология исследования в данной работе включает:

- анализ физико-механических свойств горных пород и их контактов. Исследования проводятся для определения параметров, таких как плотность, сцепление и угол внутреннего трения, которые влияют на устойчивость откосов уступов;
- анализ падения и простираения трещин относительно положения уступа. Этот анализ позволяет определить возможные механизмы разрушения откоса и выбрать соответствующую схему расчета устойчивости;
- расчеты устойчивости уступов по различным схемам. Они выполняются с использованием соответствующих формул и параметров горных пород и контактов;
- оценка устойчивости уступов по коэффициенту запаса. После выполнения расчетов устойчивости уступов полученные значения сравниваются с нормативными значениями коэффициента запаса. Если коэффициент запаса не ниже нормативного, то устойчивость уступов считается обеспеченной;
- исследование причин деформаций уступов.

Обсуждение результатов исследований

Оценка устойчивости откосов уступов осуществляется исходя из физико-механических свойств горных пород и их контактов, а также анализа падения и простираения трещин относительно положения уступа.

При отсутствии в массиве поверхностей ослабления, способных реализоваться в поверхности скольжения, расчет устойчивости уступа выполняется по схеме однородного откоса.

В случае наличия потенциальных поверхностей ослабления расчет устойчивости уступов выполняется по схемам, позволяющим учесть соответствующие возможные механизмы разрушения откоса.

По проекту углы откосов 30-метровых уступов в конечном положении в горных породах, незатронутых выветриванием, приняты 65° и 70°.

При анализе элементов залегания естественных трещин и азимутов падения уступов на карьере «Нежданское» выявлены следующие возможные схемы деформирования откосов уступов:

- однородный откос,
- плоское разрушение по трещине,
- клин.

Оценка устойчивости по схеме однородного откоса выполнена при условии отсутствия поверхностей ослабления [18].

При наличии подсекающих трещин уступы рекомендовано заоткашивать под углами наклона этих трещин. Однако при небольшой высоте откос допустимо формировать под более крутыми углами [13].

При условии подрезки откосов горными работами оценка их устойчивости при падении поверхностей ослабления (контактов слоев) в выработанное пространство под углом, большим угла трения ($\beta > \varphi$), и при угле откоса уступа, большим угла падения поверхности ослабления ($\alpha > \beta$), произведена по следующей формуле

$$h_y = \frac{2C' \cdot \cos \varphi' \cdot \sin \alpha}{p \cdot \sin(\beta - \varphi') \cdot \sin(\alpha - \beta)}, \quad (1)$$

где α – угол откоса уступа;

β – угол наклона слабого контакта;

C' и φ' – сцепление и угол трения по контакту;

p – плотность пород массива.

Оценка устойчивости уступа при неблагоприятном залегании относительно уступа двух пересекающихся трещин (вывал клиновидных отдельностей) выполнена по формуле

$$h = \frac{3C' \sqrt{1 + \tan^2 \psi \left(\frac{\sin \beta_1}{\sin \beta_2} + \frac{\sin \beta_2}{\sin \beta_1} \right)}}{\gamma \sin(\beta_1 + \beta_2) \cdot (\cot \gamma \lambda_2 - \cot \gamma \alpha) \cdot (\tan \psi - \tan \varphi')}, \quad (2)$$

Для расчетов устойчивости уступов приняты физико-механические свойства горных пород и контактов, приведенные в таблице 1. Коэффициент запаса устойчивости для откосов уступов, поставленных в конечное положение, принят $n = 1,5$.

Расчеты устойчивости бортов карьеров показали, что при учете в расчетах сейсмического воздействия с интенсивностью колебаний 7 баллов коэффициент запаса не снижается менее 1,05. Поэтому для уступов приводятся результаты расчетов, как для обычных условий.

В результате анализа элементов залегания трещиноватости и азимутов падения откосов уступов были выполнены расчеты устойчивости уступов с учетом наиболее вероятной схемы деформирования, которые показали, что устойчивость уступов обеспечивается с коэффициентом запаса не ниже нормативного.

Отсюда следует, что данные параметры откосов уступов могут быть обеспечены только при применении технологий щадящего взрывания.

По оценке исследований и расчетов устойчивости уступов карьеров не выявлено причин и оснований для возникновения деформаций (в том числе локальных обрушений) уступов на предельном контуре карьеров. Однако на практике формирование уступов на предельном контуре карьеров сопровождается локальными обрушениями верхней приоткосной части уступов с уменьшением ширины предохранительных берм.

Эти обрушения могут быть вызваны тремя такими причинами, как:

1) не выявленные на стадии разведки или неучтенные в ранее проведенных расчетах поверхности ослабления массива, имеющие падение в направлении выработанного пространства карьера;

Таблица 1/ Table 1

Физико-механические свойства горных пород в массиве, принятые для расчетов устойчивости бортов и уступов Нежданинского месторождения
Physico-mechanical properties of rocks in the massif used to calculate the stability of the sides and ledges of the Nezhdaninsky deposit

Наименование породы /	Плотность ρ , кг/м ³	Сцепление в массиве C , Мпа	Угол внутреннего трения (для контактов – угол трения) φ (φ'), град.
Четвертичные отложения: щебенистый и дресвяный грунт с суглинистым заполнителем до 30 %, маловлажный	2 110	0,006	36
Скальные породы, слагающие прибортовой массив, преимущественно из алевролитов и его разновидностей	2 700	0,820	34
Кварцевый жильный агрегат	2 620	0,640	24
Контакт для уступов для бортов	-	0,100 0,165	28 28

2) разрушение структуры приоткосной части уступов буровзрывными работами;

3) ослабление междублочных связей и дезинтеграция массива под воздействием тектонических сил.

Устойчивость уступов в скальных породах зависит от наличия, ориентировки и прочностных свойств поверхностей ослабления в массиве. Для условий карьера «Нежданинское» наибольшее влияние на устойчивость уступов оказывают трещины с углами падения в сторону выработанного пространства карьера 40°, 50° и 60°, имеющие низкие прочностные свойства. Расчеты устойчивости уступов были выполнены по формуле

$$H = \frac{2C_n' \cos \varphi_n' \sin \alpha}{\gamma \sin(\alpha - \beta) \sin(\beta - \varphi_n')}, \quad (3)$$

где H – высота уступа, м;

C_n' – сцепление по поверхности ослабления, т/м²;

α – угол откоса уступа;

φ_n' – угол трения по поверхности ослабления, град.;

γ – плотность пород, т/м³;

β – угол падения поверхности ослабления в сторону выработанного пространства карьера, град.

Для расчетов устойчивости уступов были приняты средние прочностные свойства по результатам испытаний образ-

цов пород на сдвиг по распилу: $C' = 10$ т/м²; $\varphi_n' = 28^\circ$. Кроме того, приведены эти же показатели при сдвиге по естественной трещине: $C' = 33$ т/м²; $\varphi' = 28,1^\circ$.

В соответствии нормативными требованиями для определения предельных параметров уступов величина коэффициента запаса устойчивости должна составлять не менее 1,5, так как в этом случае наиболее напряженная поверхность скольжения практически полностью располагается в зоне влияния процессов выветривания, разуплотнения и буровзрывных работ, проводимых в разрезе.

Для расчетов приняты наиболее низкие прочностные характеристики поверхностей ослабления, которые с учетом коэффициента запаса $n = 1,5$ составляют $C_n' = 6,7$ т/м²; $\varphi_n' = 19,5^\circ$. В расчетах угол откоса уступа варьировался от 50° до 80°, а угол падения поверхности ослабления – от 45° до 75°.

Результаты расчетов по (3) отражены в таблице 2, в которой в зависимости от ориентировки поверхности ослабления в массиве при выбранной высоте уступа можно определить устойчивый угол его погашения на предельном контуре карьера.

Таблица 2 / Table 2

Зависимость устойчивого угла откоса уступа от его высоты при различных углах падения поверхности ослабления
Dependence of the stable slope angle of the ledge on its height at different angles of incidence of the attenuation surface

Угол откоса уступа, град.	Высота уступа H , м						
	$\beta = 45^\circ$	$\beta = 50^\circ$	$\beta = 55^\circ$	$\beta = 60^\circ$	$\beta = 65^\circ$	$\beta = 70^\circ$	$\beta = 75^\circ$
50	95,5						
55	51,2	86,6					
60	36,3	45,9	80,0				
65	28,7	32,2	42,0	74,9			
70	24,1	25,3	29,2	38,9	70,7		
75	20,9	21,0	22,7	26,8	36,4	67,1	
80	18,6	18,1	18,7	20,7	24,9	34,3	64,5

Устойчивые углы откоса уступов приведены в таблице 3.

Таблица 3 / Table 3

Устойчивые углы откоса уступов высотой 30 м при различных углах падения поверхности ослабления
Stable slope angles of ledges with a height of 30 m at different angles of incidence of the attenuation surface

Угол падения поверхности ослабления β , град.	Угол откоса 30-метрового уступа α , град.
45	63
50	67
55	69
60	73
65	77

Заключение

Исходя из анализа полученных результатов выяснено, что наибольшая вероятность обрушений 30-метровых уступов с углом погашения 70°, особенно вблизи верхней бровки, наблюдается при углах падения поверхностей

ослабления массива в направлении выработанного пространства карьера $\beta = 45\text{--}55^\circ$, а уступов с углом погашения 65° — при $\beta = 35\text{--}45^\circ$.

Результаты полевых исследований структурного строения массива показывают: обрушения верхней части уступов происходят по поверхностям, имеющим падение в карьер под углами $\beta = 40^\circ$, $\beta = 50^\circ$, $\beta = 60^\circ$.

Расчеты выполнены для сухих гладких ровных трещин без заполнителя. Наличие заполнителя с более низкими прочностными свойствами увеличивает вероятность потери устойчивости уступов (особенно верхней части) и диапазон опасных углов наклона трещин. Следует также учитывать снижение прочностных свойств заполнителя трещин в результате его оттаивания и увлажнения.

В контексте современных требований к безопасности и экономической эффективности добычных процессов вопрос оценки устойчивости откосов уступов карьера приобретает особую актуальность. Изменчивость геологических условий, динамическое воздействие горнодобывающей деятельности и изменение климатических условий требуют развития и адаптации существующих методов анализа устойчивости и разработки новых подходов.

Акцентируя внимание на перспективах развития методов оценки, необходимо отметить, что ведутся исследования, направленные на увеличение точности прогнозов устойчивости, интеграцию геотехнического мониторинга и развитие численных методов анализа. Современные технологии, такие как лазерное сканирование и дистанционное зондирование Земли, уже активно внедряются в практику для получения актуальных данных о состоянии

откосов в реальном времени. Это позволяет оперативно обновлять модели устойчивости и повышать надежность прогнозов.

Будущее оценки устойчивости откосов уступов карьера представляется через призму прикладного использования искусственного интеллекта и машинного обучения. Аналитические системы на основе этих технологий способны анализировать большие массивы данных, идентифицировать закономерности и предвещать потенциальные опасности на основе исторических и текущих условий. Такой подход может существенно повысить эффективность принятия решений по управлению устойчивостью откосов.

Кроме того, развитие материаловедения и строительных технологий также окажет влияние на повышение устойчивости откосов. Инновационные материалы и методы укрепления, такие как геосинтетика, биоматы, химические стабилизаторы и технологии 3D-печати, открывают новые возможности для повышения устойчивости откосов и уменьшения воздействия на окружающую среду [12–15].

Развитие методов оценки устойчивости откосов уступов карьера является многоаспектным процессом, который требует интеграции достижений в области геологии, геотехники, инженерной геологии, информационных технологий и экологии. Прогнозируется, что мультидисциплинарный подход и инновационные технологии будут ключевыми факторами в совершенствовании методов оценки и повышении устойчивости откосов уступов, обеспечивая безопасность и продуктивность добычных процессов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абуханов, А. З. Механика грунтов: учебное пособие / А. З. Абуханов. — Ростов н/Д: Феникс, 2006. — 352 с.
2. Управление состоянием массива горных пород месторождения «Бургали» / В. В. Арно, И. Ю. Гарифуллина, Н. Е. Ломакина [и др.] // Вестник Северо-Восточного государственного университета. — 2023. — № 40. — С. 10–15.
3. Бахаева, С. П. Расчет устойчивости откосов при открытой геотехнологии: учебное пособие / С. П. Бахаева; ФГБОУ ВПО «Кузбасский государственный технический университет им. Т. Ф. Горбачева». — Кемерово, 2011. — 158 с.
4. Гаврикова, Н. А. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение: учебно-методическое пособие / Н. А. Гаврикова. — Томск, 2014. — 73 с.
5. Калюжный, А. С. Анализ результатов оценки устойчивости борта карьера при плоском и объемном вариантах расчета / А. С. Калюжный // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2021. — № 10. — С. 123–133.
6. О геодинамической безопасности горных работ в удароопасных условиях на примере Хибинских апатитовых месторождений / А. А. Козырев, В. И. Панин, И. Э. Семенова [и др.] // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. — 2018. — № 5. — С. 33–44.
7. Обоснование рационального применения беспилотных летательных аппаратов при маркшейдерском обслуживании открытых горных работ на руднике «Дукат» / В. В. Курбатова, А. М. Волин, Н. Е. Ломакина [и др.] // Горный журнал. — 2023. — № 4. — С. 16–20.
8. Валидация БПЛА в решении маркшейдерских задач на руднике «Дукат» / В. В. Курбатова, А. М. Волин, Н. Е. Ломакина [и др.] // Горная промышленность. — 2023. — № 1. — С. 47–52.
9. Лукичев, С. В. Цифровое моделирование при решении задач открытой и подземной горной технологии / С. В. Лукичев, О. В. Наговицын // Горный журнал. — 2019. — № 6. — С. 51–55.
10. Обоснование безопасных параметров бортов и уступов карьера (участки 1 и 2) на месторождении «Нежданинское»: отчет о НИР / Санкт-Петербургский горный университет; рук. А. А. Павлович. — СПб., 2019. — 128 с.
11. Рыбин, В. В. Совершенствование геомеханического обоснования рациональных конструкций бортов карьеров в скальных, тектонически напряженных породах // Горный журнал. — 2019. — № 5. — С. 25–29.
12. Семенова, И. Э. Развитие концепции геомеханического обоснования горных работ в удароопасных условиях / И. Э. Семенова, И. М. Аватесян // Горный журнал. — 2022. — № 1. — С. 28–33.
13. Строительство горно-обогатительного комбината на месторождении Нежданинское. — СПб., 2019. — 118 с.
14. Open-pit slope design using a DtN-FEM: Parameter space exploration / M. Duran, E. Godoy, E.R. Catafau [et al.] // International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences. — 2022. — Vol. 149. — P. 104950.
15. A new method for constructing finite difference model of soil-rock mixture slope and its stability analysis / Z. Lianheng, H. Dongliang, Z. Shuaihao [et al.] // International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences. — 2021. — Vol. 138. — P. 104605.
16. Flores, G. A transition from a large open pit into a novel “macroblock varia” block caving geometry at Chuquicamatamine, Codelco Chile / G. Flores, A. Catalan // Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering. — 2019. — Vol. 11, № 3. — P. 549–561.
17. Geophysical evaluation of effectiveness of blasting for roofcaving during longwall mining of coal seam / L. Wojtecki, P. Konicek, M. J. Mendecki [et al.] // Pure and Applied Geophysics. — 2020. — Vol. 177, № 2. — P. 905–917.

18. Conceptualization and preliminary research on deep in situ rock mechanics. Yanshilixue Yu Gongcheng Xuebao = Chinese / H. Xie, C. Li, M. Gao. // Journal of Rock Mechanics and Engineering. – 2021. – Vol. 40, № 2. – P. 217–232.

REFERENCES

1. Abukhanov AZ. Soil mechanics: A textbook. Rostov-on-Don, 2006 (In Russ.).
2. Arno VV, Garifulina Iyu, Lomakina NE, et al. Management of the state of the rock mass of the Burgali deposit. Bulletin of the Northeastern State University. 2023;40:10-5 (In Russ.).
3. Bakhaeva SP. Calculation of slope stability in open geotechnology: textbook. Kemerovo, 2011 (In Russ.).
4. Gavrikova NA. Financial management, resource efficiency and resource conservation: an educational and methodological guide. Tomsk, 2014 (In Russ.).
5. Kalyuzhny AS. Analysis of the results of assessing the stability of the quarry side with flat and volumetric calculation options. Mining information and analytical bulletin. 2021;(10):123-33 (In Russ.).
6. Kozyrev AA, Panin VI, Semenova IE, et al. On geodynamic safety of mining operations in high-impact conditions on the example of Khibiny apatite deposits. Physical and technical problems of mining. 2018;(5):33-44 (In Russ.).
7. Kurbatova VV, Volin AM, Lomakina NE Justification of the rational use of unmanned aerial vehicles in the surveying of open-pit mining operations at the Dukat mine. Mining Journal. 2023;4:16-20 (In Russ.).
8. Kurbatova VV, Volin AM, Lomakina NE, et al. UAV navigation in solving surveying tasks at the Dukat mine. Mining industry. 2023;1:47-52 (In Russ.).
9. Lukichev SV, Nagovitsyn OV. Digital modeling in solving problems of open and underground mining technology. Mining magazine. 2019;(6):51-5 (In Russ.).
10. Justification of the safe parameters of the sides and ledges of the quarry (sections 1 and 2) at the Nezhdaninskoye field: research report / St. Petersburg Mining University; hand. A. A. Pavlovich. St. Petersburg, 2019 (In Russ.).
11. Rybin VV. Improving the geomechanical substantiation of rational structures of quarry sides in rocky, tectonically stressed rocks. Mountain Journal. 2019;(5):25-9 (In Russ.).
12. Semenova IE, Avetisyan IM. Development of the concept of geomechanical justification of mining operations in impact-hazardous conditions. Mining Journal. 2022;(1):28-33 (In Russ.).
13. Construction of a mining and processing plant at the Nezhdaninskoye field. 1st stage: project documentation. St. Petersburg, 2019 (In Russ.).
14. Duran M, Godoy E, Catafau ER, et al. Open-pit slope design using a DtN-FEM: Parameter space exploration. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences. 2022;149:104950.
15. Lianheng Z, Dongliang H, Shuaihao Z, et al. A new method for constructing finite difference model of soil-rock mixture slope and its stability analysis. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences. 2021;138:104605.
16. Flores G, Catalan A. A transition from a large open pit into a novel “macroblock varia” block caving geometry at Chuquicamatamine, Codelco Chile. Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering. 2019;11(3):549-61.
17. Wojtecki L, Koniecz P, Mendecki M, et al. Geophysical evaluation of effectiveness of blasting for roofcaving during longwall mining of coal seam. Pure and Applied Geophysics. 2020;177(2):905-17.
18. Xie H, Li C, Gao M, et al. Conceptualization and preliminary research on deep in situ rock mechanics. Yanshilixue Yu Gongcheng Xuebao = Chinese. Journal of Rock Mechanics and Engineering. 2021;40(2):217-32.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Арно Вероника Владимировна –

доцент, кандидат технических наук, ФГБОУ ВО «Северо-Восточный государственный университет (Политехнический институт)», г. Магадан, Россия, e-mail: vvnika@mail.ru

Колесниченко Ева Павловна –

студентка направления подготовки «Государственный и муниципальный аудит», ВШГА МГУ им. М. В. Ломоносова, г. Москва, Россия, e-mail: kolesnicheva@gmail.com

Гарифулина Ирина Юрьевна –

кандидат технических наук, и. о. заведующего кафедры геологии и горного дела, ФГБОУ ВО «Северо-Восточный государственный университет (Политехнический институт)», г. Магадан, Россия, e-mail: irina-kajtukova@yandex.ru

Ломакина Наталья Евгеньевна –

старший преподаватель кафедры геологии и горного дела, ФГБОУ ВО «Северо-Восточный государственный университет (Политехнический институт)», г. Магадан, Россия, e-mail: lom_a_n@mail.ru

Тимченко Елизавета Юрьевна –

инженер кафедры геологии и горного дела, ФГБОУ ВО «Северо-Восточный государственный университет (Политехнический институт)», г. Магадан, Россия, e-mail: elisa.21.gk@gmail.com

ABOUT THE AUTHORS

Veronika V. Arno –

Associate Professor, Candidate of Technical Sciences, North-Eastern State University (Polytechnic Institute), Magadan, Russian Federation, e-mail: vvnika@mail.ru

Eva P. Kolesnichenko –

student of the field of training «State and Municipal Audit», Higher School of Economics, Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russian Federation, e-mail: kolesnicheva@gmail.com

Irina Yu. Garifulina –

Candidate of Technical Sciences, Acting Head of the Department of Geology and Mining, North-Eastern State University (Polytechnic Institute), Magadan, Russian Federation, e-mail: irina-kajtukova@yandex.ru

Natalia E. Lomakina –

Senior Lecturer at the Department of Geology and Mining, North-Eastern State University (Polytechnic Institute), Magadan, Russian Federation, e-mail: lom_a_n@mail.ru

Elizaveta Yu. Timchenko –

Engineer of the Department of Geology and Mining, North-Eastern State University (Polytechnic Institute), Magadan, Russian Federation, e-mail: elisa.21.gk@gmail.com

Миккельсен Екатерина Александровна –
студентка направления подготовки «Горное дело», ФГБОУ
ВО «Северо-Восточный государственный университет
(Политехнический институт)», г. Магадан, Россия, e-mail:
katena.glotova.0173@gmail.com

Ekaterina A. Mikkelsen -
student of the direction of training «Mining», North-Eastern State
University (Polytechnic Institute), Magadan, Russian Federation,
e-mail: katena.glotova.0173@gmail.com

КРИТЕРИИ АВТОРСТВА / CONTRIBUTION:

В. В. Арно, Е. П. Колесниченко – идея исследований, формулировка конфликта текущей парадигмы и новых фактов, написание научной работы; Е. Ю. Тимченко, Н. Е. Ломакина, И. Ю. Гарифулина – оценка результатов и коррекция написанной работы; Е. А. Миккельсен – выборка и сбор материала для исследований / Arno V. V., Kolesnichenko E. P. – the idea of research, formulation of the conflict of the current paradigm and new facts, writing a scientific paper; Timchenko E. Yu., Lomakina N. E., Garifulina I. Yu. – evaluation of the results and correction of the written work; Mikkelsen E. A. - selection and collection of material for research.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ / CONFLICT OF INTEREST:

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

ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ ПОРОД ВОКРУГ ГИДРОТЕХНИЧЕСКОГО ТУННЕЛЯ, РАСПОЛОЖЕННОГО В ГОРНОМ МАССИВЕ

Б. А. Ботоканова

Кыргызский государственный технический университет им. И. Раззакова, г. Бишкек, Кыргызстан

Аннотация: Проведен анализ распределения напряжений в области туннелей с трапециевидным сечением в зоне влияния горных склонов с использованием методики Колосово – Мусхелишвили. Разработана аналитическая модель, учитывающая различные факторы, такие как рельеф гор, расположение туннеля, гидростатическое давление, объемные и тектонические силы. Предложенный подход позволяет более точно определить напряженное состояние горных массивов вокруг туннелей и прогнозировать возможные деформации и разрушения. Полученные результаты могут быть полезны при проектировании и эксплуатации подземных сооружений, обеспечивая более надежную оценку безопасности и устойчивости горных пород.

Ключевые слова: склоны горы, горная выработка, напряжения, деформация, конформное отображение, давление, гидростатический напор

Для цитирования: Ботоканова Б. А. Исследование напряженного состояния пород вокруг гидротехнического туннеля, расположенного в горном массиве // Маркшейдерия и недропользование. 2024. №4. С. 30-34. https://doi.org/10.56195/20793332_2024_4_30_34.

STUDY OF THE STRESSED STATE OF ROCKS AROUND A HYDRAULIC TUNNEL LOCATED IN A MOUNTAIN MASSIF

B. A. Botokanova

Kyrgyz State Technical University named after I. Razzakova, Bishkek, Kyrgyzstan

Abstract: This article analyzes the stress distribution in the area of tunnels with a trapezoidal cross-section in the zone of influence of mountain slopes, using the Kolosovo-Muskhelishvili method. An analytical model has been developed that takes into account various factors, such as mountain topography, tunnel location, hydrostatic pressure, volumetric and tectonic forces. The proposed approach makes it possible to more accurately determine the stressed state of rock masses around tunnels and predict possible deformations and destruction. The results obtained can be useful in the design and operation of underground structures, providing a more reliable assessment of the safety and stability of rocks.

Keywords: stress, deformation, conformal mapping, mountain slopes, mine workings, pressure, hydrostatic head

For citation: Botokanova B. A. Study of the stressed state of rocks around a hydraulic tunnel located in a mountain massif. Mine Surveying and Subsoil Use. 2024;(4):30-34. (In Russ.). https://doi.org/10.56195/20793332_2024_4_30_34.

Введение

В горных районах являются необходимыми исследования по обеспечению устойчивости горных пород вокруг подземных пространств, используемых для добычи полезных ископаемых или транспортировки гидроресурсов через туннели. Формирование напряженного состояния пород вокруг туннелей и выработок зависит от различных факторов, таких как склоны гор и впадин, действие силы гравитации, сейсмические и тектонические процессы, давление воды и внешние нагрузки [1, 2].

Поэтому оценка напряженного и деформированного состояния горных массивов вокруг выработок и туннелей с учетом этих факторов является ключевой задачей.

Традиционные методы оценки состояния горных массивов вокруг туннелей и выработок из-за различных факторов становятся дорогостоящими и неэффективными. Методы разгрузки, ультразвукового зондирования и фотоупругости не всегда способны учесть все влияющие факторы одновременно. Поэтому использование метода конечных разностей (МКР) или метода конечных элементов (МКЭ) при моделировании горных массивов вокруг туннелей представляет сложность из-за разных масштабов измерений. Для достижения точности и надежности моделирования необходимо проводить сопоставление результатов, полученных с помощью МКЭ и МКР, с данными, полученными другими методами [3, 4].

Цель исследования. Разработать аналитическую модель напряженно-деформированного состояния горных массивов вокруг туннелей и выработок, учитывающую различные факторы, такие как рельеф гор, расположение туннелей, воздействие гидростатического давления, объемные и тектонические силы. Создание такой модели позволит более точно оценить состояние горных пород и предсказать возможные деформации и разрушения вокруг туннеля.

Задачи исследований

После анализа начального состояния горного массива необходимо изучить влияние создания туннеля различной формы на исходное напряженное состояние массива. Затем после определения распределения напряжений вокруг туннеля требуется оценить воздействие давления воды, которое распределяется по закону Паскаля.

В работе задействованы такие методы, как:

- метод двумерной теории упругости,
- аппарата конформных отображений,
- метод Колосова – Мухелишвили,
- использование программного обеспечения MATHCAD,
- численный расчет и компьютерная графика на ПЭВМ.

Результаты исследований

В рамках метода Колосова–Мухелишвили [4] и с использованием программного комплекса MATHCAD было проведено исследование начального напряженно-деформированного состояния массивов одиночной горы. Рельеф горы в разрезе имеет форму полуплоскости с одним криволинейным выступом, где левый склон практически перпендикулярен к основанию. Для анализа напряжений используется метод конформного отображения с использованием функции, описанной в работе [6–8], которая моделирует форму горы (рис. 1).

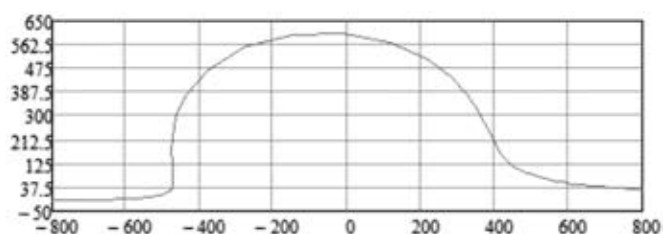


Рис. 1. Форма горы с вертикальным склоном (м)
Fig. 1. Mountain shape with vertical slope (m)

Результаты расчета напряжений в начальном состоянии горы с вертикальным склоном представлены в таблице 1, и

эти данные относятся к зоне сопряжения склона горы с его основанием [8, 9].

Из таблицы 1 видно в контурных точках склона горы при $N = T = 0$ выполняется с высокой точностью, где величина погрешности не более 10^{-15} ; наибольшее значение главной нормальной компоненты напряжений $\sigma_2 = 81,5$ МПа.

Исходя из закономерностей в распределении напряжений в зоне соединения борта склона горы с его основанием, мы принимаем поле напряжений для более точной интерпретации будущих модельных представлений об образовании туннеля.

Математическая модель напряженного состояния пород в окрестностях туннеля с трапециевидным сечением на склоне горы представляет собой объединение полей напряжений [10, 11]:

$$\begin{aligned}\sigma_x^0 &= \sigma_x^n + \sigma_x^p + \sigma_x^m + \sigma_x^H, \sigma_y^0 = \sigma_y^n + \sigma_y^p + \sigma_y^m + \sigma_y^H, \\ \tau_{xy}^0 &= \tau_{xy}^n + \tau_{xy}^p + \tau_{xy}^m + \tau_{xy}^H.\end{aligned}\quad (1)$$

Предложенный метод анализа напряжений вокруг туннеля в горных массивах основан на суммировании трех компонентов полей напряжений.

Первый компонент включает в себя влияние силы гравитации и горизонтального тектонического сжатия, выраженное через интегрирование уравнений равновесия.

Второй компонент учитывает воздействие формы горного рельефа на распределение напряжений.

Третий компонент связан с влиянием напора воды на распределение напряжений при строительстве туннеля в горных породах.

Для решения задачи используется математический аппарат двумерной теории упругости, который позволяет с помощью конформных отображений перевести полубесконечную область на полуплоскость и отобразить отверстия на внешность единичного круга. Результаты исследований, описанные автором, были подробно изложены и опубликованы в соответствующих работах [10, 11].

Сумма первых трех полей напряжений в контурных точках туннеля напряженное состояние (1) массивов соответствует следующим граничным условиям [9, 10, 11]:

$$\begin{aligned}(\sigma_x^p + \sigma_x^n + T_x + \sigma_x^m) \cdot (\cos n, x) + (\tau_{xy}^n + \tau_{xy}^p + \tau_{xy}^m) \cdot (\cos n, y) &= 0 \\ (\tau_{xy}^n + \tau_{xy}^p + \tau_{xy}^m) \cdot (\cos n, y) + (\sigma_x^p + \sigma_x^n + \sigma_x^m) \cdot (\cos n, x) &= 0.\end{aligned}\quad (2)$$

Вычисленные значения компонент в центре воображаемого туннеля обозначены через S_x, S_y, S_{xy} . Поэтому поле на-

Таблица 1 / Table 1

Значение напряжений на склоне горы / Importance of stresses on the mountain slope

0	t	x (м)	y(м)	σ_1 (МПа)	σ_2 (МПа)	N (МПа)	T (МПа)	T _{max} (МПа)
1	-5	-621,2	-5,8	0	-33,7	$2,1 \cdot 10^{-15}$	$2,4 \cdot 10^{-15}$	-33,4
2	-4	-550	0	0	-46,3	0	0	-43
3	-3	-495	15	0	-81,5	$7,1 \cdot 10^{-15}$	$3,6 \cdot 10^{-15}$	-22,5
4	-1	-470	60	$3,6 \cdot 10^{-15}$	-32,7	$6,4 \cdot 10^{-15}$	$1,3 \cdot 10^{-14}$	-32,4
5	0	-475	225	0	-2,3	0	0	-2,2
6	1	-150	600	$2,2 \cdot 10^{-15}$	-0,5	$2,2 \cdot 10^{-15}$	0	-0,4
7	2	325	375	$4,6 \cdot 10^{-15}$	-1,9	$4,4 \cdot 10^{-15}$	$2,1 \cdot 10^{-15}$	-0,5
8	3	410	180	$4,4 \cdot 10^{-15}$	-13,8	$4,4 \cdot 10^{-15}$	$4,4 \cdot 10^{-15}$	-5,9
9	4	495	105	0	-34,9	0	$3,1 \cdot 10^{-15}$	-1,9
10	5	532,4	70,6	0	-35	0	0	-22,3

пряжений об образовании туннеля $\sigma_x^m, \sigma_y^m, \tau_{xy}^m$ будем искать из граничного условия (2).

Влияние туннеля $\sigma_x^T, \sigma_y^T, \tau_{xy}^T$ устанавливается путем решения граничной задачи для плоскости xoy с отверстием, форма которой моделируется с помощью отображающей функции [11]:

$$z = \omega(\zeta); z = x + i \cdot y; i = \sqrt{-1}; \zeta = \rho e^{i\theta}; \omega(\zeta) = e^{i\delta} R[\zeta + \omega_0(\zeta)]; \omega_0(\zeta) = \sum_{k=1}^5 \frac{d_k}{\zeta^k}. \quad (3)$$

где $1 \leq \rho \leq \infty$ – ось положительных чисел; $0 \leq \theta \leq 2\pi$ – в радианах; R – коэффициент для изменения размеров отверстия; δ – параметр (в радианах) для установления ориентации оси симметрии отверстия относительно горизонтальной оси.

Параметры отображающей функции d_1, d_2, d_3, d_4 определяем путем вариации их значений в таблице 2, и можно моделировать в разных трапециевидных форм поперечных сечений туннелей в частности (рис. 2).

Таблица 2 / Table 2

Параметры отображающей функции / Display feature settings

№	d_1	d_2	d_3	d_4	d_5	δ
x4-y4	-0,021	0,102	-0,150	-0,026	0,002	900

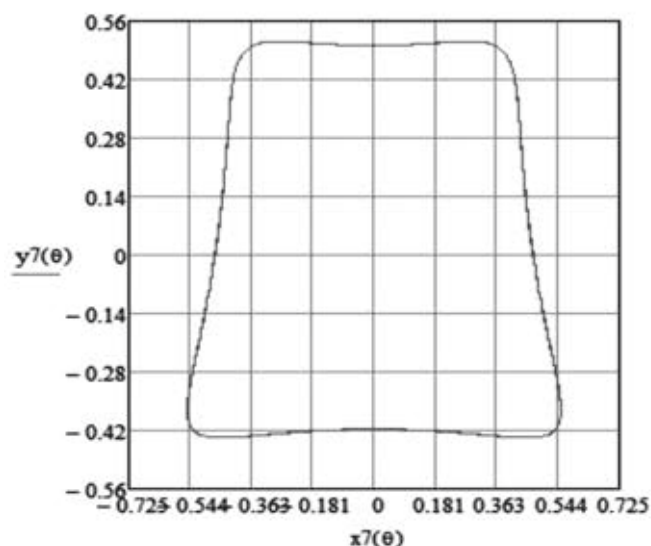


Рис. 2. Трапециевидное однопутевое сечение туннеля
Fig. 2. Trapezoidal single track tunnel section

Поле напряжений от влияния возникновения туннеля напряжений в массиве склона горы $\sigma_p, \sigma_\theta, \tau_{p,\theta}$, где начальное напряженное состояние в точке возникновения туннеля характеризуется компонентами S_x, S_y, S_{xy} , и будет определено из граничных условий (2). Условие (2) в преобразованной плоскости новых переменных (3) принимают вид [10, 11]:

$$\begin{aligned} [R\Gamma\sigma + \phi(\sigma)] + [R\bar{\Gamma} + \bar{\phi}'(\sigma)] \cdot \left[\frac{\omega(\sigma)}{\omega'(\sigma)} \right] + [R\Gamma'\sigma + \bar{\psi}(\sigma)] &= 0; \\ [R\bar{\Gamma}\sigma + \bar{\phi}(\sigma)] + [R\Gamma + \phi'(\sigma)] \cdot \left[\frac{\omega(\sigma)}{\omega'(\sigma)} \right] + [R\Gamma'\sigma + \psi(\sigma)] &= 0. \end{aligned} \quad (4)$$

Интегралы типа Коши от заданных граничных условий (4) определяют искомые функций $\phi(\zeta), \psi(\zeta)$ в зависимости от конкретной формы сечения туннеля.

Когда на контур туннеля действует гидростатический напор воды $P_0 = -10$ МПа, мы решаем третью граничную

задачу и определяем функции $\phi(\zeta), \psi(\zeta)$ из следующих условий [10, 11]:

$$\begin{aligned} \phi(\sigma) + \bar{\phi}'(\sigma) \left[\frac{\omega(\sigma)}{\omega'(\sigma)} \right] + \bar{\psi}(\sigma) &= -P_0 R \omega(\sigma); \\ \bar{\phi}(\sigma) + \phi'(\sigma) \cdot \left[\frac{\omega(\sigma)}{\omega'(\sigma)} \right] + \psi(\sigma) &= -P_0 R \bar{\omega}(\sigma). \end{aligned} \quad (5)$$

Для нахождения функций $\phi(\zeta), \psi(\zeta)$ из граничных условий (4) и (5) мы выразим их в виде суммы постоянных коэффициентов, определенных в уравнениях (4) и (5).

$$\begin{aligned} N_1 &= Re^{-i\delta} \left(\frac{S_x + S_y}{4} \right); N_2 = Re^{-i\delta} \left(\frac{S_x - S_y + 2iS_{xy}}{2} \right); \\ N_3 &= \bar{N}_1, N_4 = N_3. \end{aligned}$$

Интегралы типа Коши от граничных условий в (4) и (5) представим в виде

$$\begin{aligned} \phi(\zeta) + G(\zeta) &= A_0(\zeta); \\ \phi'(\zeta) \cdot \left[\frac{\omega(\zeta)}{\omega'(\zeta)} \right] + \psi(\zeta) - \bar{G}(\zeta) &= B_0(\zeta); \\ G(\zeta) &= [b_3 \bar{R}_1 - 2b_4 \bar{R}_2]^{2i\delta} \zeta^{-1} + [b_4 \bar{R}_1]^{2i\delta} \zeta^{-2}; \\ A_0(\zeta) &= \sum_{k=1}^5 ca_k \zeta^{-k}; B_0(\zeta) = \sum_{k=1}^5 sb_k \zeta^{-k} \end{aligned} \quad (6)$$

Вычисляем распределения напряжений (1) для каждого компонента напряжений $\sigma_p, \sigma_\theta, \tau_{p,\theta}$ в системе криволинейных координат. Результаты представлены в таблице 3 при $P_0 = 0$, в таблице 4 при $P_0 = -10$ МПа.

Для выполнения дальнейших расчетов принимаем

$$S_x = -20 \text{ МПа}; S_y = -15 \text{ МПа}; S_{xy} = -15 \text{ МПа}.$$

Таблица 3 / Table 3

Контурные значения напряжений / $P_0 = 0$ /
Circuit values of voltage capital P base index 0 is 0

θ (град)	σ_p (МПа)	σ_θ (МПа)	$\tau_{p,\theta}$ (МПа)
10	$5,329 \cdot 10^{-15}$	-21,973	$-1,776 \cdot 10^{-15}$
20	$1,599 \cdot 10^{-14}$	-25,058	$5,329 \cdot 10^{-15}$
30	$8,882 \cdot 10^{-15}$	-29,879	$7,105 \cdot 10^{-15}$
40	$-1,776 \cdot 10^{-15}$	-37,464	$5,329 \cdot 10^{-15}$
50	$2,132 \cdot 10^{-14}$	-49,732	$8,882 \cdot 10^{-15}$
60	$4,263 \cdot 10^{-14}$	-40,140	$3,553 \cdot 10^{-15}$
70	$-2,132 \cdot 10^{-14}$	-103,698	$6,395 \cdot 10^{-14}$
80	$-1,421 \cdot 10^{-14}$	-149,07	$1,590 \cdot 10^{-13}$
90	$2,185 \cdot 10^{-13}$	-172,33	$6,106 \cdot 10^{-14}$
100	$8,171 \cdot 10^{-14}$	-139,598	$-1,279 \cdot 10^{-13}$
110	$-3,730 \cdot 10^{-14}$	-91,794	$-8,527 \cdot 10^{-14}$
120	0,000	-58,979	$-6,217 \cdot 10^{-14}$
130	$3,197 \cdot 10^{-14}$	-39,742	$-1,954 \cdot 10^{-14}$
140	$2,132 \cdot 10^{-14}$	-28,416	$1,243 \cdot 10^{-14}$
150	$3,553 \cdot 10^{-15}$	-21,464	$1,066 \cdot 10^{-14}$
160	$7,105 \cdot 10^{-15}$	-17,006	$3,553 \cdot 10^{-15}$
170	$7,105 \cdot 10^{-15}$	-14,048	$1,243 \cdot 10^{-14}$
180	$7,105 \cdot 10^{-15}$	-12,044	$3,553 \cdot 10^{-15}$

Таблица 4 / Table 4

Контурные значения напряжений $P_0 = -10$ МПа
Circuit values of voltages capital P bottom index 0 is minus 10, MPa

θ (град)	σ_p (МПа)	σ_θ (МПа)	$\tau_{p\theta}$ (МПа)
10	-10	-22,861	0
20	-10	-25,660	$1,066 \cdot 10^{-14}$
30	-10	-29,556	$8,882 \cdot 10^{-15}$
40	-10	-35,350	$-1,776 \cdot 10^{-15}$
50	-10	-44,457	$3,197 \cdot 10^{-14}$
60	-10	-59,404	$7,105 \cdot 10^{-15}$
70	-10	-83,819	$3,197 \cdot 10^{-14}$
80	-10	116,698	$1,519 \cdot 10^{-13}$
90	-10	133,437	$7,794 \cdot 10^{-14}$
100	-10	-109,597	$-8,171 \cdot 10^{-14}$
110	-10	-74,909	$-7,638 \cdot 10^{-14}$
120	-10	-51,102	$-4,263 \cdot 10^{-14}$
130	-10	-37,111	$-1,776 \cdot 10^{-15}$
140	-10	-28,812	$-1,776 \cdot 10^{-15}$
150	-10	-23,630	$7,105 \cdot 10^{-15}$
160	-10	-20,189	$3,553 \cdot 10^{-15}$
170	-10	-15,860	$7,105 \cdot 10^{-15}$
180	-10	-14,253	$5,329 \cdot 10^{-15}$

Из трех компонентов напряжений только одна (окружающая компонента) отличается от нуля, в то время как нормальная и касательная компоненты в большинстве точек близки к нулю. Результаты расчетов представлены на рисунке 3 (см. цветную вклейку на стр. 44) в виде изолиний распределения напряжений для напорных и безнапорных туннелей с трапецевидным сечением.

Концентрация напряжений вокруг трапецевидного сечения безнапорного $P_0 = 0$ туннеля (рис. 2), на своде имеется сжатие, а на подошве туннеля вызывает небольшие сжатия – растяжения [11–14].

Пределы прочности на сжатие наиболее распространенных горных пород, по СНиП [14], $\sigma_{сж}$ – среднее значение прочности на одноосное сжатие составляет: гранит – 200 МПа, кварцит – 220 МПа, песчаник – 115 МПа.

Коэффициент запаса устойчивости вокруг туннеля определяется по формуле

$$n = \frac{\sigma_{сж}}{\sigma_\theta}$$

Вычисленные значения коэффициента запаса устойчивости вокруг туннеля с различными сечениями для предела прочности на сжатие для разновидностей крепких скальных горных пород представлены в таблице 5.

Таблица 5 / Table 5

Расчет коэффициента запаса устойчивости приконтурного массива для безнапорных туннелей в зависимости от прочности горных пород
Calculation of the stability factor of the tachyderm mass for free tunnels depending on rock strength

Сечение туннеля	Максимальное напряжение на контуре туннеля σ_θ , МПа	Коэффициент запаса устойчивости, n		
		Кварцит $\sigma_{сж} = 220$ МПа	Гранит $\sigma_{сж} = 200$ МПа	Песчаник $\sigma_{сж} = 115$ МПа
Трапецевидное	-172,333	1,3	1,2	0,67

В результате выявлено, что наиболее устойчивое состояние приконтурного массива характерно для туннелей со трапецевидным сечением, когда на контуре туннеля отсутствует напор.

Выбор методов крепления туннелей основывается на коэффициенте запаса устойчивости, когда коэффициент устойчивости $n \leq 1$, состояние приконтурного массива вокруг туннеля неустойчивое и требуется крепление, при коэффициенте устойчивости $n > 1$ состояние приконтурного массива вокруг туннеля устойчивое, т. е. крепление не требуется.

Заключение

В статье приведены результаты исследования напряженного состояния массивов вокруг напорного и безнапорного туннеля с трапецевидным сечением.

Установлено, что напор воды вызывает растяжение в контурных точках туннеля и сжатие в направлении, перпендикулярном к контуру.

3. Разработанная математическая модель напряженного состояния напорных и безнапорных туннелей с типовыми сечениями может быть использована для оценки состояния вокруг транспортных туннелей и горных выработок с аналогичными профилями.

4. Расчеты напряжений и их графическое представление выполнены в новой программной среде MATHCAD [15].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Баклашов, И. В. Геомеханика. Том 1. Основы геомеханики / И. В. Баклашов. – М.: Изд. МГГУ, 2004. – 207 с.
2. Brady B.H.G., Brown E.T. Rock mechanics for underground mining. Dordrecht: Springer, 2006. 628 p.
3. Абдылдаев, Э. К. Напряженно-деформированное состояние массива горных пород вблизи выработок / Э. К. Абдылдаев. – Фрунзе: Илим, 1990. – 162 с.
4. Мухелишвили, Н. И. Некоторые основные задачи математической теории упругости / Н. И. Мухелишвили. – М.: Наука, 1966. – 707 с.
5. Ержанов, Ж. С. Сейсмонапряженное состояние подземных сооружений в анизотропном слоистом массиве / Ж. С. Ержанов, Ш. М. Айтиев, Ж. К. Масанов. – Алма-Ата: Наука, 1980. – 206 с.
6. Ходасевич Г. Б. Напряженное состояние массива пород в окрестности выработки, пройденной в горном склоне: автореферат дис... канд. техн. наук / Г.Б. Ходасевич. – Бишкек, 1994. – 17 с.
7. Аманалиев, А. А. Напряженно-деформированное состояние пород вокруг подземных выработок, пройденных в слоистом массиве горной местности: автореф. дис. ... канд. физ.-мат. наук / А. А. Аманалиев. – Бишкек, 1997. – 17 с.
8. Жумабаев, Б. Математическое моделирование напряженного состояния массивов склонов гор / Б. Жумабаев // Вестник Кыргызско-Российского Славянского университета. – 2017. – Т. 17, № 5. – С. 25-30.
9. Assessment of the Strain-Stress Distribution in the Vicinity Conceding Mountainside's Scarp Using Mathematical Modeling / J. A. Baialieva, K. J. Ismailova, K. K. Abdygaziev [et al.] // Sustainable Development Risks and Risk Management. – 2023. – P. 375-380. https://doi.org/10.1007/978-3-031-34256-1_65

10. Botokanova, B. A. B. Zhumabaev Calculation of stresses and deformations of arrays around a pressure tunnel with a trapezoidal section // European Journal of. Technical and Natural Sciences. – 2018. – № 3. – P. 16–27.

11. Ботоканова, Б. А. Методика математического моделирования напряженного состояния вокруг напорного туннеля, расположенного в горном массиве / Б. А. Ботоканова, Б. Жумабаев // Естественные и технические науки. – 2018. – № 8 (122). – С. 235–243.

12. Hast, N. Stress Fields, Fracture Systems and the Mechanism for Movements in the Gneiss-Granite Area of the Mont Blanc Massif / N. Hast // Tectonic Stresses in the Alpine-Mediterranean Region. Conference paper. – 1980. – Vol 9. – P. 1-13.

13. Hoek, E. Hoek-Brown criterion – 2002 edition / E. Hoek, C. Carranza-Torres, B. Corkum // In Proceedings of the 5th North American Rock Mechanics Symposium and the 17th Tunnelling Association of Canada: NARMS-TAC. – 2002. – Vol. 1. – P. 267-273.

14. СНиП-7-81. Строительные нормы и правила. Нормы проектирования. Строительство в сейсмических районах. – М.: Стройиздат, 1982. – 49 с.

15. Кирьянов, Д. В. MATCAD 14 / Д. В. Кирьянов. – СПб.: БХВ – Петербург, 2007. – 685 с.

REFERENCES

1. Baklashov IV. Geomechanics. Volume 1. Fundamentals of Geomechanics. Moscow, 2004 (In Russ.).
2. Brady BHG., Brown ET. Rock mechanics for underground mining. Dordrecht, 2006.
3. Abdylaliev EK. Stress-strain state of a rock mass near workings. Frunze, 1990 (In Russ.).
4. Muskhelishvili NI. Some basic problems of the mathematical theory of elasticity. Moscow, 1966 (In Russ.).
5. Yezhanov ZhS, Aitaliev ShM, Masanov ZhK. Seismic stress state of underground structures in an anisotropic layered massif. Alma-Ata, 1980 (In Russ.).
6. Khodasevich GB. The stressed state of the rock mass in the vicinity of the workings passed in the mountain slope: abstract of the dissertation... Candidate of Technical Sciences. – Bishkek, 1994. – 17 p.
7. Amanaliev AA. The stress-strain state of rocks around underground workings passed in a layered massif of mountainous terrain. Bishkek, 1997 (In Russ.).
8. Zhumabaev B. Mathematical modeling of the stressed state of mountain slope arrays // Bulletin of the Kyrgyz-Russian Slavic University. 2017;17(5):25-30 (In Russ.).
9. Baialieva JA, Ismailova KJ, Abdygaziev KK, et al. Assessment of the Strain-Stress Distribution in the Vicinity Conceding Mountainside's Scarp Using Mathematical Modeling. Sustainable Development Risks and Risk Management. 2023;375-80. https://doi.org/10.1007/978-3-031-34256-1_65.
10. Botokanova BA, Zhumabaev B. Calculation of stresses and deformations of arrays around a pressure tunnel with a trapezoidal section. European Journal of. Technical and Natural Sciences. 2018;3:16–27.
11. Botokanova BA, Zhumabaev B. Method of mathematical modeling of the stress state around a pressure tunnel located in a mountain range. Natural and technical sciences. 2018;8(122):235-43 (In Russ.).
12. Hast N. Stress Fields, Fracture Systems and the Mechanism for Movements in the Gneiss-Granite Area of the Mont Blanc Massif. Tectonic Stresses in the Alpine-Mediterranean Region: Conference paper. 1980;9:1-13.
13. Hoek E, Carranza-Torres C, Corkum B. Hoek-Brown criterion – 2002 edition. In Proceedings of the 5th North American Rock Mechanics Symposium and the 17th Tunnelling Association of Canada: NARMS-TAC. 2002;1:267-73.
14. SNiP-7-81. Building codes and regulations. Design standards. Construction in seismic areas. Moscow, 1982 (In Russ.).
15. Kiryanov DV. MATCAD 14. St. Petersburg, 2007 (In Russ.).

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ

Ботоканова Бактыгул Асанкожоевна –
кандидат технических наук, доцент, Кыргызский
государственный технический университет им. И. Раззакова,
г. Бишкек, Кыргызстан, e-mail: b993344@mail.ru

ABOUT THE AUTHOR

Baktygul A. Botokanova –
candidate of technical sciences, docent, Kyrgyz State Technical
University named after. I. Razzakova, Bishkek, Kyrgyzstan, e-mail:
b993344@mail.ru

К НАДЕЖНОСТИ ЗАКРЕПЛЕНИЯ ХВОСТОВ ОБОГАЩЕНИЯ РУД В ХРАНИЛИЩАХ

В. И. Голик¹, А. А. Белодедов², Мулухов К. К.¹, В. А. Масленников³, В. Х. Дзапаров¹

¹Северо-Кавказский горно-металлургический институт (ГТУ), г. Владикавказ, Россия

²Южно-Российский государственный политехнический университет (ЮРГТУ), г. Новочеркасск, Россия

³Институт сферы обслуживания и предпринимательства (филиал) ДГТУ, г. Шахты, Ростовская обл., Россия

Аннотация: Целью статьи является восстановление качества экосистем региона за счет минимизации ущерба от хранения хвостов производства. Хранение хвостов предусматривает: их изъятие из оборота сельскохозяйственных угодий; загрязняет атмосферу, поверхностные и подземные воды; но одновременно хвосты содержат металлы и редкие элементы, извлечение которых возможно при совершенствовании технологии. Поэтому хранение хвостов должно обеспечивать возможность их последующего вовлечения в производство. Поскольку хвостохранилища играют ведущую роль в химическом загрязнении, то основным мероприятием по минимизации их негативного влияния становится закрепление стенок хранилищ. Методика исследований включала в себя анализ теории и практики санации деградированных земель, моделирование, расчеты эколого-экономической обоснованности и результаты апробация решений. На примере хранилищ Садонского свинцово-цинкового комбината дана характеристика количества и качества хвостов, а также их состояния. Приведены сведения о состоянии хранения хвостов в России и за рубежом. Приведены результаты реализации традиционных способов предотвращения трансгрессии компонент хвостов. В качестве альтернативы исследованы способы закрепления с добавкой поверхностно-активных веществ и продуктами выщелачивания. Обоснованы преимущества закрепления элементов хвостохранилища отходами карбонатов и маточными растворами выщелачивания с созданием физико-химических барьеров путем использования растворов или их смешения в процессе истечения сквозь минералы. Приведены сведения о показателях закрепления массивов хвостохранилищ. Показано, что новые способы закрепления массивов в хранилищах в большей мере отвечают концепции рационального и гуманного природопользования.

Ключевые слова: хвосты обогащения, химизация, окружающая среда, карбонаты, растворы выщелачивания

Для цитирования: К надежности закрепления хвостов обогащения руд в хранилищах / В. И. Голик, А. А. Белодедов, К. К. Мулухов [и др.] // Маркшейдерия и недропользование. 2024. № 4. С. 35-42. https://doi.org/10.56195/20793332_2024_4_35_42.

TO THE RELIABILITY OF SECURING ORE DRESSING TAILINGS IN STORAGES

V. I. Golik¹, A. A. Belodedov², K. K. Mulukhov¹, V. A. Maslennikov³, V. H. Dzaparov¹

¹North Caucasus Mining and Metallurgical Institute (GTU), Vladikavkaz, Russian Federation

²Yuzhno-Russian State Polytechnic University (YURSTU), Novocherkassk, Russian Federation

³Institute of Service and Enterprise (branch) of DSTU, Shakhty, Rostov region, Russian Federation

Abstract: The purpose of the article is to restore the quality of the region's ecosystems by minimizing damage from the storage of production tailings. Tailings storage removes agricultural land from circulation, pollutes the atmosphere, surface and groundwater, at the same time, tailings contain metals and rare elements, the extraction of which is possible with the improvement of technology, therefore their storage should ensure the possibility of subsequent involvement in production. Since tailings dumps play a major role in chemical pollution, the main measure to minimize their negative impact is to fix the walls of the storage facilities.

Materials and Methods. The research methodology includes an analysis of the theory and practice of rehabilitation of degraded lands, modeling, calculations of ecological and economic validity and the results of approbation of solutions.

Results. Using the example of the storages of the Sadonsky lead – zinc Combine, the characteristics of the quantity and quality of tailings, as well as their condition, are given. Information is provided on the state of tailings storage in Russia and abroad. The results of the implementation of traditional methods for preventing transgression of tail components are presented. As an alternative, methods of fixation with the addition of surfactants and leaching products have been studied. The advantages of fixing the elements of the tailings basin with carbonate waste and leaching masterbatch solutions with the creation of physiological and chemical barriers by using solutions or mixing them in the process of penetration through minerals are substantiated. Information is provided on the indicators of securing tail storage arrays. It is shown that new ways of securing arrays in storage facilities are more consistent with the concept of rational and humane environmental management.

Keywords: enrichment tailings, chemicalization, environment, carbonates, leaching solutions

For citation: Golik V. I., Belodedov A. A., Mulukhov K. K., et. al. To the reliability of securing ore dressing tailings in storages. Mine Surveying and Subsoil Use. 2024;(4):35-42. (In Russ.). https://doi.org/10.56195/20793332_2024_4_35_42.

Введение

Общее количество добываемого в мире минерального сырья оценивается приблизительно в 100 млрд. тонн в год и удваивается за каждые 10 лет. Отходы горного производства имеют ресурсный потенциал, образуя техногенные месторождения, поэтому их хранение должно обеспечивать возможность последующего вовлечения в производство [1-3].

В то же время, экологические показатели горнопромышленного региона могут быть улучшены за счет рационального использования деградированных земель в окрестностях предприятий. Восстановление потенциала санируемых земель является актуальной экологической проблемой современности.

Хвосты - отходы процессов переработки полезных ископаемых, в которых содержание ценного компонента ниже минимального значения для руд. Их хранение изымает из оборота сельскохозяйственные угодия, загрязняет атмосферу, поверхностные и подземные воды (рис. 1).

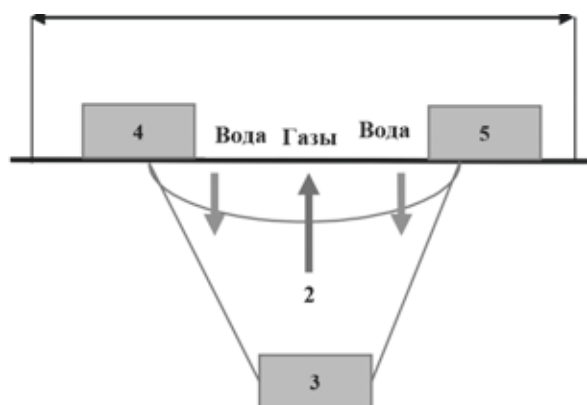


Рис. 1. Влияние горных работ на экосистемы:

1 - зона жизнедеятельности; 2 - разделяющая зона; 3 - месторождение; 4 - хвосты добычи; 5 - хвосты переработки

Fig. 1. The impact of mining operations on ecosystems:

1 - zone of vital activity; 2 - dividing zone; 3 - deposit; 4 - tailings of extraction; 5 - tailings of processing

Хвостохранилище — гидротехническое сооружение для приема и хранения хвостов переработки руд. В нем происходит постепенное оседание твердой фазы хвостов. В то же время хвосты содержат металлы и редкие элементы, извлечение которых традиционными методами на данный момент этапа и развития техники и технологии является нерентабельным. С развитием техники и технологии, повышением комплексности использования руд и ростом потребности в сырье, хвосты становятся востребованными для вторичной переработки.

Прогнозируется использование 30-40 % твердых отвалов горного производства в качестве стройматериалов, 20-30 % - для закладки выработанного пространства в шахтах и карьерах [4-6].

Загрязнение и разрушение экосистем окружающей среды достигает значительных масштабов, а в условиях высокогорных территорий Северного Кавказа, оно обостряется расчлененностью рельефа и естественной изоляцией [4-6].

Геомеханические и аэрогазодинамические последствия подработки территорий горных отвалов шахт и прогноз эффективных технологий повышения качества деградированных земель приведен в статьях [7-9].

В ряде работ исследована эффективность вовлечения хвостов обогащения в производство при освоении новых технологий извлечения металлов из хвостов выщелачивания и повышение экономической эффективности горнодобывающих предприятий за счет вовлечения в эксплуатацию техногенных георесурсов [10-12].

Системный обзор технологии производства пастообразных материалов в шахтах для более чистого производства содержится в работе [13].

Вопросы получения упрочняющих материалов в результате процессов выщелачивания рассмотрены в ряде работ [14-17].

Теории и практике использования систем искусственного интеллекта в процедурах аудита современного горного производства и применения геоинформационных технологий для решения трехмерных геоэкологических задач посвящены труды [18-20].

Металлические месторождения Северного Кавказа заслуживают особого внимания, поскольку последствия их эксплуатации определяют положение экосистем на Юге России.

Поскольку хвостохранилища являются генератором металлизированных стоков и играют приоритетную роль в химическом загрязнении, то основным мероприятием по минимизации их негативного влияния на экологию территорий становится закрепление стенок хранилищ.

Цель работы: восстановление качества экосистем региона за счет минимизации ущерба от хранения хвостов производства.

Объект исследований

В хранилищах Садонского ЦСК (Унальское и Фиагдонское) складировались хвосты, содержащие химические элементы: цинка - 0,08 %, свинца - 0,16 %, серы - 2 %, кремнезема - 64 % и др. компоненты. Основные компоненты хвостов обогащения Садонского комбината приведены в табл. 1.

Таблица 1 / Table 1

Состав хвостов обогащения
Composition of enrichment tailings

Компоненты / Components	Хвостохранилище / Tailings storage facility	
	Фиагдонское, % / Fiagdonskoe, %	Мизурское, % / Misurian, %
Pb	0,13	0,16
Zn	0,15	0,08
Au (г / т)	0,008	0,01
Ag(г / т)	3,55	5,13
Bi	0,002	0,002
Cd	0,003	0,001
Fe	3,78	4,52
Si	57,9	64,0
Ca	6,25	0,89
Mg	2,15	0,60
Al	10,24	5,36
As	0,06	0,05

Площадь Унальского хвостохранилища составляет 61 га, количество песков - 2593 тыс. тонн.

Площадь Фиагдонского хвостохранилища составляет 56 га, количество отходов - 2313 тыс. тонн.

Хвостохранилище Фиагдонской обогатительной фабрики

ки характеризуется гранулометрическим составом: больше 0,15 мм – 15 %, 0,15 – 0,074 мм – 25 %, меньше 0,074 мм – 60 %. Удельный вес обезвоженных хвостов – 2,8 т/м³. Содержание свинца в хвостах 0,16 %, цинка 0,36 %, в т. ч. растворимых солей этих металлов соответственно, 0,016 и 0,04 %. В хвосты уходили остатки реагентов, мг/дм³: медный и цинковый купоросы – 3,8, известь – 6,1, цианистый натрий и ксантогенат.

В результате деятельности Предприятия «Висмут» в 14 хвостохранилищах гидрометаллургического завода на площади 7 км², находилось 160 млн. м³ хвостов. Отвалы хвостов содержали серный колчедан, остатки радиоактивных минералов и др. вредные компоненты.

Методы и материалы исследований

В работе применялись методы анализа теории и практики санации деградированных земель, построения функциональных зависимостей между агротехнологическими и экономическими показателями, физического и экономико-математического моделирования, расчеты эколого-экономической обоснованности и апробации принимаемых решений.

Методы закрепления отходов были основаны на том, что взаимодействие реагента с хвостами осуществляется путем их смешивания в поверхностном слое или путем пропитки слоя. Реагент вводился в хвосты в порошкообразном состоянии или в виде эмульсий и растворов и перемешивался с хвостами.

Обсуждение результатов исследований

Отвалы на месте исследований (Унальское хвостохранилище) покрыли защитным слоем минерального водоупорного и газонепроницаемого грунта, на который нанесли почвенный слой – основу для озеленения.

Санация предприятий «Висмут» по масштабам работ является единственным прецедентом в мире.

Аналогичные задачи при закрытии урановых рудников и реабилитации территорий решали в Северной Америке и Франции.

На хвостохранилище Михайловского ГОК использовали поверхностно-активный раствор с профилактической обработкой верхнего слоя хвостохранилища: 10 % - раствор, 12 % - глина, 78 % - вода. На обрабатываемой поверхности образуется прочный слой толщиной 3...4 мм.

Незначительное количество исследований посвящено развитию принципиально нового направления управления состоянием массива хвостохранилищ – придания им новых свойств, в том числе прочности при формировании отвалов.

Традиционные способы закрепления хвостов характеризуются следующими показателями.

Способ глинизации

Пригодны тяжелые суглинки, делювиальные супеси и легкие суглинки с большим содержанием грубообломочного материала. Содержание глинистых частиц 5,3 ... 8,5 %.

При добавке 10 % глины хвосты приобретают связность и в сухом состоянии имеют сопротивление разрыву – 0,5 кг/см². При добавке к песку суглинка повышение прочности составляет около 10 % при добавке к песку 10 процентного грунта и около 25 % при добавке 50 % процентного грунта. Наибольшая плотность и прочность достигаются при добавке 50 % суглинка – 22 %.

При добавке суглинка до 10-25 % потери образцов в весе под действием ветра со скоростью 15-17 м/с составляли от 3 до 8 %, а при большей скорости произошло развевание.

Образцы с добавками более 75 % обнаружили стойкость по отношению к ветровой эрозии. Потери при скорости ветра до 40 м/с составили 0,2-0,3 %.

Способ цементации

Портландцемент имел состав (%): алит – 57,85, белит – 12,77, алюмоферрит – 16,36, алюминаты – 6,31, остальные – 6,61. Удельная поверхность (после помола) – 3000 см²/г. Тонкость помола – через сито с диаметром отверстий 0,085 мм проходит 88 %.

Добавка 1 % цемента марки 300 и 400 к хвостам не придает достаточной прочности. При извлечении из формы образцы распадались. При погружении в воду прочность снижалась до нуля. При добавке 2 % цемента марки 400 сопротивление разрыву составило 0,270 кг/см² в воздушно-сухом состоянии и 0,207 кг/см² в водонасыщенном.

Цемент марки 300 обеспечивал достаточную прочность при добавках более 3 %. При такой добавке цемента прочность образцов мала. При добавках цемента менее 3 % в процессе увлажнения и высушивания связи между песчинками разрушаются. При добавках 1 и 2 % песчинки легко отделяются от массы.

Испытания на развевание показали слабую сопротивляемость ветровой эрозии образцов, закрепленным портландцементом, где развевание даже при добавках 5 % цемента при скорости ветра до 40 м/сек превышает 1 %. При закреплении же глиноземистым цементом сопротивление увеличивается, лишь при добавке 4 % цемента получены удовлетворительные результаты.

По условию механической прочности удовлетворительный результат дает добавка более 4 % цемента марки М-400.

Добавка 2 % цемента и 0,5 % извести равносильна добавке 4 % цемента. Образцы, закрепленные глиноземистым элементом при дозировке 2 %, имели потери от развевания – 31,7 %, а при добавке 0,5 % извести развевание уменьшилось до 2,7 %.

Еще более увеличивается прочность при одновременном введении в горную массу и суглинка и извести (табл. 2).

Таблица 2 / Table 2

Прочность закрепленных образцов The strength of the fixed samples

Вид цемента / Type of cement	Глиноземистый М-300 / Alumina М-300			
Цемент /	1		2	
Известь /	0,5			
Суглинок /	10			
Состояние образца /	Воздушносухое	Водонасыщенное	Воздушносухое	Водонасыщенное
Сопротивление разрыву, Мпа /	0,225	-	0,518	0,279
	0,278	-	0,443	0,250
	0,238	-	0,355	-
	0,240	-	0,353	-
Среднее /	0,245	-	0,417	0,264

Способ силикатизации

Помимо жидкого стекла с хлоридом кальция исследовалось влияние добавок извести, песка и глинозема. Достаточная прочность достигалась при добавке 2 % силиката натрия, что соответствует введению раствора жидкого стекла с 10 %-

ной концентрацией (200 см³ на 1м³) и раствора хлорида кальция в том же объеме (табл. 3).

Таблица 3 / Table 3

Прочность образцов, МПа
Strength of samples, MPa

Силикат натрия, % / Sodium Silicate, %	2		4	
Состояние образца / The condition of the sample	1	2	1	2
Сопротивление сжатию / Compression resistance	1,6	3,6	до 10,0	до 10,0

Обозначения:

1 – воздушно-сухие;

2 – водонасыщенные после замораживания.

При дозировке 2 % силиката натрия и 1 % мела сопротивление разрыву после 3-х кратного водонасыщения и высушивания – 1,40-1,50 МПа, а после замораживания и оттаивания – 1,75 МПа; сопротивление сжатию – 8,2- 9,2 МПа. Добавки извести не дали ощутимых результатов.

Способ битумизации

Увеличение дозировки битума с 0,8 до 1,6 % не увеличивает прочность (табл. 4).

Таблица 4 / Table 4

Сопротивление образцов разрыву
Tear resistance of the samples

Вид эмульсии и дозировка / Type of emulsion and dosage	Сопротивление со временем, МПа, сутки / Resistance over time, MPa, day		
	5	6	7
ССБ – 0,8 %	0,277	-	0,275
	0,224	-	0,248
	0,210	-	0,288
Среднее значение	0,220	-	0,270
БС – 0,8 %	0,122	0,160	0,260
	0,105	0,195	0,233
		0,173	0,262
Среднее значение	0,113	0,176	0,250
ССБ – 1,6 %	0,214	0,250	0,320
	-	0,257	0,298
	-	0,255	0,280
Среднее значение	0,214	0,254	0,299

При насыщении образцов водой прочность понижается в ряде случаев до распада (табл. 5).

Таблица 5 / Table 5

Прочность закрепления хвостов в водонасыщенном состоянии
The strength of fixing the tails in a water-saturated state

Прочность, МПа / Strength, MPa			
ССБ – 0,8%	БС – 0,8%	ССБ – 1,6%	БС – 1,6%
0,038	0,030	0,038	Распался
0,036	0,029	0,033	Распался
0,032	Распался	0,049	-
0,033	Распался	0,048	-

При температуре 50 °С прочность по сравнению с комнатной температурой снижается на 30 %, но остается достаточной. Прочность, понижающаяся при насыщении водой, после высыхания восстанавливается.

Сопротивление сжатию после 3-х кратного замораживания и оттаивания составило 1,4...2,2 МПа при 0,8 % и 2,0...2,2 МПа при 1,6 % битума, т.е. не уменьшилось.

Воздействие струи со скоростью 40 м/сек не разрушало поверхности. Потери в весе образцов, подвергнутых 3-х кратному водонасыщению, замораживанию и оттаиванию составили 3,4 % при дозировке битума 0,8 % и 2,9 % - при дозировке 1,6 %. При дозировке 0,5...0,8 % битумная пленка сохраняет прочность.

Способ с добавкой ПВА

Увеличение прочности закрепления достигается добавками к битуму поверхностно-активных веществ, например, канифоли, сульфонафтенной кислоты, мыла, щелока, битума, дегтя, обработка растворами сульфатов и хлоридов, кремний - органическими соединениями и т.д.

В водонасыщенном состоянии образцы теряют прочность и при добавке полиаминов. Упрочнение образцов при высыхании происходит быстрее. Добавка негашеной извести повышают водостойкость образцов. При дозировке 0,8 % битума и 0,4 % полиаминов с добавкой 0,4 % извести сопротивление разрыву составило 0,225 Мпа.

Прочность верхнего слоя хвостов повышается путем орошения водой с легко кристаллизующимися солями, образующими защитную пленку по периметру отвала.

Механизм упрочнения массива хвостохранилища исследован на плоском стенде размерами: длина 2 м, ширина 2 м, высота 2,5 м с прозрачным изолирующим корпусом (рис. 2). Масштаб моделирования 1:200.

Для образования изолирующей поверхности использованы уложенные в два слоя. Верхний слой образован отходами доломита. В нижнем слое засыпан инертный к серной кислоте алевролит с добавкой обожженной извести. Часть раствора и образующиеся кислые воды перетекают из верхнего в нижний слой, где образуется гашеная известь (рис. 2).

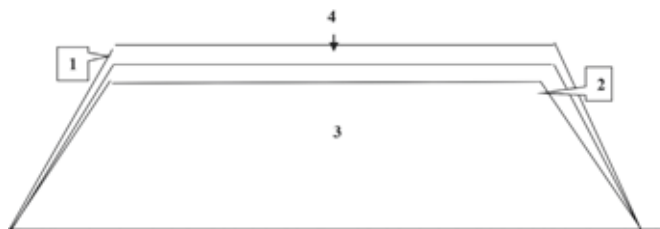


Рис. 2. Моделирование процесса закрепления массива хвостов карбонатами: 1 - первый слой; 2 - второй слой; 3 - хвосты обогащения; 4 - реагент
Fig. 2. Modeling of the process of fixing the tailings array with carbonates: 1 - the first layer; 2 - the second layer; 3 - enrichment tails; 4 - reagent

Применение доломитов и извести улучшает прочность верхнего слоя массива хвостов при сокращении времени твердения. При фильтрации через нижний слой пород отработанный раствор несет в себе частицы образовавшегося в верхнем слое гипса, который оседает на породах нижнего слоя. Таким образом, в нижнем слое образуется затвердевший массив, прочность которого сравнима с прочностью бетонной смеси.

Закрепление продуктами выщелачивания

Схемы природного выщелачивания хвостов основаны на осаждении металлов определенными минералами. Металлы перемещаются из одной части отвала в другую, где происходит их избирательное осаждение.

Технологии с закреплением хвостов кольматацией известны из практики уранового рудника «Бык» на Северном Кавказе. Условия выщелачивания: объемный вес-2,2 т/м³; удельный вес- 2,6 т/м³; влажность- 8,5 %; коэффициент крепости по Протодяконову: гранит-порфиров 10...15; мергелей, аргиллитов и песчаников- 2-6; коэффициент фильтрации -<0,1 м/сутки. Вещественный состав выщелачиваемой массы: кварца и полевого шпата...66,5 %; карбонатов -1,0%; глинистых минералов - 6,0 %; сульфидов - десятые доли процентов.

В качестве реагента применяли 3% водный раствор серной кислоты, подаваемый в количестве 60...100 л/м²час. Скорость просачивания раствора 3...6 м/час. Выход металло-содержащих растворов составлял 0,7...1 м³/т руды при концентрации металла около 145 мг/л. Извлечение металла из руды в раствор составляло 60...67 %; а извлечение металла из продуктивных растворов – около 98 %.

Результатом гидратации является консервация минералов хвостохранилища в форме, недоступной разрушению под действием природных факторов. Наибольшая прочность закрепления зафиксирована в нижней части хранилища.

Обсуждение

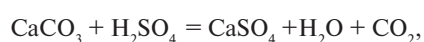
Наиболее эффективным для закрепления элементов хвостохранилища являются отходы карбонатов и маточные растворы выщелачивания.

При создании физико-химические барьеров смешение кислых и щелочных вод изменяет pH среды и вызывает осаждение металлов: медь осаждается при pH 5,0...5,5, а цинк — при pH 6,5...7,0.

Новые технологии предусматривают образование геохимических барьеров путем использования растворов или их смешения в процессе истечения сквозь минералы с различными свойствами.

Цемент в качестве вяжущей компоненты заменяется продуктом выщелачивания карбонатов, роль которых могут играть доменные гранулированные шлаки, шлаки, золы уноса сланцев и углей при сжигании их в топках электростанций.

Породы, содержащие карбонаты, могут использоваться в качестве вяжущего, потому что при воздействии на них кислотными растворами получается гипс:



Для создания прочной и монолитной закладки достаточно превратить в гипс 20-30 % известняка или доломита.

Способы закрепления массивов хвостохранилищ сведены в табл. 6.

При хранении в отвалах сульфиды осаждают рассеянные элементы, например, индий осаждается сульфидами меди, ртути и цинка, а таллий - сульфидом мышьяка. Образующиеся минералы и их гели адсорбируют медь, кобальт, барий, литий, цинк, свинец и таллий.

Правомерны промежуточные выводы:

- консервация хвостохранилищ снижает только параметры загрязнения пылью;
- на загрязнение металлами консервация существенного влияния не оказывает;
- основная цель консервации хвостохранилищ состоит в сохранении вторичного сырья для переработки технологиями будущего.

В хвостохранилище Мизурской фабрики процесс вы-

щелачивания свинца и цинка моделировали на стенде при температуре 18...20 °С и давлении 760 мм рт. ст. через модель пропускали 150 дм³ раствора. для определения концентраций цинка порядка 5 мг/дм³ использован титриметрический метод. Для определения содержания свинца был использован фотометрический хроматный метод.

Результаты моделирования сведены в табл. 7.

Таблица 6 / Table 6

Показатели закрепления массивов хвостохранилищ Indicators of consolidation of tailings storage arrays

Технология / Technology	Прочность, МПа / Strength, MPa		
	Минимальная / Minimum	Максимальная / Maximum	Средняя / Average
Глинизация /	0.05	2.2	1.1
Цементация /	0.22	6.6	1.7
Силикатизация /	0.1	10	3.2
Битумизация /	0.1	2	1.2
Комбинированная с добавкой ПВА /	0.1	3.3	1.4
Закрепление травами /	Появление пленки (около 0.01)		
Карбонатизация /	0.3	1.5	0.8
Химическое закрепление /	0.3	0.46	0.67

Таблица 7 / Table 7

Выщелачивание хвостов активированными стоками Leaching of tailings with activated effluents

Количество анолита, дм ³ / The amount of anolyte, dm ³	Содержание в фильтрате, мг/дм ³ / Substance in the filtrate, mg/dm ³	
	Свинец / Lead	Цинк / Zinc
10	106	340
30	87,1	307
50	89,1	280
70	55,1	266
90	39,8	220
110	34,0	160
130	21,5	117
150	14,0	85,3

Совокупность физико-химических процессов включает феномен гидратации – взаимодействие веществ с водой, в результате чего они связываются друг с другом. В результате гидратации образуются закрепляющие массив гидраты, прочность которых на одноосное сжатие приведена в табл. 8.

Таблица 8 / Table 8

Прочность химически закрепленных хвостов Strength of chemically fixed tails

Место отбора проб / Sampling location	Прочность, сутки, МПа / Strength, day, MPa		
	7	28	90
Верх /	нет	0.3	0.4
Середина /	нет	0.42	0.52
Низ /	0.26	0.67	0.77
Средняя /	-	0.46	0.56

Маточные растворы для упрочнения элементов хвостохранилищ являются продуктом технологий с выщелачиванием (рис. 3).

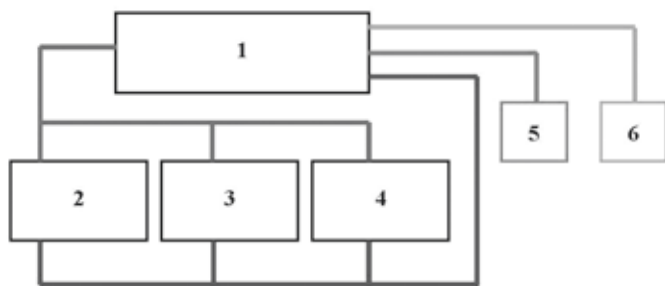


Рис. 3. Схема извлечения металлов выщелачиванием: 1 - цех переработки растворов реагентов; 2 - подземное выщелачивание; 3 - кучное выщелачивание; 4 - выщелачивание в дезинтеграторе; 5 - металлы; 6 - хвосты
Fig. 3. Scheme of metal extraction by leaching: 1 - reagent solution processing workshop; 2 - underground leaching; 3 - heap leaching; 4 - leaching in a disinfectant; 5 - metals; 6 - tailings

Новые способы закрепления массивов в хранилищах отвечает концепции рационального природопользования в

большей мере, поскольку при решении основной проблемы одновременно решает и эколого — экономические проблемы, утилизируя отходы технологии будущего — выщелачивания металлов.

Заключение

Хранение хвостов обогащения должно предусматривать возможность вовлечения их в производство при освоении новых технологий переработки.

Основным мероприятием по минимизации их негативного влияния становится закрепление элементов конструкции хранилищ для предупреждения химизации экосистем окружающей среды продуктами хранения хвостов.

Варианты закрепления элементов хвостохранилища отходами карбонатов и маточными растворами выщелачивания с созданием физико-химических барьеров в большей мере отвечают концепции гуманного отношения к окружающей среде.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Technology for nonwaste recovery of tailings of the mizur mining and processing plant / V. I. Golik, R. V. Klyuev, N. V. Martyushev [et. al.] // *Metallurgist*. - 2023. - Vol. 66, No. 11-12. - P. 1476-1480. DOI: 10.1007/s11015-023-01462-y
2. Prospects for return of valuable components lost in tailings of light metals ore processing / V. I. Golik, R. V. Klyuev, N. V. Martyushev [et. al.] // *Metallurgist*. - 2023. - Vol. 67, No. 1-2. - P. 96-103. DOI: 10.1007/s11015-023-01493-5
3. Reuse and Mechanochemical Processing of Ore Dressing Tailings Used for Extracting Pb and Zn / V. I. Golik, R. V. Klyuev, N. V. Martyushev [et. al.] // *Materials*. - 2023. - № 16. 7004. <https://doi.org/10.3390/ma16217004>
4. Chongchong, Qi Cemented paste backfill for mineral tailings management: Review and future perspectives / Qi Chongchong A. Fourie // *Minerals Engineering*. - 2019. - Vol. 144. 106025.
5. Дмитрак, Ю.В. Минерально-сырьевая база цветной металлургии России / Ю. В. Дмитрак, Б. С. Цидаев, В.Х. Дзапаров, Г.Х. Харебов // *Вектор Гео Наук*. - 2019. - Т. 2, № 1. - С. 9-18.
6. Методология выбора подземной геотехнологии при комбинированной разработке рудных месторождений : монография / И. В. Соколов, Ю. Г. Антипин, И. В. Никитин ; под общ. ред. д-ра техн. наук И. В. Соколова; Мин-во науки и высш. обр. РФ. — Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2021. — 340 с.
7. Качурин, Н.М. Геомеханические и аэрогазодинамические последствия подработки территорий горных отводов шахт Восточного Донбасса / Н. М. Качурин, Г. В. Стась, Т. В. Корчагина, М. В. Змеев // *Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле*. 2017. - Вып. 1. - С. 170-182.
8. Карамушка В. П., Камнев Е. Н., Кузин Р. З. Рекультивация объектов добычи и переработки урановых руд. - М.: Издательство «Горная книга», 2014. - 183 с.
9. Vaikuntam Iyer Lakshmanan, Raja Roy, V. Ramachandran. Innovative Process Development in Metallurgical Industry: Concept to Commission. — Springer, 2015. - 440 p. DOI: 10.1007/978-3-319-21599-0
10. Комащенко, В. И. Эколого-экономическая целесообразность утилизации горнопромышленных отходов с целью их переработки / В. И. Комащенко // *Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле*. — 2015. — № 4. — С. 23-30.
11. Ляшенко, В. И. Природоохранные технологии освоения сложноструктурных месторождений полезных ископаемых / В. И. Ляшенко // *Маркшейдерский вестник*. — 2015. — № 1(104). — С. 10-15.
12. Повышение экономической эффективности горнодобывающих предприятий за счет вовлечения в эксплуатацию техногенных георесурсов / С. Е. Гавришев, С. Н. Корнилов, И. А. Пыталев, И. В. Гапонова // *Горный журнал*. — 2017. — № 12. — С. 46-51. — DOI 10.17580/gzh.2017.12.09
13. A systematic review of paste technology in metal mines for cleaner production in China / Shenghua Yin, Yajian Shao, Aixiang Wu, Hongjiang Wang, Xiaohui Liu et al. // *Journal of Cleaner Production*. - 2020. - Vol. 247. 119590.
14. Palaniandy, S. Impact of mechanochemical effect on chalcopryite leaching / S. Palaniandy // *International Journal of Mineral Processing*. - 2015. - Vol. 136. - P. 56-65. DOI: 10.1016/j.minpro.2014.10.005
15. Enhancement of copper dissolution by mechanochemical activation of copper ores: Correlation between leaching experiments and DEM simulations / M. Minagawa, S. Hisatomi, T. Kato [et. al.] // *Advanced Powder Technology*. - 2018. - V. 29(3). - P. 471-478. DOI: 10.1016/j.appt.2017.11.03
16. Исследование влияния активационной обработки на галитовые отходы обогащения при приготовлении закладочной смеси / Ч. Б. Конгар-Сюрюн, В. В. Фараджов, Ю. С. Тюляева, А. М. Хайрутдинов // *Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал)*. — 2021. — № 1. — С. 43-57. — DOI 10.25018/0236-1493-2021-1-0-43-57
17. Балихин, А. В. Минерально-сырьевая база урана: современное состояние и перспективы развития. Обзор / А. В. Балихин // *Комплексное использование минерального сырья*. — 2019. — № 1(308). — С. 36-50. — DOI 10.31643/2019/6445.05
18. Валиев, Н. Г. К вопросу об использовании систем искусственного интеллекта в процедурах аудита современного горного производства (проблематика решения задач современного горного производства с использованием мультиагентных си-

стем) / Н. Г. Валиев, С. С. Головырин, В. В. Макаров // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2017. – № S23. – С. 134–139.

19. Половов, Б. Д. Особенности имитационного анализа уровней геомеханических рисков горнотехнических объектов / Б. Д. Половов, Н. Г. Валиев, К. В. Кокарев // Горный журнал. – 2016. – № 12. – С. 8–13. – DOI 10.17580/gzh.2016.12.02.

20. Яицкая, Н. А. Геоинформационные технологии при решении трехмерных геоэкологических задач: пространственная интерполяция данных / Яицкая Н. А., Бригида В. С. // Геология и геофизика Юга России. – 2022. – №12(1). – С. 162–173. DOI: 10.46698/VNC.2022.86.27.012.

REFERENCES

1. Golik VI, Klyuev RV, Martyushev NV, et. al. Technology of waste-free disposal of tailings of the Mizur mining and processing plant. *Metallurgist*. 2023;66(11-12):1476–1480. DOI: 10.1007/s11015-023-01462-y

2. Golik VI, Klyuev RV, Martyushev NV, et. al. Prospects for the return of valuable components lost in the tailings of processing of light metal ores. *Metallurgist*. 2023;67(1-2):96–103. DOI: 10.1007/s11015-023-01493-5

3. Golik VI, Klyuev RV, Martyushev NV, et. al. Mechanochemical processing and Reuse of enrichment tailings used to extract PB and zinc. *Materials*. 2023;16:7004. <https://doi.org/10.3390/ma16217004>

4. Chongchong Qi, Fourier A. Backfilling from cemented mass for the management of tailings dumps of minerals: an overview and prospects for the future. *Mineral engineering*. 2019;144: 106025.

5. Dmitrak YuV, Tsidaev BS, Dzaparov VKh, et. al. Mineral resource base of non-ferrous metallurgy of Russia. *Vector Geo Sciences*. 2019; 2(1):9–18 (In Russ.).

6. Methodology of underground geotechnology selection in hybrid ore mining / I.V. Sokolov, Yu.G. Antipin, I.V. Nikitin. Yekaterinburg: Ural University Press, 2021 (In Russ.).

7. Kachurin NM, Stas GV, Korchagina TV, et. al. Geomechanical and aerogasodynamic consequences of mining the territories of the mining branches of the mines of Eastern Donbass. *Izvestiya Tula State University. Ser. of Earth Sciences*. 2017;1:170–182. (In Russ.).

8. Recultivation of uranium ore mining and processing facilities / V.P. Karamushka, E.N. Kamnev, R.Z. Kuzin. Moscow: Gornaya Kniga Publishing House, 2014 (In Russ.).

9. Innovative Process Development in Metallurgical Industry: Concept to Commission / Vaikuntam Iyer Lakshmanan, Raja Roy, V. Ramachandran. Springer, 2015. DOI: 10.1007/978-3-319-21599-0

10. Komashchenko VI. Ecological and economic expediency of mining waste disposal for the purpose of their processing. *Izvestiya Tula State University. Earth Sciences*. 2015;4:23–30 (In Russ.).

11. Lyashenko VI. Environmental technologies in the development of mineral deposits of complex structure. *The Surveyor's Bulletin*. 2015;1:10–15 (In Russ.).

12. Gavrishev SE, Kornilov SN, Pytlev IA, et. al. Improving the economic efficiency of mining enterprises due to the commissioning of technogenic georesources. *Mining Journal*. 2017;12:46–51 (In Russ.).

13. Shenghua Yin, Yajian Shao, Aixiang Wu, et. al. A systematic review of the technology of production of pasty materials in metallurgical mines for cleaner production in China. *Journal of Cleaner Production*. 2020; 247:119590.

14. Palaniandi S. The effect of mechanochemical action on chalcopryite leaching. *International Journal of Mineral Processing*. 2015;136:56–65. DOI: 10.1016/J.minpro.2014.10.005

15. Minagawa M, Hisatomi S, Kato T, et. al. Enhancement of copper dissolution by mechanochemical activation of copper ores: correlation between leaching experiments and DEM modeling. *Advanced powder technology*. 2018;29(3):471–478.

16. Kongar - Suryun ChB, Faradzov VV, Tyulyaeva YuS, et. al. Investigation of the effect of activation treatment of halite enrichment waste in the preparation of masonry mixture. *Mining information and analytical bulletin*. 2021;1:43–57. (In Russ.). DOI: 10.25018/0236-1493-2021-1-0-43-57

17. Balikhin AV. Mineral resource base of uranium: current state and development prospects. Review. *Complex use of mineral raw materials*. 2019;(1):36–50 (In Russ.).

18. Valiev NG, Golovyryin SS, Makarov VV. On the use of artificial intelligence systems in audit procedures of modern mining production (problems of solving problems of modern mining production using multi-agent systems). *Mining information and analytical Bulletin (scientific and technical journal)*. 2017;S23:134–139 (In Russ.).

19. Polovov BD, Valiev NG, Kokarev KV. Features of simulation analysis of levels of geomechanical risks of mining facilities. *Mining Journal*. 2016;12:8–13 (In Russ.).

20. Yaitskaya NA., Brigida VS. Geoinformation technologies in solving three-dimensional geoecological problems: interpolation of spatial data. *Geology and Geophysics of the South of Russia*. 2022;12(1):162–173 (In Russ.). DOI: 10.46698/VNC.2022.86.27.012

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Гolik Владимир Иванович –

доктор технических наук, профессор, профессор кафедры Горное дело Северо-Кавказского горно-металлургического института (ГТИ), г. Владикавказ, Россия, e-mail: v.i.golik@mail.ru

ABOUT THE AUTHORS

Vladimir I. Golik –

Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Mining Department of the North Caucasus Mining and Metallurgical Institute (GTU), Vladikavkaz, Russian Federation, e-mail: v.i.golik@mail.ru

Белодедов Андрей Александрович -

доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой Горное дело Южно-Российского государственного политехнического университета (ЮРГТУ), г. Новочеркасск, Россия

Мулухов Казбек Казгериевич –

доктор технических наук, профессор, профессор кафедры Теоретическая и прикладная механика, Северо-Кавказский горно-металлургический институт (ГТУ), г. Владикавказ, Россия

Масленников Станислав Александрович -

кандидат технических наук, заведующий кафедрой строительства и техносферной безопасности Института сферы обслуживания и предпринимательства (филиал) ДГТУ, г. Шахты, Ростовская обл., Россия

Дзапаров Вячеслав Хаматканович - кандидат технических наук, доцент Северо-Кавказского горно-металлургического института (ГТУ), г. Владикавказ, Россия

Andrey A. Belodedov -

Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Mining Department of Yuzhno-Russian State Polytechnic University (YURSTU), Novocherkassk, Russian Federation

Kazbek K. Mulukhov –

Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Theoretical and Applied Mechanics, North Caucasus Mining and Metallurgical Institute (GTU), Vladikavkaz, Russian Federation

Stanislav A. Maslennikov -

Candidate of Technical Sciences, Head of the Department of Construction and Technosphere Safety of the Institute of Service and Enterprise (branch) of DSTU, Shakhty, Rostov region, Russian Federation

Vyacheslav Kh. Dzaparov -

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the North Caucasus Mining and Metallurgical Institute (GTU), Vladikavkaz, Russian Federation

Критерии авторства / Contribution:

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

Конфликт интересов / Conflict of interest:

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

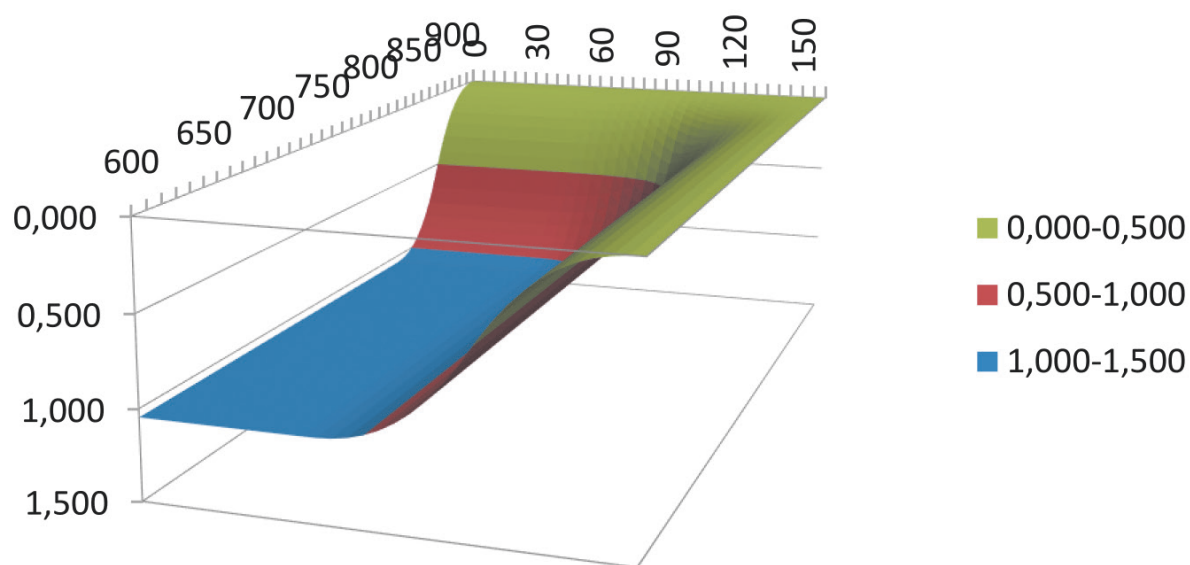


Рис. 7. Распределение ожидаемых оседаний земной поверхности от 423-й лавы
Fig. 7. Distribution of expected subsidence of the Earth's surface from the 423rd lava

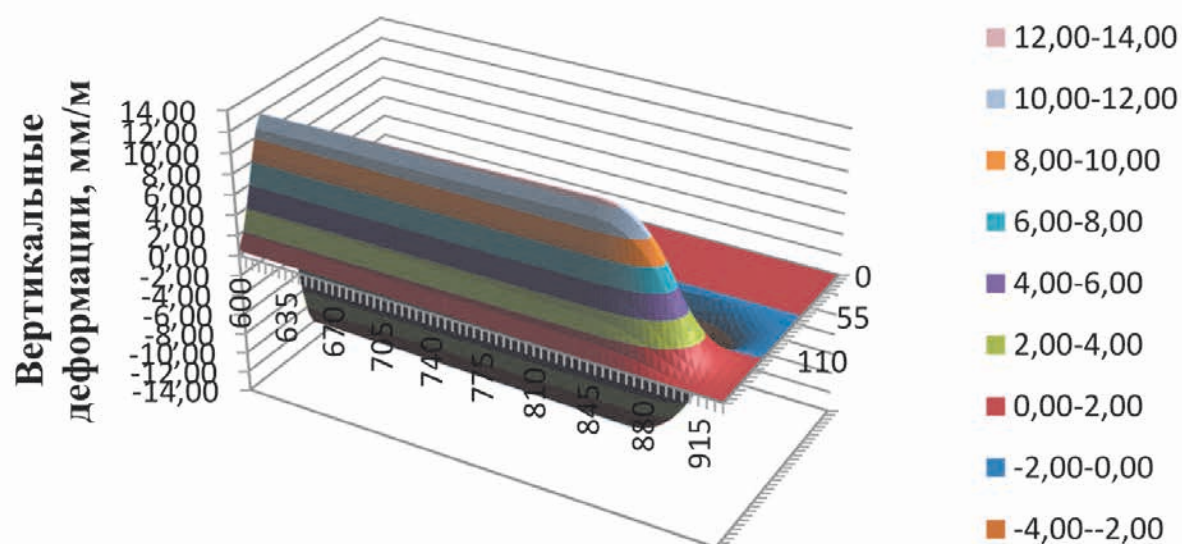


Рис. 8. Распределение горизонтальных деформаций мм/м в условиях полной отработки 423-й лавы (вид со стороны полигона ТБО)
Fig. 8. Distribution of horizontal deformations mm/m under conditions of complete mining of the 423rd lava (view from the landfill)

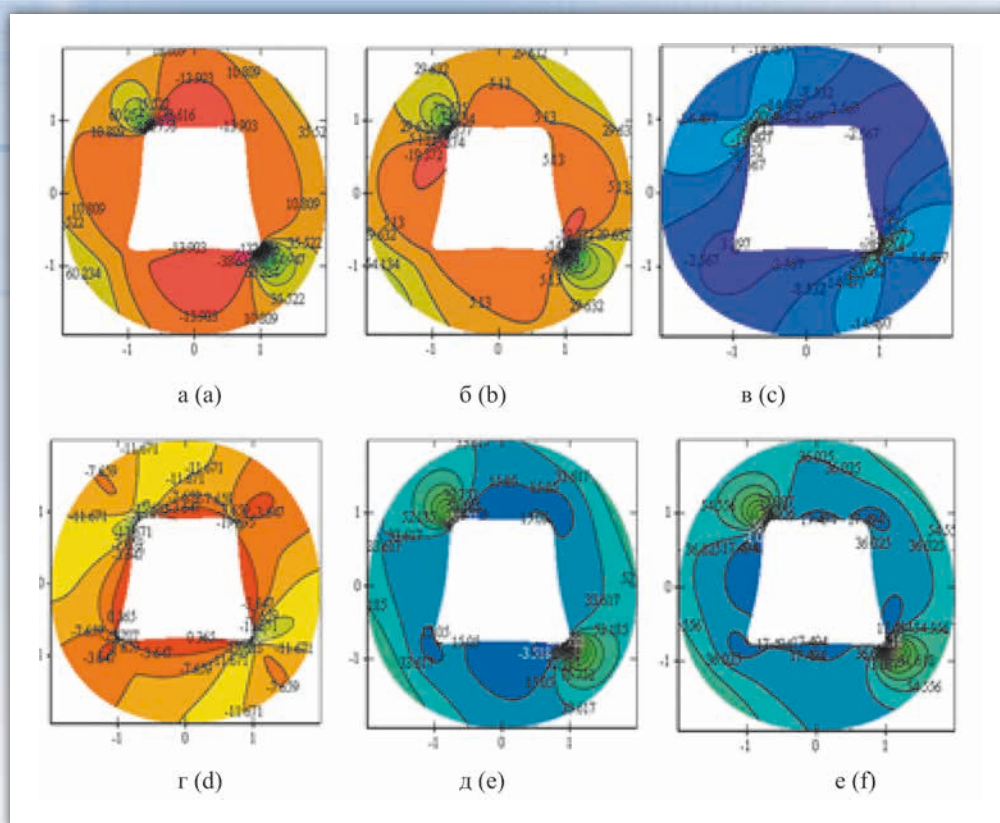


Рис. 3. Изолинии распределения напряжения вокруг туннеля при $P_0 = 0$ (а, б, в) и от напора воды $P_0 = -10$ МПа (г, д, е)

Fig. 3. Isoline voltage distribution around the tunnel at capital P bottom index 0 is 0 (a, b, v) and from water pressure capital P bottom index 0 is minus 10, Mpa

СТАЛКЕР 80-24, 15-24

КОМПЛЕКС ТРАССОПОИСКОВЫЙ

ПРИЕМНИК ПТ-24

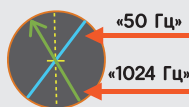
- GPS-выноска подземных трасс с последующим наложением на карту;
- встроенный GPS/ГЛОНАСС модуль;
- высокоточное позиционирование (до 1 см.) совместно с RTK-планшетом PrinCe LT700H;
- использование смартфона вместо внешнего GPS-трекера.



ФУНКЦИЯ «КОМПАС» С РЕЖИМОМ «ВТОРАЯ ЛИНИЯ»

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

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



ГЕНЕРАТОР ГТ-80

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

ГЕНЕРАТОР ГТ-15

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

Локализация и диагностика подземных коммуникаций



РАДИО-СЕРВИС

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

на правах
рекламы

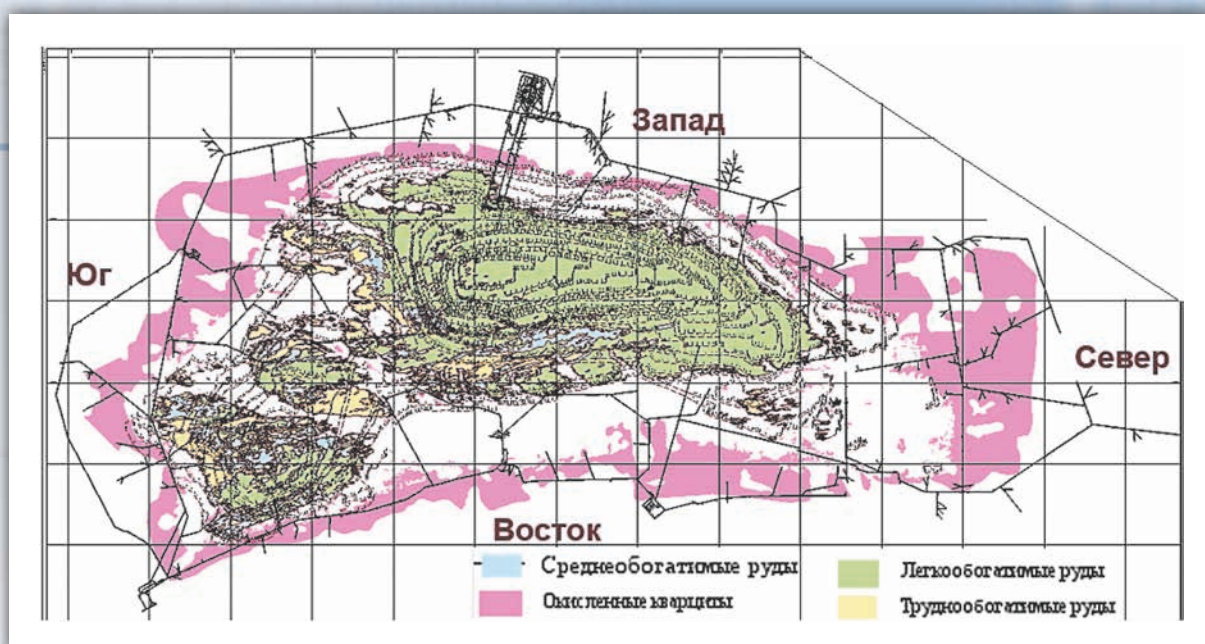


Рис. 1. Руды, подлежащие выемке в период до 2032 года при условии обеспечения производительности карьера 50 млн тонн в год [7]

Fig. 1. Ores to be excavated in the period up to 2032, provided that the productivity of the quarry is 50 million tons per year [7]



Группа компаний «ЭВОБЛАСТ» — российский разработчик, изготовитель и поставщик передовых взрывчатых материалов промышленного назначения, а также современных и эффективных экспертных решений для горной и строительной отраслей промышленности.

Значительный опыт реализации проектов в России — компания представлена на рынке с 1993 года.

- Производство и поставка инновационных эмульсионных взрывчатых веществ для заряжания восстающих скважин на подземных горных работах;
- Производство и поставка эмульсионных взрывчатых веществ для открытых горных работ;
- Разработка экспертных решений и оказание услуг премиального сервиса по ведению буровзрывных работ;
- Проведение комплексных аудитов буровзрывных работ с повышением эффективности и безопасности;
- Обучение эффективным практикам ведения буровзрывных работ.

ГК «ЭВОБЛАСТ»
125315, Россия, Москва,
Ленинградский пр-т., д. 72, к. 1, 8 этаж
тел.: +7 495 641 11 64
e: marketing@evoblast.ru
w: evoblast.ru



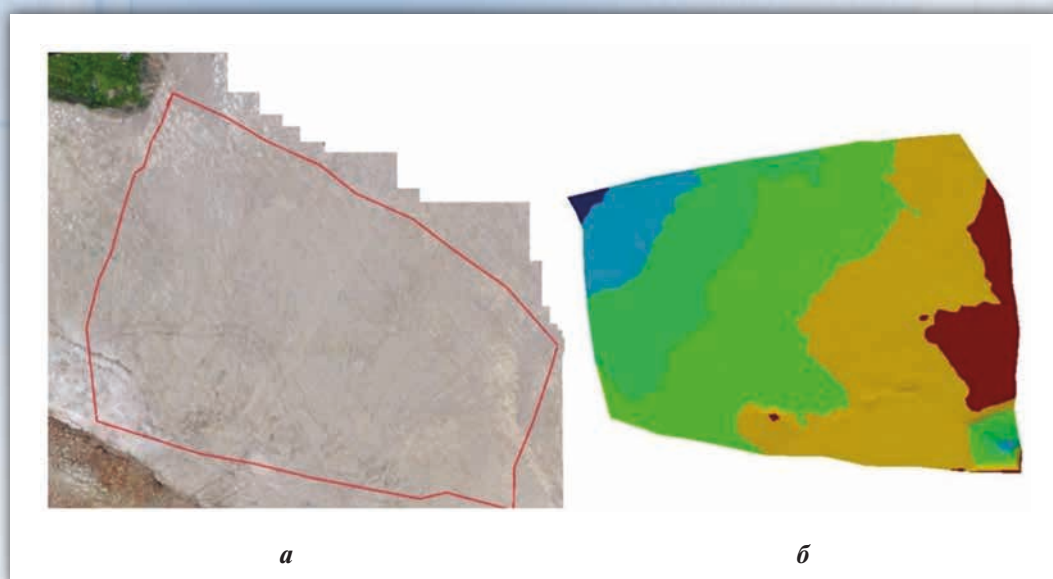


Рис. 3. Модель поверхности по данным DJI Phantom-4 в июне 2023 года: а – Virtual Survey; б – Bentley PowerSurveyV8i
 Fig. 3. Surface model from DJI Phantom 4 data in June 2023: a – Virtual Survey; b – Bentley PowerSurveyV8i

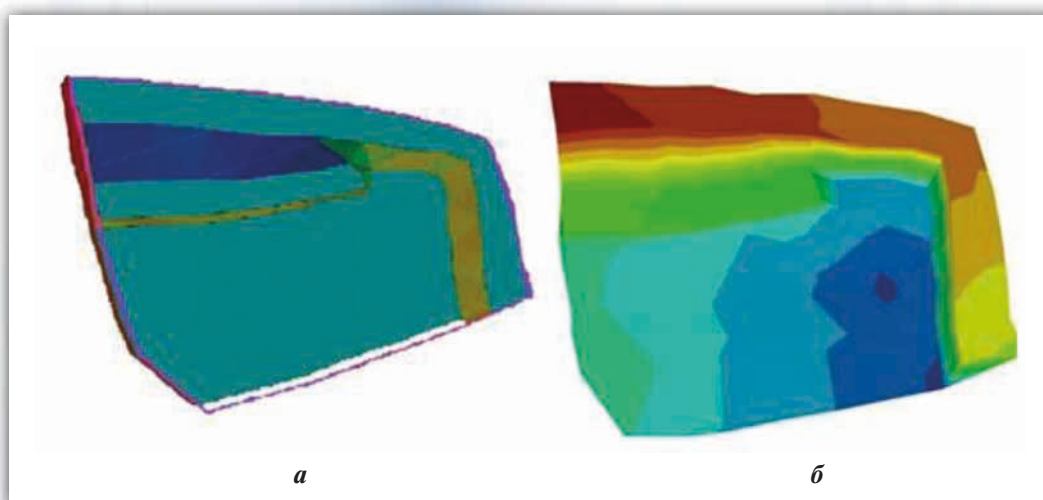


Рис. 4. Цифровые модели поверхности месторождения карьера «Талановское» по данным тахиметрических измерений в сентябре 2023 года:
 а – Bentley PowerSurveyV8i; б – Bentley Microstation
 Fig. 4. Digital models of the surface of the Talanovskoye quarry deposit based on tachymetric measurements in September 2023:
 а – Bentley PowerSurveyV8i; б – Bentley Microstation

ВЛИЯНИЕ ПОДРАБОТКИ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК ПОДЗЕМНОГО ДРЕНАЖНОГО КОМПЛЕКСА НА ПРОЦЕССЫ ОСУШЕНИЯ КАРЬЕРА МИХАЙЛОВСКОГО ГОКА ИМ. А. В. ВАРИЧЕВА (КУРСКАЯ МАГНИТНАЯ АНОМАЛИЯ)

В. В. Кушнерчук¹, В. В. Хаустов¹, Е. А. Ермолович¹, Л. А. Семенова², В. В. Симонян³

¹Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород, Россия

²Юго-Западный государственный университет, г. Курск, Россия

³Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, г. Москва, Россия

Аннотация: Приведены результаты исследования подземного дренажного комплекса Михайловского железорудного месторождения. Осушение последнего в связи со значительными размерами карьерного поля, а также для уменьшения объема вскрыши осуществляется комбинированно-поверхностным и подземным способом. Выявлено, что в процессе постоянного развития фронта горных работ и углубления карьера часть подземных горных выработок подземного дренажного комплекса оказалась в зоне подработки. Решение о передаче горной выработки на погашение производится на основании анализа совмещения плана открытых и плана подземных горных работ. Установлены размеры охранных целиков около действующих и проектируемых подземных дренажных выработок. Оценены объемы работ по погашению дренажных выработок, подлежащих погашению в период 2023–2032 годов с учетом развития фронта горных работ в трех частях карьера МГОКа: центральной, соединительной и южной (северная часть карьера законсервирована). Разработаны и проанализированы различные варианты развития подземного дренажного комплекса в контексте воспроизводства дренажных горных выработок при производственной необходимости их погашения.

Ключевые слова: месторождение, подземные воды, подземный дренажный комплекс, подработка, погашение дренажных выработок, развитие дренажного комплекса

Для цитирования: Влияние подработки горных выработок подземного дренажного комплекса на процессы осушения карьера Михайловского ГОКа им. А. В. Варичева (Курская магнитная аномалия) / В. В. Кушнерчук, В. В. Хаустов, Е. А. Ермолович [и др.] // Маркшейдерия и недропользование. 2024. №4. С. 47–55. https://doi.org/10.56195/20793332_2024_4_47_55.

THE INFLUENCE UNDERMINING UNDERGROUND MININGS OF AN UNDERGROUND DRAINAGE COMPLEX ON THE DRAINAGE PROCESSES OF THE MIKHAILOVSKY GOK QUARRY NAMED AFTER A. V. VARICHEV (KURSK MAGNETIC ANOMALY)

V. V. Kushnerchuk¹, V. V. Khaustov¹, E. A. Ermolovich¹, L. A. Semenova², V. V. Simonyan³

¹Belgorod State National Research University, Belgorod, Russian Federation

²Southwestern State University, Kursk, Russian Federation

³National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russian Federation

Abstract: The results of the study of the functioning of the drainage complex of the Mikhailovsky iron ore deposit are presented. Due to the significant size of the quarry field, as well as to reduce the volume of overburden, its drainage is carried out in a combined surface and underground way. It was revealed that in the process of constant development of the mining front and deepening of the quarry, part of the underground mining of the underground drainage complex turned out to be in the ended up in the undermining zone. The need to transfer mining operations for destruction arises when open-pit mining operations is approached at a distance equal to the size of the security pillar. The dimensions of the security pillars near the existing and projected underground drainage workings have been established. The volume of work on the repayment of drainage workings to be repaid in the period 2023–2032 has been estimated. taking into account the development of the mining front in three parts of the quarry: the central, connecting and southern (the northern part of the quarry has been mothballed). Various options for the development of an underground drainage complex have been developed and analyzed in the context of the reproduction of drainage mine workings with the production need for their destruction.

Keywords: deposit, groundwater, underground drainage complex, destruction of drainage workings, development of drainage complex

For citation: Kushnerchuk V. V., Khaustov V. V., Ermolovich E. A., et al. The influence undermining underground minings of an underground drainage complex on the drainage processes of the Mikhailovsky GOK quarry named after A. V. Varichev (Kursk magnetic anomaly). Mine Surveying and Subsoil Use. 2024;(4):47–55. (In Russ.). https://doi.org/10.56195/20793332_2024_4_47_55.

Введение

Михайловское месторождение железных руд локализовано на северо-западе Курской области и является одним из крупнейших подобных месторождений на Курской магнитной аномалии (КМА). Его промышленное освоение осуществляется открытым способом. Развитие карьера в пространственно-временном отношении требует эффективной работы системы осушения, которая должна обеспечить безопасные условия ведения вскрышных и добычных работ на расчетный период отработки месторождения, а также благоприятные условия эксплуатации горнодобычного и горнотранспортного оборудования, машин и механизмов.

Основные гидрогеологические особенности карьера Михайловского горно-обогатительного комбината (далее — МГОК) обусловлены наличием мощного осадочного чехла, перекрывающего месторождение, в котором выделены водоносные горизонты в песчаных отложениях четвертичной, меловой и юрской систем, в песчаных и карбонатных образованиях девонской системы [1]. В кристаллическом фундаменте прослеживается водоносная зона трещиноватости в архей-протерозойских изверженных и метаморфических породах. Выдержанная глинистая келловейская толща разделяет гидрогеологический разрез на два водоносных комплекса: надкелловейский комплекс, включающий безнапорные горизонты в четвертичных и меловых отложениях, и подкелловейский напорно-безнапорный комплекс водоносных горизонтов в батских, девонских и архей-протерозойских породах [2, 3]. В целом гидрогеологические условия месторождения характеризуются как сложные, а естественный режим подземных вод в пределах месторождения в результате мероприятий по его осушению существенно нарушен.

В связи со значительными размерами карьерного поля, а также для уменьшения объема вскрыши и повышения экономической эффективности добычи руды его осушение осуществляется комбинированно-поверхностным и подземным способом [4–6]. Сбор дождевых и паводковых вод осуществляется с помощью прибортовых дренажных канав, которые проходятся технологическими экскаваторами и поддерживаются в рабочем состоянии дизельными экскаваторами участка осушения. Водоносные горизонты верхнего комплекса — безнапорные, дренируются бортами карьера и гидрографической сетью. Водоносные горизонты подкелловейского комплекса осушаются комбинированно системой насосных установок в карьере, для чего создана сеть подземных выработок и пробуренных из них восстающих дренажных скважин на все водоносные горизонты и дренажные узлы (подземный дренажный комплекс — далее ПДрК) [7–9].

В процессе постоянного развития фронта горных работ и углубления карьера подземные горные выработки ПДрК оказались в зоне подработки на большой протяженности, что самым негативным образом отражается на состоянии и эффективности функционирования системы осушения карьера в целом. В этой связи исследования гидрогеомеханических процессов в пределах функционирующего горного предприятия весьма актуальны.

Цель исследований — выявить влияние подработки горных выработок подземного дренажного комплекса на процессы осушения карьера Михайловского ГОКа.

Объект исследований

Длина карьера МГОКа по контуру вскрыши составляет 6,0 км, ширина — 2,6 км, глубина — 340 м, площадь достигла 15,6 км², а протяженность замкнутого кольца горных выработок дренажной шахты вокруг карьера составляет 20,1 км. Горные работы ведутся в трех карьерах: центральном, соединительном и южном; северный карьер законсервирован и используется для складирования окисленных кварцитов (рис. 1) (см. цветную вклейку на стр. 45).

Осушение карьера осуществляется системой подземных горных выработок ПДрК и пробуренных из них восстающих дренажных скважин (далее — ВДС). Подземные выработки представлены дренажными штреками, оконтуривающими карьер с внешней стороны, а также выработками, направленными внутрь контура, пройденные с уклоном 0,005. Внутриконтурные выработки предназначены в основном для отвода дренажных и карьерных вод, поступающих через дренажно-вентиляционные скважины, пробуренные с уступов карьера в подземные выработки от карьерного водоотлива и прибортовых дренажей к комплексам главного водоотлива, расположенным на горизонтах -20 м и -100 м. Устья дренажно-вентиляционных скважин оборудованы водоприемными устройствами и зумпами-отстойниками для очистки воды от механических примесей, осветления воды и уменьшения запесочивания скважин. С 2002 года запущены в работу водосбросный штрек и насосная станция на горизонте -100 м, которая перекачивает воду на горизонт -20 м. Дренажные воды из насосных ПДрК на горизонте -20 м поступают в коллектор перекачивающей насосной станции, расположенной у ствола шахты № 5. Перекачивающая насосная подает дренажные воды по трубопроводу в хвостохранилище (рис. 2).

Система подземных горных выработок ПДрК и пробуренных из них ВДС включает два вертикальных ствола, один наклонный ствол, штольню «Южный штрек № 5», водосбросные штреки, комплексы выработок водоотлива, камерные и вертикальные выработки различного назначения, расположенные на горизонтах -20 м и -100 м [1].

Ствол № 5 предназначен для спуска-подъема людей, спуска материалов и оборудования, выдачи породы и подачи свежего воздуха и оборудован клетевым подъемом с шахтной подъемной установкой ЦЗ × 2,2АР и лестничным отделением. Глубина ствола — 323,7 м, диаметр в свету — 4,5 м. Ствол № 6 предназначен для выдачи на поверхность исходящей струи воздуха северного крыла шахты и является запасным выходом. Ствол реконструирован и оснащен клетевым подъемом. Глубина ствола — 209,6 м, диаметр — 4,5 м. Наклонный ствол сечением 7,4 м² предназначен для спуска-подъема людей, материалов, оборудования и вентиляции, оборудован двумя шахтными подъемными установками Ц1,6 × 1,2. Ранее пройденные стволы № 1, 2, 3, 4 ликвидированы [7].

Южный штрек № 5 находится в юго-восточной части карьера и предназначен для выдачи на поверхность исходящей струи воздуха южного крыла шахты, а также в качестве запасного выхода.

Заглубленный карьерный водоотлив предусмотрен также на горизонте -225 м, чтобы обеспечить осушение Центрального карьера до проектной абс. отметки -180 м, а также позволит использовать его при заглублении карьера до абс. отметки -225 м и в дальнейшем для совместной его работы с открытым водоотливом. Заглубленный карьерный водо-

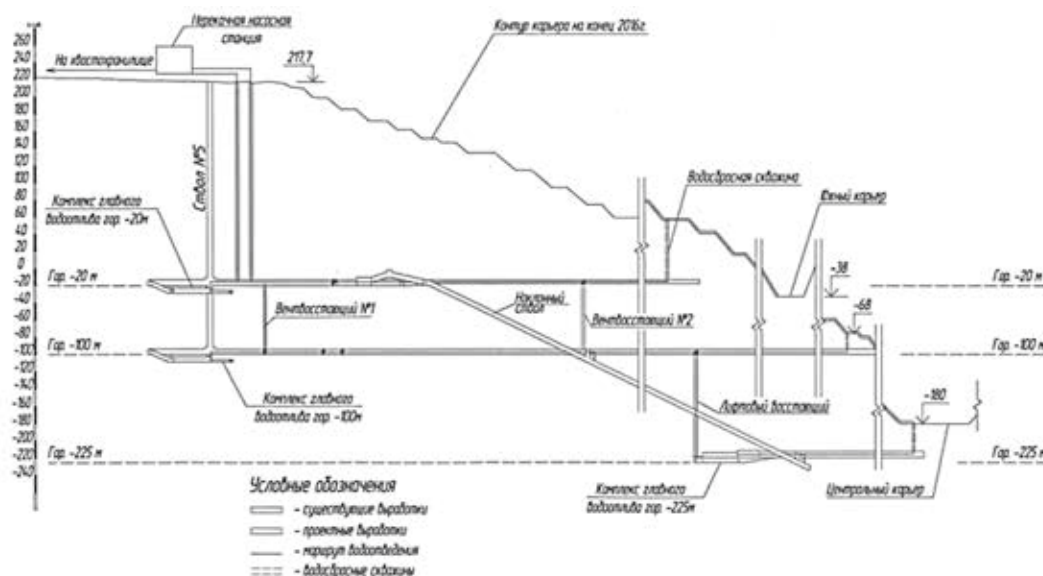


Рис. 2. Схема водоотведения
Fig. 2. Drainage scheme

отлив горизонта -225 м будет состоять из водоотливного комплекса и водоприемной выработки. Вскрытие горизонта -225 м производится уклоном -20 / -225 м, а также лифтово-ходовым восстающим -100 / -225 м (рис. 2). При этом общая длина выработок заглубленного карьерного водоотлива составит 1 740 м при объеме проходки 20 400 м³ [7].

Материал и методы исследований

Как уже отмечалось выше, горные работы, обеспечивающие требуемую выемку запасов, предполагают расширение карьера в северо-западном направлении; объединение Северного, Южного и Центрального карьеров с последующим углублением объединенного карьера [1, 4]. При этом в зоне подработки уже к 2024 году оказалось порядка 3 км подземных горных выработок ПДрК. Погашение этих выработок исключает в дальнейшем эффективный дренаж северо-западного борта карьера, что может повлечь за собой осложнения производства открытых горных работ, вплоть до их остановки.

Размеры охранных целиков около действующих и проектируемых подземных дренажных выработок определяются в зависимости от параметров массовых взрывов в карьере и с учетом геологического строения массива горных пород, прочностных свойств горных пород, пространственного расположения выработки относительно фронта буровзрывных работ, наличия и конструкции крепи горной выработки [10-13].

За норму сейсмостойкости горных выработок ПДрК МГОКа приняты нормы для вспомогательных (подготовительных) горных выработок, допускающие отдельные вывалы и отколы в кровле, поддающиеся удалению. Расчеты безопасных размеров охранных целиков выполняли по предельным параметрам скважинных зарядов ВВ в соответствии с методикой, приведенной в Федеральных нормах и правилах в области промышленной безопасности «Правила безопасности при взрывных работах» (с изменениями на 30 ноября 2017 года) [13].

В соответствии с п. 843 данных правил безопасные размеры охранных целика (толщина потолочины) при одновременном взрывании N зарядов со временем замедления между взрывами не менее 20 мс определена по формуле

$$r_c = \frac{K_r K_c \alpha}{N^{1/4}} Q^{1/3},$$

где r_c — размер целика (потолочина), м;
 K_r — коэффициент, зависящий от свойств грунта;
 K_c — коэффициент, зависящий от типа сооружения;
 α — коэффициент, зависящий от условий взрывания;
 Q — общая масса зарядов, кг;
 N — количество зарядов.

Вместе с тем следует иметь в виду, что валидация расчетных данных и достоверные сведения не могут быть получены без применения методов прямого (визуального) обследования состояния горных выработок ПДрК.

Результаты исследований

По предварительным оценкам, в зоне подработки уже к концу 2024 года может оказаться порядка 3 км подземных горных выработок ПДрК (рис. 3).

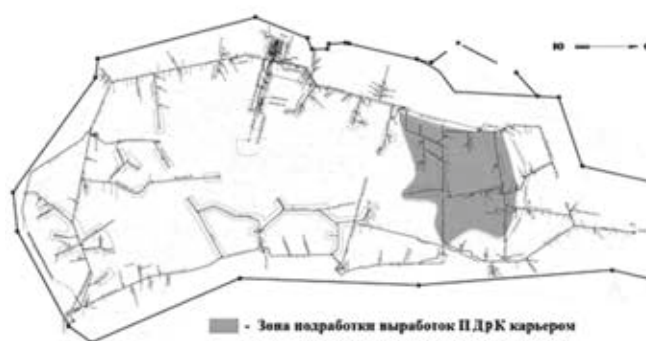


Рис. 3. Схема подземных горных выработок подземного дренажного комплекса с выделенной зоной подработки карьером Михайловского горно-обогатительного комбината (по состоянию на начало 2024 года)
Fig. 3. The scheme of underground mining of the Pr with a dedicated part-time work area by the quarry (as of the beginning of 2024)

Погашение этих горных выработок исключает в дальнейшем эффективный дренаж северо-западного борта карьера МГОКа.

Результаты расчетов значений безопасного размера цели-

ков в горных выработках с учетом крепости пород на основании исходных данных по ПДрК МГОК представлены в таблице 1. При расчете были выбраны следующие параметры: масса ВВ в одной скважине — 1 200 кг; общая масса зарядов (Q) — 10 800 кг; количество зарядов (скважин) — 9 шт.; коэффициент, зависящий от условий взрывания (α), — 0,5.

Таблица 1 / Table 1

Безопасный размер целиков
Safe size of pillars, m

Наименование горных выработок / Name of the mine workings	Категория крепости пород по шкале М. М. Протодьяконова / The category of rock strength on the scale of M. M. Protodyakonov	Значения коэф. Кг / Coefficient values	Безопасный размер целиков, м / Safe size of pillars, m
Западный штрек № 9 гор. -20 м	15–17	5	48
Западный штрек № 10 гор. -20 м	15–17	5	48
Обходная выработка северо-западного штрека гор. -20 м	10–15	5	48
Северо-западный штрек	9–11	5	48
Сбойка № 3 гор. -20 м	6–8	8	77
Северо-центральный штрек № 3 гор. -20 м	15–17	5	48
Северо-западный штрек № 2	15–17	5	48

Безопасный размер целиков должен уточняться с учетом количества применяемых зарядов и категории крепости пород. Из приведенных расчетов и планов расположения выработок ПДрК следует, что контурные действующие дренажные выработки находятся на сейсмобезопасном расстоянии и для них не требуется выполнения каких-либо специальных мероприятий. Внутрикатьерные же дренажные и водоотводящие выработки по мере развития горных работ в карьере оказываются в зоне сейсмического воздействия и требуют осуществления соответствующих мероприятий.

Таким образом, решение о передаче горной выработки на погашение производится на основании анализа совмещения плана открытых и плана подземных горных работ. Необходимость передачи горной выработки на погашение возникает при приближении открытых работ к горной выработке на расстояние, равное размеру охранного целика, рассчитанного по сейсмическому действию массовых взрывов в карьере [14–18].

Расчетные объемы работ по погашению дренажных выработок, подлежащих погашению в период 2023–2032 годов, приведены в таблице 2.

Погашение горных выработок происходит путем их обрушения буровзрывными работами в карьере, которые ведутся по отдельным проектам производства массовых взрывов. При составлении проектов массовых взрывов должны быть учтены размеры охранных целиков, попадающих в зону взрывных работ.

Таким образом, приведенными расчетами установлен объем горных выработок, подлежащих погашению в перспективе 2032 года — 6 415 п. м. Процесс погашения горных выработок ПДрК, безусловно, снижает эффективность дренажных процессов в целом, что требует их компенсационного воспроизводства.

Таблица 2 / Table 2

Объемы работ по погашению дренажных выработок
подземного дренажного комплекса
на период 2023–2032 годов
Scope of Works to Extinguish Drainage Workings
for the Period 2023–2032

Наименование выработок / Description of workings	Количество, п. м. / Quantity
Северо-центральный штрек № 3 гор. -20 м	257
Северный штрек № 4 гор. -20 м	60
Северный штрек № 11 гор. -20 м	58
Отстойник ВС-51	105
Западный штрек № 9 гор. -20 м	178
Отстойник ВС-30	53
Северо-западный штрек № 2 гор. -20 м	140
Отстойник ВС-31	102
Обходная выработка северо-западного штрека гор. -20 м	267
Северо-западный штрек гор. -20 м + бремсберг	772
Западный штрек № 10 гор. -20 м	400
Западный штрек № 13 гор. -20 м	278
Западный штрек № 14 гор. -20 м	120
Отстойник ВС-65	63
Отстойник ВС-91	122
Отстойник ВС-92	114
Сбойка № 3 гор. -20 м	138
Отстойник ВС-9	130
Отстойник ВС-32	124
Западный штрек № 8 гор. -20 м	111
Отстойник ВС-21	167
Западный штрек № 3 гор. -20 м	660
Южный штрек № 6 гор. -20 м	530
Южно-Центральный штрек гор. -20 м	99
Южный штрек № 9	162
Южный штрек № 16	110
Сбойка № 2 гор. -20 м	170
Западный штрек № 2	670
Добычной штрек	67
Сбойка № 3 гор. -20 м	161
Дренажная выработка № 9	27
Итого	6 415

Обсуждение результатов исследований

Технологическое и организационное обеспечение выполнения годовых планов МГОКа по добыче 50 млн тонн руды в год на период до 2032 год требует разработки и анализа вариантов развития ПДрК в контексте воспроизводства дренажных горных выработок при производственной необходимости их погашения.

Направление перспективного развития горных работ показывает, что существующая система осушения в целом сохраняется и может удовлетворительно функционировать вплоть до конечного этапа отработки карьера. Исключение составляет северо-западный борт карьера, границы которого на более поздних этапах отработки выходят за пределы существующего дренажного контура подземных горных выработок ПДрК [7]. При развитии горных работ в северо-западном направлении окажутся подработаны дренажные выработки на этом фланге, то есть на всем протяжении северо-запад-

ного борта, а также потребуется погашение части выработок северо-западного штрека на северном борту карьера (рис. 1, 3). Погашение этих выработок исключает в дальнейшем самотечный отвод дренажных вод с северо-западного борта карьера, что может повлечь за собой проблемы производства открытых горных работ, снижение качества разрабатываемых руд и пр. В связи со сложными горно-геологическими условиями, не позволяющими развивать горизонт -20 м в северо-западном направлении от ствола № 5, следует сосредоточиться на развитии инфраструктуры горизонта -100 м в этом же направлении, а именно создать дренажный контур от околоствольного двора ствола № 5 на горизонт -100 м и далее на север шахтного поля с выходом на горизонт -20 м уклоном на квершлаг к стволу № 6.

Предлагаемые ниже варианты развития ПДРК в связи с подработкой карьером призваны обеспечить следующие обязательные условия для осуществления безопасной эксплуатации карьера и выемки требуемых объемов запасов.

Обязательные условия включают в себя:

- устойчивость бортов и транспортных берм карьера;
- обеспечение допустимой величины притоков подземных вод непосредственно к уступам карьера, при которых фильтрационные деформации последних исключаются;
- обеспечение общей фильтрационной устойчивости бортов карьера как в постоянном положении, так и при их разработке;
- предотвращение подтопления вскрышных и добычных уступов карьера;
- отвод воды с уступов карьера и достижение нормативной для принятого типа оборудования несущей способности пород;
- благоприятные условия эксплуатации горнодобычного и горнотранспортного оборудования, машин и механизмов;
- упорядоченный сбор и отвод дренажных вод за пределы карьера.

Вариант № 1 — проведение обходных горных выработок с горизонта -20 м. Вариант предусматривает проходку следующих горных выработок: западный-бис штрек, северный-бис штрек, сбойка западный — северный-бис штреков горизонта -20 м и северный штрек № 2-бис-1, северный штрек № 2-бис-2, северный штрек № 2-бис-3 на горизонт -20 м. Проходка указанных выработок позволит сохранить существующую схему водоотведения и выход к стволу № 6 (рис. 3).

Преимущества данного варианта заключаются в относительно небольшой протяженности горных выработок, проведении горных выработок (штреки северный № 2-бис-1, северный № 2-бис-2, северный № 2-бис-3) в условиях устойчивых кристаллических пород. Недостатки варианта обусловлены проведением горных выработок (штреки западный-бис, северный-бис, а также сбойка западный — северный-бис в зоне неустойчивых осадочных пород, и в этой связи наблюдается значительная трудоемкость проекта, требующая специальных способов проходческих работ и крепления горных выработок. Кроме этого, при проходке отмеченных выработок возникает технологическая сложность подсечки карьерных водосбросных скважин по причине сложных горно-геологических условий: необходимо разбирать крепления и взрывать сопряжения для проходки отстойников, что может привести к обрушению всей горной выработки, а также при перепуске воды по данным выработкам с риском переувлажнения пород и потери их устойчивости.

Данный вариант уже находился в производстве, однако при проходке участка выработки западного штрека-бис на отметке 240 м работы были приостановлены по причине проявления весьма неустойчивых пород, представленных чередованием глин, алевроитов и известняков с весьма обильным обводнением. Проходка указанного участка требует специального способа проведения горной выработки с замораживанием.

Ориентировочный срок реализации проекта — 10–12 лет.

Вариант № 2 — проведение горных выработок с горизонта -100 м. Предусматривается создание дренажного контура от околоствольного двора ствола № 5 на горизонт -100 м и далее на север шахтного поля с выходом на ствол № 6, который потребует углубления на 67 м. Протяженность предлагаемой трассы контура дренажных выработок на горизонт -100 м без учета водосбросных выработок составит 5 400 м. Проектируемые выработки дренажного контура оборудуются камерами для бурения восстающих дренажных скважин, камерами вентиляционных скважин и пр. (рис. 3). Кроме этого, данный вариант предусматривает сооружение наклонного ствола с горизонта -20 м на горизонт -100 м на участке северо-западного штрека № 2 севернее сопряжения с северным штреком № 2-бис-1.

Увеличение притоков воды на горизонт -100 м требует реконструкции водоотливного комплекса горизонта -100 м, т. е. сооружения дополнительной насосной станции и дополнительной центральной подземной подстанции на горизонте -100 м у ствола № 5 в дополнение к уже существующим. Объем выемки породы при реконструкции водоотливного комплекса горизонта -100 м составит 10 600 м³. Ведение работ по углублению ствола № 6 и горнопроходческие работы на горизонте -100 м с выдачей породы через ствол № 6 потребуют значительных объемов строительно-монтажных работ и соответствующего оборудования. В данном варианте предусматривается также продолжение строительства водоотливного комплекса на горизонте -225 м.

Преимущества приведенного варианта в том, что проходка горных выработок будет производиться в устойчивых и среднеустойчивых кристаллических породах, представленных сланцами и кварцитами. Настоящий вариант обеспечивает существенный задел для развития горных работ и возможность эффективного осушения месторождения, в частности северо-западной его части. Кроме всего прочего, вариант предусматривает сохранение целостности шахтного поля.

Недостатки варианта № 2 — в его значительной капиталоёмкости, обусловленной большими объемами горнопроходческих работ. Кроме того, неминуема большая протяженность горных выработок с потребностью их крепления на некоторых интервалах в структурно-ослабленных зонах (складчатость, трещиноватость).

Ориентировочный срок реализации проекта — 7–9 лет.

Вариант № 3 — проведение горных выработок с горизонта -100 м со сбросом воды с горизонта -20 м. Предусматривается создание дренажного контура от околоствольного двора ствола № 5 на горизонте -100 м и далее на север шахтного поля до сопряжения северо-западного штрека № 2 и северного штрека № 2 горизонта -20 м. При этом из района сопряжения выработок горизонта -20 м будут пробурены водосбросные скважины, которые подсекаются выработкой горизонта -100 м. Протяженность предлагаемой трассы контура дренажных выработок на горизонте -100 м без учета водосбросных выработок составит 5 184 м. Проектируемые

выработки дренажного контура оборудуются камерами для бурения восстающих дренажных скважин, камерами вентиляционных скважин (рис. 3).

Преимущества варианта заключаются в проведении горных выработок в устойчивых и среднеустойчивых кристаллических горных породах, представленных сланцами и кварцитами. Кроме этого, данный вариант обеспечит возможность осушения северо-западного борта карьера и имеет меньшие сроки реализации, чем варианта № 2. Недостатки варианта кроются в том, что на некоторых интервалах все же потребуются крепление горных выработок (структурно-ослабленные зоны складчатости и повышенной трещиноватости горных пород). Неизбежен разрыв шахтного поля и в этой связи усложнение обслуживания ПДрК в целом. Также по мере развития горных работ потребуются строительство новых подземных горных выработок в направлении границы горного отвода.

Ориентировочный срок реализации проекта – 9–10 лет.

Заключение

Учитывая направления развития горных работ в карьере, важно понимать, что существующая система дренажа существенно деградирует в связи с разрывом контура дренажных выработок северного крыла шахты (северо-западный штрек ПК 53 – ПК 114, обходная выработка, северо-западный штрек № 2 ПК 0 – ПК 28). Кроме этого, приближение забоев восстающих дренажных скважин (ВДС) к западному контуру карьера на расстояния менее 300 м (вплоть до их подсечения открытыми горными работами) приведет к неполному перехвату воды ВДС с последующим проскоком воды в карьер. Указанные обстоятельства требуют приближения замкнутого контура выработок северо-западного крыла ПДрК к границам горного отвода на максимально возможное расстояние. Однако весьма сложные горно-геологические условия проходки горных выработок на рассматриваемом участке при значительном объеме горнопроходческих работ существенно затрудняют сооружение нового контура на горизонте -20 м. В связи с этим целесообразно строительство нового дренажного контура на нижележащих горизонтах, для чего рационально использовать ближайший нижележащий горизонт -100 м. Последний имеет достаточно развитую коммуникационную структуру и сооружен в толще углистых кварц-хлорит-серицитовых сланцев с прослоями метапесчаников, метаалевролитов и кварцитов. Следовательно, из рассмотренных выше вариантов развития инфраструктуры ПДрК как наиболее эффективный следует принять именно вариант № 2.

Таким образом, для создания оптимальных условий эффективного осушения месторождения при наличии задела для развития горных работ целесообразным представляется создание дренажного контура от околоствольного двора ствола № 5 на горизонте -100 м и далее на север шахтного поля с выходом на ствол № 6 согласно варианту № 2. Для приема воды с бортов карьера по скважинам в ПДрК от сооружаемого контура предусматривается строительство девяти водосбросных штреков общей протяженностью 2 тыс. м. Выходы в карьер оборудуются порталами и служат для выдачи исходящей шахтной струи на поверхность, а также являются запасными выходами из ПДрК в соответствии с требованиями правил безопасности [19]. При этом компоновочные и конструктивные решения по реконструкции ПДрК должны быть приняты с учетом всего комплекса задач, возникающих

при отработке Михайловского железорудного месторождения, и на основании требований раздела 6 СНиП II-94-80 (актуализированная редакция) «Подземные горные выработки» и требований «Инструкции по локализации и ликвидации последствий аварий на опасных производственных объектах, на которых ведутся горные работы» в части определения протяженности выработок для следования отделения ВГСЧ с выносом пострадавшего [20].

Результаты проведенных исследований:

1. Трассы дренажных выработок, образующих контурную систему осушения, определяются в соответствии с конфигурацией бортов карьера в перспективе 2032 года и реальных границ горного отвода.

2. Компоновочные решения по расположению дренажных выработок определяются исходя из требования перехвата основного потока подземных вод батского водоносного горизонта.

3. Дренажные горные выработки должны проектироваться таким образом, чтобы соблюдались минимальные размеры охранных целиков по всем литологическим разностям горных пород, обеспечивающих устойчивость выработок при проведении массовых взрывов в карьере.

4. В соответствии с прогнозируемыми горно-геологическими условиями выбор проектных трасс дренажных выработок осуществляется таким образом, чтобы избежать заложения горных выработок в зонах тектонической нарушенности массивов, а также в неустойчивых водонасыщенных породах.

Вместе с тем определяющим фактором в выборе компоновочных решений является, безусловно, получение необходимого эффекта осушения.

В горно-геологических условиях проходки дренажных выработок ПДрК Михайловского ГОКа с учетом многолетнего опыта сооружения и эксплуатации дренажных выработок на предыдущих этапах вариантом № 2 предусмотрено сооружение выработок в монолитных малотрещиноватых породах I категории устойчивости без крепления. В горных выработках, проходка которых предусмотрена в породах II категории устойчивости, предполагается установка металлической арочной крепи с железобетонной затяжкой. Проходка дренажных выработок в породах, характеризующихся низкими прочностными параметрами, предусматривается с предварительным возведением опережающей крепи.

Результаты приведенных исследований могут быть использованы при проектировании дренажных систем не только на подобных железорудных месторождениях КМА, но и на прочих месторождениях, сходных по геолого-гидрогеологическим условиям.

Выводы

1. В связи со значительными размерами карьерного поля Михайловского железорудного месторождения, а также для уменьшения объема вскрыши и повышения экономической эффективности добычи руды его осушение осуществляется комбинированно-поверхностным и подземным способом. Водоносные горизонты подкелловейского комплекса в карьере осушаются комбинированно системой насосных установок в карьере, для чего создана сеть подземных выработок и пробуренных из них восстающих дренажных скважин на все водоносные горизонты и дренажные узлы – подземный дренажный комплекс.

2. В процессе постоянного развития фронта горных работ и углубления карьера часть подземных горных выработок ПДрК оказалась в зоне подработки, что самым негативным образом отражается на состоянии и эффективности функционирования системы осушения карьера в целом. В зоне подработки уже к началу 2024 года оказалось порядка 3 км подземных горных выработок ПДрК. Погашение этих выработок исключает в дальнейшем эффективный дренаж северо-западного борта карьера, что может повлечь за собой осложнения производства открытых горных работ, вплоть до их остановки.

3. Установлены размеры охранных целиков около действующих и проектируемых подземных дренажных выработок, рассчитанные в зависимости от параметров массовых взрывов в карьере и с учетом геологического строения массива горных пород, прочностных свойств горных пород, пространственного расположения выработки относительно фронта буровзрывных работ, наличия и конструкции крепи горной выработки. Решение о передаче горной выработки на погашение производится на основании анализа совмещения плана открытых и плана подземных горных работ. Необходимость передачи горной выработки на погашение возникает при приближении открытых работ к

горной выработке на расстояние, равное размеру охранный целика.

4. Оценены объемы работ по погашению дренажных выработок, подлежащих погашению в период 2023–2032 годов, с учетом развития фронта горных работ в трех частях карьера МГОКа: центральной, соединительной и южной (северная часть карьера законсервирована) – 6415 п.м.

5. В целях технологического и организационного обеспечения выполнения годовых планов МГОКа по добыче 50 млн тонн руды в год на период до 2032 года разработаны и проанализированы альтернативные варианты развития ПДрК в контексте воспроизводства дренажных горных выработок при производственной необходимости погашения некоторых из них. Для создания наилучших условий осушения месторождения при наличии задела для развития горных работ, наиболее рациональным и эффективным решением представляется создание дренажного контура от околоствольного двора ствола № 5 на горизонте -100 м и далее на север шахтного поля с выходом на ствол № 6 с сооружением наклонного ствола с горизонта -20 м на горизонт -100 м на участке северо-западного штрека № 2 севернее сопряжения с северным штреком № 2-бис-1, что обеспечит стабильный дренаж карьерного поля на годы вперед.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- О проблеме эксплуатации восстающих дренажных скважин при осушении Михайловского месторождения (Курская магнитная аномалия) / В. В. Кушнерчук, В. В. Хаустов, Л. А. Семенова [и др.] // Маркшейдерия и недропользование. – 2024. – № 3. – С. 80–88.
- Геология, гидрогеология и железные руды бассейна Курской магнитной аномалии (КМА): В 3 томах. Т. II: Гидрогеология и инженерная геология / Под ред. А. Т. Бобрышева. – М.: Недра, 1972. – 479 с.
- Смолянинов, В. М. Подземные воды Центрально-Черноземного региона: условия их формирования, использование / В. М. Смолянинов. – Воронеж: Истоки, 2003. – 240 с.
- Пономаренко, Ю. В. Способ осушения бортов глубоких карьеров с помощью систем комбинированных дренажных устройств / Ю. В. Пономаренко // Горный журнал. – 2014. – № 7. – С. 52–54.
- Мироненко, В. А. Горнопромышленная гидрогеология / В. А. Мироненко, Е. В. Мольский, В. Г. Румынин. – М.: Недра, 1989. – 287 с.
- Мироненко, В. А. Охрана подземных вод в горнодобывающих районах (опыт гидрогеологических исследований) / В. А. Мироненко, В. Г. Румынин, В. К. Учаев. – Л.: Недра, 1980. – 320 с.
- Опыт освоения и осушения месторождения в сложных гидрогеологических условиях / А. В. Козуб, Р. И. Исмагилов, Б. П. Бадтиев [и др.]. // Горная промышленность. – 2019. – № 5 (147). – С. 12–14.
- Осушение глубокозалегающих месторождений полезных ископаемых системами восстающих дренажных скважин – технология будущего / К. Н. Трубецкой, Ю. И. Волков, А. А. Изотов [и др.] // Неделя горняка – 2006: сб. мат-лов. – Белгород: ВИОГЕМ, 2006. – С. 175–184.
- Сооружение восстающих скважин в подземном дренажном комплексе Стойленского ГОКа / А. Ю. Шемякин, И. А. Тимошков, Ю. И. Волков [и др.] // Горный журнал. – 2014. – № 6. – С. 24–26.
- Горная энциклопедия: В 5 томах / ред. Е. А. Козловский. М.: Советская энциклопедия, 1984–1991. – 2900 с.
- Шахтное и подземное строительство / Б. А. Картозия, Б. И. Федунец, М. Н. Шуплик [и др.]. – М.: Изд-во Академии горных наук, 2001. – 607 с.
- Excavation-induced deep hard rock fracturing: Methodology and applications / Cheng-Xiang Yang, Rui Kong, Jun Zhao [et al.] // Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering. – 2022. – Vol. 14, № 1. – P. 1–34.
- О внесении изменений в Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности Правила безопасности при взрывных работах, утвержденные приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 16 декабря 2013 г. № 605: Приказ Ростехнадзора от 30.11.2017 № 518 (Зарегистрировано в Минюсте России 12.04.2018 № 50737) [Электронный ресурс]. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/499066484> (дата обращения: 25.05.2024).
- Тюпин, В. Н. Зависимость геомеханического состояния трещиноватого массива от интервала замедления в зоне сейсмического действия массовых взрывов / В. Н. Тюпин, В. В. Хаустов // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2021. – № 2. – С. 45–54.
- Oparin, V. N. Theoretical fundamentals to describe interaction of geomechanical and physicochemical processes in coal seams // Journal of Mining Science. – 2017. – Vol. 53, № 2. – P. 201–215.
- Seismically safe parameters of confined blasting in levelling dry dock bottom / V. N. Tyupin, E. B. Yanitsky, A. E. Polyakh [et al.] // Eurasian Mining. – 2022. – Vol. 2. – P. 16–19.
- Kaiser, P. K. Design of rock support system under rockburst condition / P. K. Kaiser, Cai Ming // Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering. – 2012. – Vol. 4, № 3. – P. 215–227.
- Closed-form solution of stress and stability analysis of wellbore in anisotropic permeable rock / Duc-Phi D., Nam-Hung Tran, Hong-Lam Dang [et al.] // International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences. – 2019. – Vol. 113. – P. 11–23.
- Об утверждении Федеральных норм и правил в области промышленной безопасности «Инструкция по локализации и ликвидации последствий аварий на опасных производственных объектах, на которых ведутся горные работы: Приказ Ростехнадзора от 11.12.2020 № 520. Зарегистрировано в Минюсте России 21 декабря 2020 г. № 61628 [Электронный ресурс]. – URL: <https://legalacts.ru/doc/prikaz-rostekhnadzora-ot-11122020-n-520-ob-utverzhdenii-federalnykh/> (дата обращения: 25.05.2024).

СП 91.13330.2012. Свод правил. Подземные горные выработки. Актуализированная редакция СНиП II-94-80 (утв. Приказом Минрегиона России от 30.06.2012 № 283). – М.: ФАУ «ФЦС», 2012. – 58 с.

REFERENCES

1. *Kushnerchuk VV, Khaustov VV, Semenova LA, et al.* On the problem of operating rising drainage wells during drainage of the Mikhailovskoye field (Kursk magnetic anomaly). *Mine surveying and subsoil use.* 2024;3:80-8 (In Russ.).
2. *Geology, hydrogeology and iron ores of the Kursk Magnetic Anomaly (KMA) basin. Vol. II. Hydrogeology and engineering geology.* Ed. A. T. Bobrysheva. Moscow, 1972. (In Russ.).
3. *Smolyaninov VM.* Groundwater of the Central Black Earth region: conditions of their formation, use. Voronezh, 2003. (In Russ.).
4. *Ponomarenko YuV.* A method for draining the sides of deep quarries using systems of combined drainage devices. *Mining Journal.* 2014;7:52-4 (In Russ.).
5. *Mironenko VA, Molsky EV, Romanin VG.* Mining hydrogeology. M., 1989 (In Russ.).
6. *Mironenko VA, Romanin VG, Uchaev VK.* Protection of groundwater in mining areas (experience of hydrogeological research). Leningrad, 1980 (In Russ.).
7. *Kozub AV, Ismagilov RI, Badtiev BP, et al.* Experience in the development and drainage of deposits in difficult hydrogeological conditions. *Mining Industry.* 2019;5(147):12-4 (In Russ.).
8. *Trubetskoy KN, Volkov YuI, Izotov AA, et al.* Drainage of deep mineral deposits by systems of rising drainage wells – the technology of the future. *Miner's Week – 2006: Collection of materials.* Belgorod, 2006:175-84 (In Russ.).
9. *Shemyakin AYU, Timoshkov IA, Volkov YuI, et al.* Construction of riser wells in the underground drainage complex of Stoilensky GOK. *Mining Journal.* 2014;6:24-6 (In Russ.).
10. *Mining encyclopedia.* In 5 volumes. Ed. E.A. Kozlovsky. Moscow, 1984-1991 (In Russ.).
11. *Kartoziya BA, Fedunets BI, Shuplik MN et al.* Mine and underground construction. Moscow, 2001 (In Russ.).
12. *Cheng-Xiang Yang, Rui Kong, Jun Zhao et al.* Excavation-induced deep hard rock fracturing: Methodology and applications. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering.* 2022;14(1):1-34.
13. Order of Rostekhnadzor dated November 30, 2017 No. 518 On amendments to the Federal norms and rules in the field of industrial safety Safety rules for blasting operations, approved by order of the Federal Service for Environmental, Technological and Nuclear Supervision dated December 16, 2013 № 605 (Registered in Ministry of Justice of Russia 04/12/2018 № 50737). Available from: <https://docs.cntd.ru/document/499066484> (In Russ.).
14. *Tyupin VN, Khaustov VV.* Dependence of the geomechanical state of a fractured massif on the deceleration interval in the zone of seismic action of mass explosions. *Mining Information and Analytical Bulletin.* 2021;2:45-54 (In Russ.).
15. *Oparin VN.* Theoretical fundamentals to describe the interaction of geomechanical and physicochemical processes in coal seams. *Journal of Mining Science.* 2017;53(2):201-15.
16. *Tyupin VN, Yanitsky EB, Polyakh AE, et al.* Seismically safe parameters of confined blasting in levelling dry dock bottom. *Eurasian Mining.* 2022;2:16-9.
17. *Kaiser PK, Ming Cai.* Design of rock support system under rockburst condition. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering.* 2012;4(3):215-27.
18. *Duc-Phi D, Nam-Hung Tran, Hong-Lam Dang, et al.* Closed-form solution of stress and stability analysis of wellbore in anisotropic permeable rock. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences.* 2019;113:11-23.
19. Order of Rostekhnadzor dated December 11, 2020 № 520 On approval of Federal norms and rules in the field of industrial safety “Instructions for localizing and eliminating the consequences of accidents at hazardous production facilities where mining operations are carried out.” Registered with the Ministry of Justice of Russia on December 21, 2020 №61628. Available from: <https://legalacts.ru/doc/prikaz-rostekhnadzora-ot-11122020-n-520-ob-utverzhdenii-federalnykh/> (In Russ.).
20. SP 91.13330.2012. Code of rules. Underground mine workings. Updated edition of SNiP II-94-80 (approved by Order of the Ministry of Regional Development of Russia dated June 30, 2012 № 283). Moscow, 2012 (In Russ.).

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ



Вячеслав Викторович Кушнерчук –
аспирант, Белгородский государственный
национальный исследовательский университет,
г. Белгород, Россия,
e-mail: v_kushnerchuk@mgok.ru

ABOUT THE AUTHORS

Vyacheslav V. Kushnerchuk –
postgraduate student, Belgorod State National
Research University, Belgorod, Russian Federation,
e-mail: 1415728@bsu.edu.ru



Владимир Васильевич Хаустов –
доктор геолого-минералогических наук, доцент,
Белгородский государственный национальный
исследовательский университет, г. Белгород,
Россия, <http://orcid.org/0000-0002-1895-7367>, WoS
Researcher ID: C-3838-2016, Scopus Author ID:
7003912446, e-mail: khaustov@bsu.edu.ru

Vladimir V. Khaustov –
Doctor of Geological and Mineralogical Sciences,
Associate Professor, Belgorod National Research
University, Belgorod, Russian Federation, <http://orcid.org/0000-0002-1895-7367>, WoS Researcher ID:
C-3838-2016, Scopus Author ID: 7003912446,
e-mail: khaustov@bsu.edu.ru



Елена Ахмедовна Ермолович —
доктор технических наук, профессор,
Белгородский государственный национальный
исследовательский университет, г.
Белгород, Россия, <http://orcid.org/0000-0003-4250-7726>, WoS Researcher ID: G-3266-2013, Scopus Author ID: 54893721800, e-mail: ermolovich@bsu.edu.ru

Elena A. Ermolovich —
Doctor of Technical Sciences, Professor, Belgorod
State National Research University, Belgorod, Russian
Federation, <http://orcid.org/0000-0003-4250-7726>,
WoS Researcher ID: G-3266-2013, Scopus Author ID:
54893721800, e-mail: ermolovich@bsu.edu.ru



Людмила Анатольевна Семенова —
кандидат педагогических наук, доцент, Юго-
Западный государственный университет, г.
Курск, Россия, <http://orcid.org/0000-0002-4816-101X>, e-mail: romahka31@yandex.ru

Lyudmila A. Semenova —
Candidate of Pedagogical Sciences, Associate
Professor, Southwestern State University, Kursk,
Russian Federation, <http://orcid.org/0000-0002-4816-101X>, e-mail: romahka31@yandex.ru



Владимир Викторович Симонян —
доктор технических наук, доцент, Национальный
исследовательский Московский государственный
строительный университет, г. Москва, Россия,
<http://orcid.org/0000-0002-3224-9500>, Researcher
ID: AAV-8457-2020, e-mail: simonyan.vladimir@gmail.com

Vladimir Viktorovich Simonyan —
Doctor of Technical Sciences, Associate Professor,
National Research Moscow State University of Civil
Engineering, Moscow, Russian Federation, <http://orcid.org/0000-0002-3224-9500>, Researcher ID:
AAV-8457-2020,
e-mail: simonyan.vladimir@gmail.com

КРИТЕРИИ АВТОРСТВА / CONTRIBUTION:

Вячеслав Викторович Кушнерчук — написание текста статьи, анализ результатов исследования, выполнение работы по систематизации материала; **Владимир Васильевич Хаустов** — постановка задачи, написание текста статьи; **Елена Ахмедовна Ермолович** — генерация идеи исследования; **Людмила Анатольевна Семенова** — проведение полевых работ; **Владимир Викторович Симонян** — постановка задачи, анализ результатов исследования.

Vyacheslav Viktorovich Kushnerchuk — writing the text of the article, analyzing the research results, performing work on systematizing the material; **Vladimir Vasilievich Khaustov** — problem statement, writing the text of the article; **Elena Akhmedovna Ermolovich** — generating the research idea; **Lyudmila Anatolyevna Semenova** — conducting field work; **Vladimir Viktorovich Simonyan** — problem statement, analysis of research results.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ / CONFLICT OF INTEREST:

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

ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ И ТЕХНОЛОГИИ ФОРМИРОВАНИЯ СОЛНЕЧНОГО СОЛЯНОГО ПРУДА ПРИ ОТКРЫТОЙ РАЗРАБОТКЕ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ТВЕРДЫХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

И. А. Пыталев, А. А. Полинов, В. В. Якшина, И. С. Туркин

*Магнитогорский государственный технический университет им. Г. И. Носова, г. Магнитогорск,
Российская Федерация*

Аннотация: Обоснован подход к целенаправленному комплексному освоению участка недр при формировании георесурсов, используемых впоследствии в качестве автономных объектов. Рассмотрена возможность создания техногенных емкостей с использованием текущих пород вскрыши для строительства солнечного соляного пруда непосредственно в процессе ведения добычных работ. Представлены варианты обеспечения гидроизоляции ложа пруда при использовании различных теплоносителей. Сформулированы условия эффективного функционирования солнечных соляных прудов в условиях продолжительных отрицательных температур. Проведены расчеты минимальных значений технологических параметров соляного пруда, обеспечивающие его функционирование в климатических условиях Южного Урала. Предложены технические решения прокладки и монтажа рабочего теплопровода в теле ограждающей дамбы солнечного соляного пруда. Обоснована целесообразность использования пород вскрыши в качестве материалов для строительства соляного пруда. Разработана схема взаимоувязки выполнения объемов добычных и вскрышных работ. Описана технология формирования солнечного соляного пруда при открытой разработке месторождений твердых полезных ископаемых.

Ключевые слова: открытая геотехнология, солнечный соляной пруд, возобновляемые источники энергии, комплексное освоение участка недр, техногенная емкость, тепло- и гидроизоляционные материалы

Для цитирования: Пыталев И. А., Полинов А. А., Якшина В. В., Туркин И. С. Обоснование параметров и технологии формирования солнечного соляного пруда при открытой разработке месторождений твердых полезных ископаемых // Маркшейдерия и недропользование. 2024. № 4. С. 56-61. https://doi.org/10.56195/20793332_2024_4_56_61.

SUBSTANTIATION OF PARAMETERS AND TECHNOLOGY OF FORMATION OF A SOLAR SALT POND IN THE OPEN-PIT MINING OF DEPOSITS OF SOLID MINERALS

I. A. Pytalev, A. A. Polinov, V. V. Yakshina, I. S. Turkin

Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russian Federation

Abstract: The approach to the purposeful complex development of a subsurface area in the formation of geo-resources, subsequently used as autonomous objects, is substantiated. The possibility of creating man-made tanks using current overburden rocks for the construction of a solar salt pond directly in the process of mining operations is considered. The options for providing waterproofing of the pond bed with the use of various heat carriers are presented. The conditions for the effective functioning of solar salt ponds in conditions of prolonged negative temperatures are formulated. Calculations of the minimum values of the technological parameters of the salt pond, ensuring its functioning in the climatic conditions of the Southern Urals, have been carried out. Technical solutions for laying and installing a working heat pipeline in the body of the enclosing lady of a solar salt pond are proposed. The expediency of using overburden rocks as materials for the construction of a salt pond is substantiated. A scheme has been developed for linking the performance of mining and stripping operations. The technology of formation of a solar salt pond during open-pit mining of solid mineral deposits is described.

Keywords: open geotechnology, solar salt pond, renewable energy sources, integrated development of the subsurface area, technogenic capacity, heat and waterproofing materials

For citation: Pytalev I. A., Polinov A. A., Yakshina V. V., Turkin I. S. Substantiation of parameters and technology of formation of a solar salt pond in the open-pit mining of deposits of solid minerals. Mine Surveying and Subsoil Use. 2024;(4):56-61. (In Russ.). https://doi.org/10.56195/20793332_2024_4_56_61.

Введение

На протяжении двух последних десятилетий прослеживается тенденция развития горного дела, направленная на повышение эффективности функционирования горнодобывающего предприятия, оптимизирующая эксплуатационные затраты, и на повышение полноты и комплексности освоения участка недр за счет рационального формирования и использования техногенных георесурсов непосредственно в процессе ведения добычных работ. В 2023 году данная тенденция законодательно закреплена в законе «О недрах» [1], что в значительной мере позволит расширить область вовлечения пород вскрыши при формировании техногенных георесурсов и их использование.

Современный уровень техники и технологий, применяемый в горной отрасли, позволяет создавать сложные (в технологическом плане) конструкции и сооружения, обеспечивающие не только снижение эксплуатационных затрат непосредственно на функционирование горнодобывающим предприятиям. В первую очередь за счет решения вопроса с размещением текущих отходов переработки и получением дополнительной продукции горного производства.

Одним из таких объектов является солнечный соляной пруд [2, 3]. Это обусловлено тем, что эффективность создаваемого солнечного соляного пруда обеспечивается одновременно минимальными тепловыми потерями, максимальной теплопоглощающей способностью, оптимальным объемом рабочей среды при исключении ее потери как за счет фильтрации, так и испарения.

Принципиальная схема солнечного соляного пруда при его формировании из вскрышных пород представлена на рисунке 1.

Солнечный соляной пруд с позиции его формирования и эксплуатации условно можно разделить на следующие основные элементы:

– **рабочую среду** – вещество или материал, непосредственно поглощающий и накапливающий солнечную тепловую энергию. Может использоваться технологическая вода обо-

ротного водоснабжения обогатительной фабрики или карьерного / шахтного водоотлива, рассолы калиевых и магниевых солей, растворенные щелочи и иные материалы;

– **тепло-гидроизолирующие материалы**, используемые для эффективного поглощения тепловой энергии и передачи ее рабочей среде при минимальных потерях на границах контакта с воздушной средой и телом дамбы при исключении просачивания в него;

– **конструкционные материалы**, обеспечивающие создание основного тела техногенной емкости [14];

– **теплопровод / тепломагистраль** – система трубопроводов, заполненная теплоносителем, обеспечивающая передачу тепла из солнечного соляного пруда потребителям.

Обоснование подхода целенаправленного комплексного освоения участка недр при создании источников возобновляемой энергии базируется на анализе опыта строительства и эксплуатации объектов преобразования солнечной энергии, а также горнотехнических сооружений, сформированных в качестве техногенных емкостей. Обоснование параметров солнечного пруда и оценка пригодности использования пород вскрыши выполнено на основе теплотехнических расчетов, каркасного, блочного и имитационного моделирования.

Подход недропользователя, рассматривающего потенциал участка недр, предоставленный ему в рамках лицензии на добычу твердых полезных ископаемых, не только с позиции источника минерального сырья, а в том числе формируемого техногенного георесурса при освоении балансовых запасов, является основой значительного роста эффективности ведения горных работ [4, 5]. В первую очередь это обеспечивается тем, что формируемый техногенный георесурс в виде определенного сооружения или объекта по окончании его строительства должен исключать затраты на его функционирование со стороны недропользователя [6]. Таким образом, в ходе освоения балансовых запасов месторождений твердых полезных ископаемых необходимо обеспечить совмещение горных работ и работ по строительству объектов, напрямую не связанных с добычей полезных ископаемых. Именно проработка вопроса целенаправленного формирования техногенного георесурса на этапе проекти-

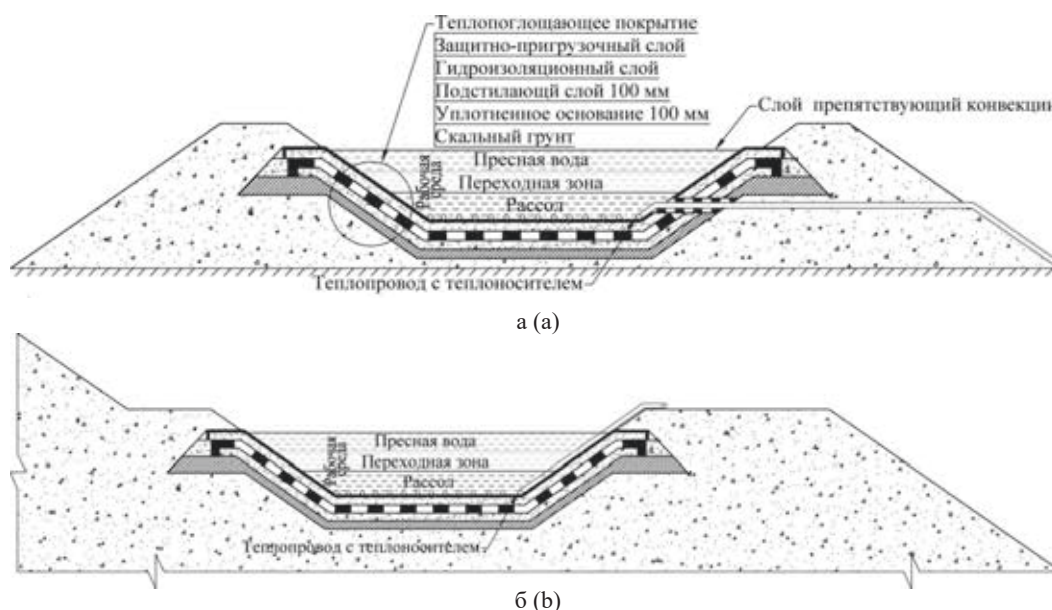


Рис. 1. Принципиальная схема обустройства солнечного соляного пруда на поверхности: а – земельного отвода; б – отвала
Fig. 1. Schematic diagram of the arrangement of a solar salt pond on the surface: a – of the land allotment; b – of the dump

рования горнотехнической системы позволит оптимально распределить затраты на добычные, вскрышные, строительные и рекультивационные работы.

Под автономностью создаваемого объекта на базе формируемого техногенного георесурса следует понимать отсутствие необходимости вспомогательных затрат на выполнение дополнительных мероприятий по обеспечению его основных функций. Поскольку область эффективного использования в народном хозяйстве объектов, созданных в процессе освоения балансовых запасов, ограничена только наличием потребителя, направления целенаправленного их формирования могут как полностью соответствовать существующим направлениям рекультивации, но при условии полного завершения цикла работ и ввода в эксплуатацию непосредственного в процессе разработки месторождения или сразу по ее завершении, так и быть расширены, в том числе до строительства объектов альтернативной энергетики [7]. Именно возможность использования возобновляемых источников энергии с учетом масштаба деятельности горнодобывающих предприятий является одним из приоритетных направлений повышения полноты и комплексности освоения участка недр Земли [8]. Кроме того, на сегодняшний день уровень развития и стоимость установок, обеспечивающих преобразование энергии альтернативных / возобновляемых источников в электрическую, позволяет их использовать в промышленных масштабах [9]. При этом эффективность подавляющего большинства таких установок обуславливается их полезной площадью рабочей поверхности [10, 11]. Возможность увеличения эффективности преобразования солнечной энергии за счет концентрации ее не только на рабочей поверхности, но и в рабочем объеме определенных материалов является весьма перспективным направлением развития альтернативной энергетики [12].

Поскольку в процессе проектирования и функционирования горнотехнической системы возможно формирование техногенных емкостей любой формы в плане и объема с последующим его заполнением рабочими средами, горнодобывающие предприятия могут рассматриваться как площадка для создания возобновляемых источников энергии.

Цель исследований: обоснование параметров и технологии формирования солнечного соляного пруда при открытой разработке месторождений твердых полезных ископаемых.

Методы исследования

Обоснование подхода целенаправленного комплексного освоения участка недр при создании источников возобновляемой энергии базировалось на анализе опыта строительства и эксплуатации объектов преобразования солнечной энергии, а также горнотехнических сооружений, сформированных в качестве техногенных емкостей.

Обоснование параметров солнечного пруда и оценка пригодности использования пород вскрыши осуществлялись на основе теплотехнических расчетов, каркасного, блочного и имитационного моделирования.

Результаты исследований

В последние годы намечена устойчивая мировая тенденция значительного усложнения горно-геологических условий разработки месторождений твердых полезных ископаемых открытым способом, обуславливающая в том числе и

рост коэффициента вскрыши. При этом вскрыша представлена горными породами с различными физико-механическими и теплофизическими свойствами.

Теплофизические показатели наиболее характерных горных пород, встречающихся при разработке месторождений Южного Урала, представлены в таблице [13].

Таблица / Table

Теплофизические свойства горных пород типичных рудных месторождений Южного Урала
Thermophysical properties of rocks of typical ore deposits of the Southern Urals

Горные породы	Теплопроводность, λ , Вт/м·°К	Теплоемкость, c , кДж/кг·°К	Температуропроводность, $\alpha \cdot 10^3$	
			м ² /с	м ² /час
Глина	0,99	0,755	0,97	-
Глинистые сланцы	1,54–2,18	0,772	0,97	-
Известняк кристалл.	2,18	1,1	0,5–1,2	-
Песчаник плотный	1,27–3,01	0,838	1,39	-
Вода	0,582	4,15	0,14	-
Нефть	0,139	2,1	0,069–0,86	-
Алевриты глинистые	2,22	0,795	1,08	-
Доломит	2,11	0,802	0,995	-
Гранит	2,11–2,83	0,88–1,38	-	3,6–4,2
Гранит-порфировидный	2,27	1,05	-	3,6
Диорит-рогообманковый	1,81	1,13	-	2,1
Габбро	2,27	-	-	1,9
Диабаз-окварцованный	2,35	-	-	2,9
Порфирит кварцевый	1,98	1,17	-	1,8
Туф порфировидный	2,11	0,79	-	4,2

В рамках реализации подхода комплексного освоения участка недр при формировании техногенных георесурсов в виде объектов генерации и аккумуляции тепловой энергии солнца необходимо дифференцирование во вскрышах пород по противодиффузионным и теплофизическим свойствам.

Поскольку комплексность освоения участка недр определяется отношением объемов полученных ресурсов ко вложенным при разработке месторождения [15], ее повышение обеспечивается снижением вовлекаемых дополнительных ресурсов, в связи с этим возможны два варианта месторасположения солнечных прудов: на поверхности земельного отвала или на поверхности отвала.

Строительство солнечного пруда на поверхности отвала позволяет значительно сократить отчуждение дополнительных солнечных земельных ресурсов. При этом независимо от варианта расположения определение рациональных параметров техногенной емкости, формируемой в качестве солнечного соляного пруда, необходимо осуществлять на основе расчета его теплового баланса. Для этого была предложена схема расчета теплового баланса солнечного соляного пруда, формируемого непосредственно в процессе ведения добычных работ (рис. 2).

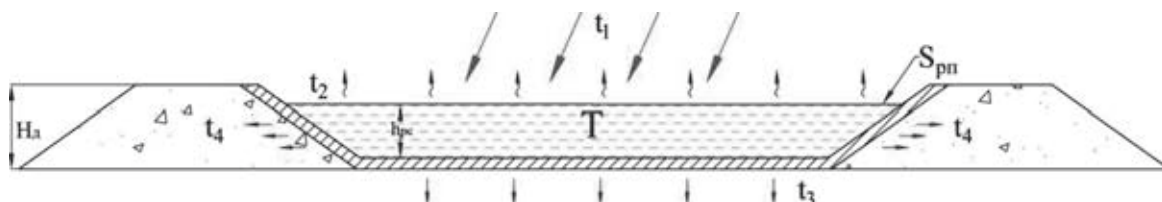


Рис. 2. Схема к расчету теплового баланса солнечного соляного пруда:

t_1 – тепловая солнечная энергия; t_2 – теплопотери на конвекции; t_3 – потери тепла в массив; t_4 – потери тепла в массив через окружающую среду;

h_{pc} – мощность рабочей среды; S_{pn} – площадь рабочей поверхности соляного пруда; H_d – высота дамбы

Fig. 2. Scheme for calculating the thermal balance of a solar salt pond:

t_1 – thermal solar energy; t_2 – heat loss by convection; t_3 – heat loss to the array; t_4 – heat loss to the array through the environment;

h_{pc} – power of the working medium; S_{pc} – the area of the working surface of the salt pond; H_d – the height of the dam

Согласно теплотехническим расчетам, солнечный соляной пруд возможно эксплуатировать и в период продолжительных отрицательных температур. Для этого необходимо минимизировать конвекционную составляющую и исключить образование льда на поверхности пруда. Одним из способов предотвращения кристаллизации верхнего слоя рабочей среды в зимний период является покрытие его синтетической пленкой. Установлено, что для условий месторождения Малый Куйбас минимальный объем рабочей среды, представленной соляным рассолом, составляет 170 тыс. м³ при глубине пруда 5–6 м. Параметры техногенной емкости при этом составят: высота ограждающей дамбы – 7 м, площадь основания – 3,6 га.

Породы вскрыши, образующиеся при разработке месторождений твердых полезных ископаемых, могут быть в полном объеме использованы в качестве строительного и тепло- гидроизоляционного материала при формировании техногенной емкости в качестве солнечного пруда.

Скальные породы целесообразно использовать в качестве основного материала для строительства ограждающей дамбы, а рыхлые породы вскрыши – в качестве тепло- гидроизоляционных материалов [16]. При этом должна обеспечиваться технология их укладки, предусматривающая подготовку основания и уплотнение подстилающего слоя, в том числе при оформлении верхового откоса ограждающих дамб и отсыпку защитного-перегрузочного слоя. В случае несоответствия пород вскрыши требуемым физико-механическим и теплофизическим характеристикам возможно применение современных строительных материалов и технологий, включающих различные вяжущие, изоляционные и иные материалы.

Решение о применении искусственных материалов должно осуществляться на основе технико-эксплуатационной оценки всего срока эксплуатации солнечного пруда. Одним из перспективных решений по обеспечению гидроизоляционного слоя является использование геомембран и бентоматов. При этом повышается сложность подготовки основания и технология создания противофильтрационного экрана, однако исключается вероятность выхода его из строя по причине неоднородности и непостоянства природного качества рыхлых пород.

Параметры и технология создания солнечного пруда определяется на основе теплотехнических расчетов с учетом наличия и объемов местных пород, пригодных для использования в качестве гидро- и теплоизоляционных материалов.

На начальной стадии строительства солнечного пруда необходимо осуществление планировочных работ для подготовки всей площади его основания, по периметру которого периферийным способом отсыпается ограждающие дамбы,

а на его верховом отколе и дне в соответствии с площадным способом отвалообразования формируется подстилающий слой, на который механизированным способом укладывается гидроизоляционный материал, поверх которого грейдером планируется пригрузочно-защитный слой. При этом схема взаимоувязки выполнения объемов добычных и вскрышных работ должна основываться на регулировании режима горных работ при учете необходимого количества материалов для формирования солнечного пруда в соответствии с календарным планом его строительства.

Закключение

1. Целенаправленное формирование техногенных георесурсов в качестве объектов генерации и аккумулирования энергии от возобновляемых источников является одним из приоритетных направлений обращения с отходами недропользования.

2. Предложенный подход позволяет использовать объем вскрышных пород и формируемые из них горнотехнические сооружения в виде техногенных георесурсов, обеспечивающих концентрацию и преобразование солнечной энергии в тепловую и электрическую энергии. При этом дифференцирование пород вскрыши по прочностным, противофильтрационным и теплофизическим свойствам позволяет осуществлять их селективную выемку и адресное складирование в процессе ведения горных работ, создавать техногенные емкости для рабочей среды, используемой с целью поглощения и аккумулирования тепловой энергии солнца и ее использования для хозяйственно-бытовых нужд и преобразования ее в электрическую.

3. Скальные породы необходимо использовать в качестве строительного материала для подготовки основания и формирования ограждающих дамб, а рыхлые породы – в качестве гидро- и теплоизоляционных материалов.

4. В результате освоения запасов месторождения твердых полезных ископаемых из пород вскрыши и целенаправленно подготовленного выработанного пространства карьера может быть создан объект, обеспечивающий аккумулирование солнечной тепловой энергии, использование которой предусматривается не только в процессе ведения горных работ, но и после их завершения. При этом может быть осуществлено совмещение работ по рекультивации земель, нарушаемых горными работами, и созданию автономных источников тепловой и электрической энергии, имеющих развитую инфраструктуру.

4. Данные мероприятия позволят осуществлять рекультивацию земель по мере ведения добычных работ не только на пологих, но и крутопадающих месторождениях, на основе чего по соответствующим актам возможно уменьшать площадь земельного отвода горнодобывающего предприятия.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. О внесении изменений в Закон Российской Федерации "О недрах" и отдельные законодательные акты Российской Федерации: Федеральный закон от 14.07.2022 № 343-ФЗ [Электронный ресурс]. — URL: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202207140118> (дата обращения: 25.05.2024).
2. *Осадчий, Г. Б.* Энергосбережение и возможности установок и систем малой энергетики на базе солнечного соляного пруда (Проект «Альтернативная энергетика») / Г. Б. Осадчий. — Омск: ИПК Макшеевой Е.А., 2012. — 572 с.
3. *Богачев, В. В.* Перспективы применения солнечных соляных прудов для получения тепловой и электрической энергии в Ставропольском крае / В. В. Богачев, С. В. Буслов // Вестник Северо-Кавказского федерального университета. — 2013. — № 3 (36). — С. 93–97.
4. *Пыталев, И. А.* Обоснование параметров открытой геотехнологии комплексного освоения крутопадающих месторождений для устойчивого развития горнотехнических систем: дис. ... д-ра техн. наук / И. А. Пыталев. — Магнитогорск, 2019. — 360 с.
5. Стратегия комплексного освоения природных и техногенных георесурсов Жезказганского региона / А. Б. Юн, М. В. Рыльникова, И. В. Терентьева, Ю. А. Юн // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. — 2019. — № 3. — С. 213–224.
6. Эффективные технологии использования техногенных георесурсов — основа экологической безопасности освоения недр / К. Н. Трубецкой, В. Н. Захаров, Д. Р. Каплунов, М. В. Рыльникова // Горный журнал. — 2016. — № 5. — С. 34–40.
7. *Васильев, Ю. С.* Экология использования возобновляющихся энергоисточников / Ю. С. Васильев, Н. И. Хрисанов. — Л.: Изд-во ЛГУ, 1991. — 343 с.
8. *Каплунов, Д. Р.* Проблема использования возобновляемых источников энергии в ходе разработки месторождений твердых полезных ископаемых / Д. Р. Каплунов, М. В. Рыльникова, Д. Н. Радченко // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. — 2015. — № 1. — С. 88–96.
9. *Попель, О. С.* Возобновляемые источники энергии: роль и место в современной и перспективной энергетике / О. С. Попель // Российский химический журнал. — 2008. — № 6. — С. 95–106.
10. *Черных, М. С.* Эффективное использование низкопотенциального тепла с помощью соляного пруда / М. С. Черных // Оренбург: Эпоха науки. Технические науки. 2018. — 15. — С. 104–106.
11. *Кушнир, В. Г.* Ветер как альтернативный вид энергии / В. Г. Кушнир // Электротехнические и информационные комплексы и системы. — 2013. — № 1 (9). — С. 30–32.
12. Концепция комплексного освоения участка недр с формированием новых источников энергии при разработке месторождений твердых полезных ископаемых / А. А. Козловский, А. А. Полинов, И. А. Пыталев, В. В. Якшина // Комбинированная геотехнология: комплексное освоение техногенных образований и месторождений полезных ископаемых: мат.-лы науч.-практ. конф. Магнитогорск, 23–28 мая 2023 года. — Магнитогорск: Магнитогорский государственный технический университет им. Г. И. Носова, 2023. — С. 55–57.
13. Электрические и тепловые свойства горных пород в условиях нормальных и высоких температур и давлений / У. И. Моисеенко, Л. С. Соколова, В. Е. Истомин; отв. ред. чл.-кор. АН СССР Э. Э. Фотиади; АН СССР. Сиб. отд-ние. Ин-т геологии и геофизики. — Новосибирск: Наука, 1970. — 67 с.
14. Методика определения параметров техногенной емкости для условий крутопадающих месторождений полезных ископаемых / Т. С. Кравчук, И. А. Пыталев, Е. Е. Швабенланд, В. В. Якшина // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. — 2021. — № 4. — С. 425–435.
15. *Трубецкой, К. Н.* Проектирование карьеров: учебник для вузов: в 2 т. / К. Н. Трубецкой, Г. Л. Краснянский, В. В. Хронин. — 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Изд-во Академии горных наук, 2001. — Т. 1. — 519 с.
16. *Yakshina, V. V.* Способы создания и гидроизоляции техногенной емкости с использованием пород вскрыши / V. V. Yakshina // Актуальные проблемы горного дела. — 2019. — No. 2. — P. 42–48.

REFERENCES

1. Federal Law No. 343-FZ of 14.07.2022 "On Amendments to the Law of the Russian Federation "On Subsoil" and Certain Legislative Acts of the Russian Federation". Available from: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202207140118> (In Russ.).
2. *Osadchy GB.* Energy saving and the possibilities of installations and systems of low energy on the basis of a solar salt pond (Project "Alternative energy"). Omsk, 2012 (In Russ.).
3. *Bogachev VV, Buslov SV.* Prospects for the use of solar salt ponds for the production of thermal and electrical energy in the Stavropol Territory. Bulletin of the North Caucasus Federal University. 2013;3(36):93-7 (In Russ.).
4. *Pytalev IA.* Substantiation of the parameters of open geotechnology for the integrated development of steep-falling deposits for the sustainable development of mining systems: specialty: dissertation for the degree of Doctor of Technical Sciences. Magnitogorsk, 2019. (In Russ.).
5. *Yun AB, Rylnikova MV, Terentyeva IV, et al.* Strategy of complex development of natural and technogenic geo-resources of the Zhezkazgan region. News Tula State University. Earth Sciences. 2019;3:213-24 (In Russ.).
6. *Trubetskoy KN, Zakharov VN, Kaplunov MV, et al.* Effective technologies for the use of technogenic geo-resources — the basis of ecological safety of subsoil development. Mining Journal. 2016;5:34-40 (In Russ.).
7. *Vasiliev YuS, Khrisanov NI.* Ecology of the use of renewable energy sources. Leningrad, 1991
8. *Kaplunov DR, Rylnikova DN, Radchenko.* The problem of using renewable energy sources during the development of deposits of solid minerals. Physico-technical problems of the development of useful minerals. 2015;1:88-96 (In Russ.).
9. *Popel OS.* Renewable energy sources: role and place in modern and promising energy. Russian Chemical Journal. 2008;6:95-106 (In Russ.).
10. *Chernykh MS.* Efficient use of low-potential heat using a salt pond. Orenburg: Epoch of Science. Technical sciences. 2018;15:104-06 (In Russ.).
11. *Kushnir VG.* Wind as an alternative type of energy. Electrotechnical and information complexes and systems. 2013;1(9):30-2 (In Russ.).
12. *Kozlovsky AA, Polinov AA, Pytalev IA, et al.* The concept of integrated development of a subsurface area with the formation of new energy sources during the development of solid mineral deposits. Combined geotechnology: integrated development of technogenic formations and mineral deposits : Materials of the scientific and practical conference: abstracts, Magnitogorsk, 23-28 May 2023. Magnitogorsk, 2023:55-7 (In Russ.).
13. *Moiseenko UI, Sokolova LS, Istomin VE.* Electrical and thermal properties of rocks under normal and high temperatures and pressures. Novosibirsk, 1970 (In Russ.).
14. *Kravchuk TS, Pytalev IA, Shvabenland EE, et al.* Methodology for determining the parameters of technogenic capacity for conditions of steep-falling mineral deposits. Proceedings of Tula State University. Earth Sciences. 2021;4:425-35 (In Russ.).
15. *Trubetskoy KN, Krasnyansky GL, Chronin VV.* Designing quarries: textbook for universities: in 2 volumes. 2nd ed., reprint. and additional. Moscow, 2001 (In Russ.).
16. *Yakshina VV.* Methods of creating and waterproofing technogenic tanks using overburden rocks. Actual problems of mining. 2019;2:42-8.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Пыталева Иван Алексеевич –

доктор технических наук, профессор, профессор кафедры разработки месторождений полезных ископаемых, директор института горного дела и транспорта Магнитогорского государственного технического университета им. Г. И. Носова, г. Магнитогорск, Российская Федерация, e-mail: pytalev_ivan@mail.ru

Полинов Андрей Александрович –

инженер-проектировщик Научно-исследовательского института комплексного освоения георесурсов Магнитогорского государственного технического университета им. Г. И. Носова, г. Магнитогорск, Российская Федерация, e-mail: polinov7675@me.com

Якшина Виктория Владимировна –

кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры разработки месторождений полезных ископаемых Магнитогорского государственного технического университета им. Г. И. Носова, г. Магнитогорск, Российская Федерация, e-mail: v.v.yakshina@inbox.ru

Туркин Иван Сергеевич –

кандидат технических наук, доцент кафедры горных машин и транспортно-технологических комплексов Магнитогорского государственного технического университета им. Г. И. Носова, г. Магнитогорск, Российская Федерация

Критерии авторства / Contribution:

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

Конфликт интересов / Conflict of interest:

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

ABOUT THE AUTHORS

Ivan A. Pytalev –

Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Mineral Resources Development, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russian Federation, e-mail: pytalev_ivan@mail.ru

Andrey A. Polinov –

Design Engineer of the Research Institute of Integrated Development of Geo-Resources, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russian Federation, e-mail: polinov7675@me.com

Viktoria V. Yakshina –

Candidate of Technical Sciences, Senior Lecturer of the Department of Mineral Deposits Development, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russian Federation, e-mail: v.v.yakshina@inbox.ru

Ivan S. Turkin –

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Mining Machines and Transport and Technological Complexes, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russian Federation

ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ ТИПА ДОРОЖНОЙ ОДЕЖДЫ КАРЬЕРНЫХ АВТОДОРОГ НА ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ АВТОСАМОСВАЛА ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

И. А. Пыталев, В. В. Якшина, А. К. Артюшин, П. А. Маренков

*Магнитогорский государственный технический университет им. Г. И. Носова,
г. Магнитогорск, Российская Федерация*

Аннотация: Применение дорожной одежды карьерных дорог с более высоким коэффициентом сцепления позволяет повысить производительность автосамосвалов. Исследованы использующиеся на карьерах типы дорожных полотен с разным коэффициентом сцепления. Проведена серия экспериментов движения автосамосвала в имитационной модели для условия заданного маршрута следования с различными типами дорожных одежд как на протяжении всего маршрута следования автосамосвала, так и с разделением категорий дорожных одежд на временных и постоянных дорогах. Приведены результаты сравнения и сделаны выводы о влиянии дорожного покрытия на производительность автосамосвала.

Ключевые слова: геотехнология, строительные материалы, открытые горные работы, имитационное моделирование, автосамосвал, дорожное полотно, карьерные автодороги, коэффициент сцепления, типы дорожной одежды

Для цитирования: Пыталев И. А., Якшина В. В., Артюшин А. К., Маренков П. А. Исследования влияния типа дорожной одежды карьерных автодорог на производительность автосамосвала при использовании имитационного моделирования // Маркшейдерия и недропользование. 2024. № 4. С. 62-66. https://doi.org/10.56195/20793332_2024_4_62_66.

STUDIES OF THE INFLUENCE OF THE PAVEMENT OF QUARRY ROADS ON THE PERFORMANCE OF A DUMP TRUCK USING SIMULATION MODELING

I. A. Pytalev, V. V. Yakshina, A. K. Artyushin, P. A. Marenkov

Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russian Federation

Abstract: The use of pavement with a higher coefficient of adhesion allows to increase the productivity of dump trucks, however, the difference in performance and the consequent validity of the use of more expensive materials in the construction of quarry roads are poorly studied. In the article, the roadways used in quarries with different coefficient of adhesion were selected. A number of experiments have been carried out, in a simulation model, simulating the movement of a dump truck along the same route, but with different types of road clothes, both throughout the entire route of the dump truck, and with the separation of categories of clothes on temporary and permanent roads. The results of the comparison were carried out and conclusions were drawn about the impact of the road surface on the performance of the dump truck.

Keywords: geotechnology, building materials, open-pit mining, simulation modeling, dump truck, roadbed, quarry roads, coefficient of adhesion, types of dor

For citation: Pytalev I. A., Yakshina V. V., Artyushin A. K., Marenkov P. A. Studies of the influence of the pavement of quarry roads on the performance of a dump truck using simulation modeling. Mine Surveying and Subsoil Use. 2024;(4):62-66. (In Russ.). https://doi.org/10.56195/20793332_2024_4_62_66.

Введение

Окружающая среда и характеристики дорожных покрытий оказывают значительное влияние на сцепные качества покрытий карьерных дорог, режим и безопасность движения грузового транспорта как отдельных автосамосвалов, так и всего передвигающегося транспорта по карьерным дорогам.

Безопасность движения карьерных автосамосвалов определяется основными технико-эксплуатационными показателями автомобильных дорог [1]. К числу таких показателей, в частности, относятся ровность и шероховатость дорожного покрытия, влияющие на коэффициент сцепления. Существенное влияние на величину коэффициента сцепления

оказывают скорость движения транспортного средства, состояние протекторов шин, неровности дороги, давление и температура в шинах и т. д. Это в свою очередь приводит к разным показателям работы карьера [2–5].

При эксплуатации стационарных дорог рекомендуется применять дорожные одежды первой и второй категории, в то время как современные горнодобывающие предприятия применяют либо щебеночные и гравийные материалы, либо строят грунтовые дороги. Это обосновано более низкой стоимостью строительства и эксплуатации таких дорог. Однако влияние таких решений мало изучено.

Перспективные направления, обеспечивающие повышение производительности автосамосвалов при транспортировании горной массы:

- повышение качества шин автосамосвала;
- оптимизация путей следования автосамосвала;
- разработка и применение дорожного полотна высокого качества;
- определение типа дорожного покрытия при строительстве участка дороги.

Значительное количество влияющих параметров существенно усложняет проведение натурных экспериментов, что повышает востребованность применения модельных экспериментов.

Цель исследования: обосновать влияние типа дорожной одежды карьерных автодорог на производительность автосамосвалов.

Методы исследования

Для определения влияния типа дорожной одежды на производительность карьерных автосамосвалов применялся метод имитационного моделирования. В качестве среды для производства серии экспериментов использовался программный продукт AnyLogic.

Результаты исследований

На общий ресурс работы автосамосвала, а также его производительность, помимо своевременного обслуживания, влияет характеристика дорожной сети карьера. Для оценки влияния типа дорожного полотна на производительность автосамосвала было проведено имитационное моделирование работы автосамосвала в карьере.

Необходимая имитационная модель представляла собой цикличную работу автосамосвала в карьере, т. е. погрузку автосамосвала, движение между пунктами погрузки-выгрузки, выгрузку автосамосвала на определенном промежутке времени. Также модель учитывала влияние технических характеристик автосамосвала и характеристики карьера, тем самым позволяла проводить учет физических явлений.

План экспериментов заключался в проведении моделирования работы одного автосамосвала по одинаковому кольцевому маршруту для каждого типа покрытия дорожного полотна на протяжении суток. Таким образом, единственным параметром при проведении моделирования был коэффициент сцепления.

Исследование проводилось в системе имитационного моделирования AnyLogic [6]. Программная платформа AnyLogic позволяет строить имитационные модели разного уровня обобщения и сложности, поскольку сочетает все современные парадигмы имитационного моделирования, включая дискретно-событийную и агентную.

В качестве имитационной модели, на которой производилось моделирование, была выбрана модель работы экска-

ваторно-самосвального комплекса, предложенная в работе «Исследование зависимости эффективности экскаваторно-самосвального комплекса от скоростного профиля автосамосвалов с использованием имитационного моделирования» [7].

Данная модель позволяет учитывать влияние на скорость движения транспортного средства таких факторов, как: технические характеристики автосамосвала и характеристики карьерной дороги. Это в свою очередь позволяет модели автосамосвала вести расчет скорости и ускорения в каждый момент модельного времени в зависимости от продольного уклона трассы автодороги и коэффициента сцепления шины с дорожным полотном. Скорость автосамосвала в модели изменяется динамически с использованием уравнения расчета скорости через равноускоренное или равнозамедленное движение, где в качестве нулевой скорости используется текущая скорость, а ускорение определяется с учетом текущего продольного уклона трассы автодороги и коэффициента сцепления дорожной одежды, по которой следует автосамосвал в данный момент.

Согласно СП 37.13330.2012 «Промышленный транспорт», автомобильные дороги в карьере разделяются на капитальные (постоянные) и временные [9]. Капитальные дороги сооружаются на стационарных участках трассы на поверхности карьера, в траншеях и транспортных бермах. Временными являются забойные дороги в забоях, на рабочей площадке, скользящих съездах и отвалах.

Различают дорожные покрытия усовершенствованные (капитальные и облегченные), переходные и низшие.

К усовершенствованным капитальным покрытиям относятся цементобетонные (монолитные и сборные) и асфальтобетонные, укладываемые в горячем состоянии из прочных щебеночных материалов, обработанных вязкими битумами.

К усовершенствованным облегченным относятся покрытия из щебеночных и гравийных материалов, обработанных жидкими органическими вяжущими материалами, из холодного асфальтобетона, грунта, обработанного вяжущими битумами.

К переходным покрытиям относят щебеночные из каменных материалов и шлака, грунтощебеночные и гравийные, из грунта и местных слабых минеральных материалов, обработанных жидкими вяжущими органическими веществами. Покрытия переходного типа являются основаниями для усовершенствованных покрытий.

Низшие покрытия — это грунтовые, укрепленные различными местными материалами.

На временных забойных и отвальных дорогах обычно устраивается однослойная дорожная одежда из выровненной горной массы с подсыпкой щебеночного или гравийного материала. Для временных съездов соединительных и хозяйственных дорог устраивается однослойное покрытие из гравия или взорванной скальной вскрыши слоем в несколько десятков сантиметров, которая разравнивается бульдозерами и автогрейдером и укатывается движущимися автомобилями.

Из капитальных покрытий распространение нашли железобетонные и цементобетонные покрытия, которые обладают высокой износостойкостью и удовлетворительными характеристиками по сцеплению.

Устойчивость и управляемость автомобиля, его тяговые свойства и тормозные характеристики в значительной степени определяются сцеплением шины с дорогой. Величина его зависит главным образом от типа и состояния покрытия дороги, поэтому ряд научных работ, в которых производилось измерение коэффициента сцепления на карьерных автодо-

рогах, а также дорогах общего пользования показывают, что при снижении класса дорожной одежды снижается коэффициент сцепления [7–10].

Так, в имитационной модели были использованы значения коэффициентов для конкретного случая, которые приведены в таблице.

Таблица / Table

Значения коэффициента сцепления в зависимости от состояния и вида дорожного покрытия
Values of the coefficient of adhesion depending on the condition and type of surface coating

Тип дорожной одежды	Коэффициент сцепления (ϕ)
I-к, II-к (асфальтобетон)	0,7 ÷ 0,85
III-к (щебеночные и гравийные смеси)	0,4 ÷ 0,7
IV-к (выравненный скальный грунт)	0,2 ÷ 0,5

Для проведения экспериментов в модели применяли исходные данные:

1. Период моделирования составляет 24 часа с учетом времени на смену водителей и проверку автосамосвала перед сменой (суммарно 1 час).
2. Время погрузки и выгрузки за один оборот автосамосвала составляет 30 минут.
3. В качестве карьерного автосамосвала выбран БелАЗ серии 7540 [11].
4. Протяженность пути между забоем и отвалом составляет 9,8 км.
5. Руководящий уклон (средний продольный уклон) дороги составляет 7 градусов (122,8 %).

На рисунке 1 приведен график основных показателей работы автосамосвала за один оборот при разных категориях дорожных одежд, а соответственно, и разных коэффициентов сцепления.

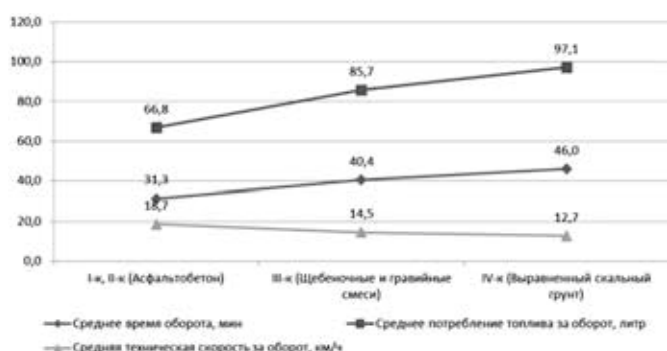


Рис. 1. График основных показателей работы автосамосвала за один оборот при разных категориях дорожных одежд

Fig. 1. The schedule of the main indicators of the dump truck in one turn, with different categories of road clothes

Так, при транспортировании горной массы автосамосвалом по асфальтированной дороге значения средней технической скорости автосамосвала составляло 18,7 км/ч, что на 28,6 % и на 46,3 % больше, чем при движении по щебе-

ночному и гравийному покрытию или движении по выравненному скальному грунту, со значениями 14,5 и 12,7 км/ч соответственно. Такие значения скорости приводят к тому, что время оборота автосамосвала также имеет тренд на уменьшение при использовании дорожного покрытия более высокой категории при условии, что такие влияющие на фактор показатели, как постановка на погрузку/выгрузку и сама погрузка/выгрузка, определены константными значениями. Так, разница во времени оборота между дорожным покрытием из асфальтобетона и щебеночным и гравийным покрытием составила 22,5 %, а между дорожным покрытием из асфальтобетона и покрытием из выравненного скального грунта – 31,8 %.

Полученные значения расхода топлива в зависимости от класса дороги показывают, что на асфальтобетонной дороге автосамосвал будет потреблять меньше топлива по сравнению с грунтовой или гравийной, что может позволить сократить затраты на топливо.

На рисунке 2 представлены результаты работы автосамосвала в течение суток.

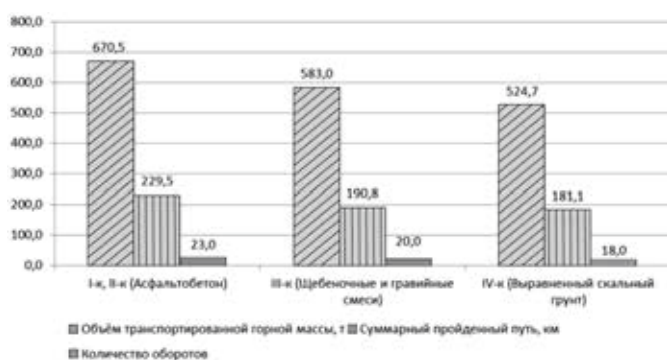


Рис. 2. График основных показателей работы автосамосвала за 24 часа при разных категориях дорожных одежд

Fig. 2. The schedule of the main indicators of the dump truck for 24 hours, with different categories of road clothes

Из рисунка 2 видно, что при эксплуатации автосамосвала по дороге с асфальтовым покрытием увеличится число оборотов, а соответственно, и объем перевезенной горной массы. Так, при транспортировании по асфальтобетонной дороге прирост перевезенной горной массы по сравнению с щебеночным и выравненным скальным грунтом покрытием будет составлять 15 и 27,8 % соответственно.

Заключение

Проведенные эксперименты и анализ их результатов позволяют сделать вывод о том, что показатели работы автосамосвала на карьере при различных типах дорожных одежд имеют следующую закономерность: при увеличении коэффициента сцепления шин с дорогой наблюдается повышение показателей транспортной работы автосамосвала.

Таким образом, использование дорожного полотна более высокого класса позволяет повысить производительность всего экскаваторного и автосамосвального парка, что существенно обеспечивает рост эффективности горнодобывающего предприятия.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Стенин, Ю. В. Карьерные автодороги — их значимость и проблемы совершенствования / Ю. В. Стенин // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2009. — № 9. — С. 361–367.
2. Zhuravlev, A. G. Computer modeling when assessing the impact of road factors on performance of quarry vehicles / A. G. Zhuravlev, V. V. Chernykh // Bulletin of the Tomsk Polytechnic University Geo Assets Engineering. — 2023. — Vol. 334, № 12. — P. 20–31.
3. Three-dimensional finite element modeling of haul road response to ultra-large dump truck dynamic loading / B. A. Kansake [et al.] // Mining, Metallurgy & Exploration. — 2023. — Vol. 40, № 1. — P. 315–335.
4. Improving materials logistics plan in road construction projects using discrete event simulation / A. Alvanchi [et al.] // Engineering, Construction and Architectural Management. — 2021. — Vol. 28, № 10. — P. 3144–3163.
5. Kansake, B. A. Analytical modelling of dump truck tire dynamic response to haul road surface excitations / B. A. Kansake, S. Frimpong // International Journal of Mining, Reclamation and Environment. — 2020. — Vol. 34, № 1. — P. 1–18.
6. Any Logic Simulation Software. — URL: <https://www.anylogic.com/>.
7. Artyushin, A. K. Investigation of the dependence of the efficiency of the excavator-dump complex on the high-speed profile of dump trucks using simulation modeling / A. K. Artyushin, A. N. Rakhmangulov // Transport Problems — 2021: Proceedings XII International Scientific Conference, X International Symposium of Young Researchers Under the Honorary Patronage of Mayor of Katowice City and Rector of Silesian University of Technology. — Katowice, 2021. — P. 32–47.
8. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2023612706 Российская Федерация. Программа расчета суммарного и удельного расхода топлива автосамосвалов с учетом руководящего уклона карьерных автодорог: № 2023611124: заявл. 26.01.2023; опубл. 07.02.2023 / А. К. Артюшин, И. А. Пыталев, В. В. Якшина [и др.]; заявитель: ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г. И. Носова».
9. СП 37.13330.2012 Промышленный транспорт. Актуализированная редакция СНиП 2.05.07-91 (с Изменениями 1-6) [Электронный ресурс]. — URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200095520> (дата обращения: 08.08.2024).
10. Евтюков, С. А. Влияние факторов на сцепные качества покрытий автомобильных дорог / С. А. Евтюков // Современные проблемы науки и образования. — 2012. — № 3. — С. 97.
11. Зависимость коэффициента сцепления от шероховатости дорожного покрытия / А. А. Васильев, Л. Н. Горин, Д. Н. Игошин, М. М. Ильин // Вестник НГИЭИ. — 2014. — № 10 (41). — С. 32–37.
12. Горшков, Э. В. Исследование коэффициента сцепления колеса автомобиля с покрытием карьерных автодорог / Э. В. Горшков, А. П. Тарасов // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2008. — № 8. — С. 330–343.
13. Соустова, Л. И. Определение коэффициента сцепления колеса с дорогой расчетно-экспериментальным путем / Л. И. Соустова, И. Ю. Чуйко // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. — 2019. — № 2 (62). — С. 68–77.
14. Евтюков, С. А. Параметры, влияющие на сцепные качества покрытий автодорог / С. А. Евтюков, С. С. Евтюков // Вестник Тувынского государственного университета. — 2013. — № 3 (18). — С. 75–82.
15. BELAZ-7540 Series Mining Dump Trucks. — URL: <https://belaz.by/en/products/products-belaz/dumpers/dump-trucks-with-hy-dromechanical-transmission/dump-truck-series-7540/>.

REFERENCES

1. Stenin YuV. . GIAB. 2009;9:361-67 (In Russ.).
2. Zhuravlev AG, Chernykh VV. Computer modeling when assessing the impact of road factors on performance of quarry vehicles. Bulletin of the Tomsk Polytechnic University Geo Assets Engineering. 2023;334(12):20-31.
3. Kansake BA. et al. Three-dimensional element modeling of haul road response to ultra-large dump truck dynamic loading. Mining, Metallurgy & Exploration. 2023;40(1): 315-35.
4. Alvanchi A. et al. Improving materials logistics plan in road construction projects using discrete event simulation. Engineering, Construction and Architectural Management. 2021;28(10):3144-63.
5. Kansake BA, Frimpong S. Analytical modelling of dump truck tire dynamic response to haul road surface excitations. International Journal of Mining, Reclamation and Environment. 2020;34(1):1-18.
6. AnyLogic Simulation Software. Available from: <https://www.anylogic.com/>.
7. Artyushin AK, Rakhmangulov AN. Investigation of the dependence of the of the excavator-dump complex on the high-speed of dump trucks using simulation modeling. Transport Problems — 2021: Proceedings XII International Conference, X International Symposium of Young Researchers Under the Honorary Patronage of Mayor of Katowice City and Rector of Silesian University of Technology, Katowice, June 29-30, 2021. — Katowice: Silesian University of Technology, 2021:32-47.
8. of state registration of the computer program No. 2023612706 Russian Federation. The program for calculating the total and fuel consumption of dump trucks, taking into account the guiding slope of quarry roads: No. 2023611124 : application 26.01.2023 : publ. 07.02.2023 / A. K. Artyushin, I. A. Pytalev, V. V. Yakshina [et al.]; applicant Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Magnitogorsk State Technical University named after G. I. Nosov" (In Russ.).
9. SP 37.13330.2012 Industrial transport. Updated edition of SNiP 2.05.07-91 (with Amendments N 1-6). Available from: <https://docs.cntd.ru/document/1200095520> (In Russ.).
10. Evtyukov SA. of factors on the coupling qualities of road coverings. Modern problems of science and education. 2012;3:97 (In Russ.).
11. Vasiliev AA, Gorin LN, Igoshin DN, et al. Dependence of the of adhesion on the roughness of the road surface. Bulletin of the NGIEI. 2014;10(41):32-7 (In Russ.).
12. Gorshkov EV, Tarasov AP. Investigation of the of adhesion of a car wheel with a coating of quarry roads. GIAB. 2008;9:330-43 (In Russ.).

13. Soustova LI, Chuiko IYu. Determination of the of adhesion of a wheel with a road by calculation and experimentation. Modern technologies. System analysis. Modeling. 2019;2:68-77 (In Russ.).
14. Yevtyukov SA, Yevtyukov SS. Parameters the coupling qualities of covered roads. Bulletin of Tuva State University. Technical and physical and mathematical sciences. 2013;3:75-82 (In Russ.).
15. BELAZ-7540 Series Mining Dump Trucks. Available from: <https://belaz.by/en/products/products-belaz/dumpers/dump-trucks-with-hydronechanical-transmission/dump-truck-series-7540>.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Пыталев Иван Алексеевич –

доктор технических наук, профессор, профессор кафедры разработки месторождений полезных ископаемых, директор института горного дела и транспорта Магнитогорского государственного технического университета им. Г. И. Носова, г. Магнитогорск, Российская Федерация, e-mail: pytalev_ivan@mail.ru

Якшина Виктория Владимировна –

кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры разработки месторождений полезных ископаемых Магнитогорского государственного технического университета им. Г. И. Носова, г. Магнитогорск, Российская Федерация, e-mail: v.v.yakshina@inbox.ru

Артюшин Андрей Константинович –

аспирант кафедры разработки месторождений полезных ископаемых Магнитогорского государственного технического университета им. Г. И. Носова, г. Магнитогорск, Российская Федерация, e-mail: andrey.art.1999@mail.ru

Маренков Павел Андреевич –

соискатель кафедры разработки месторождений полезных ископаемых Магнитогорского государственного технического университета им. Г. И. Носова, г. Магнитогорск, Российская Федерация, e-mail: igdit@mail.ru

Критерии авторства / Contribution:

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

Конфликт интересов / Conflict of interest:

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

ABOUT THE AUTHORS

Ivan A. Pytalev –

Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Mineral Resources Development, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russian Federation, e-mail: pytalev_ivan@mail.ru

Viktoria V. Yakshina –

Candidate of Technical Sciences, Senior Lecturer of the Department of Mineral Deposits Development, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russian Federation, e-mail: v.v.yakshina@inbox.ru

Andrey K. Artyushin –

Postgraduate Student of the Department of Mineral Deposits Development, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russian Federation, e-mail: andrey.art.1999@mail.ru

Pavel A. Marenkov –

Candidate of the Department of Mining of Mineral Deposits, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russian Federation, e-mail: igdit@mail.ru

ГЕОТЕХНИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ НЕФТЕГАЗОНОСНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

В. С. Писарев

ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет геосистем и технологий», г. Новосибирск, Россия

ФГБУН «Институт проблем комплексного освоения недр им. академика Н. В. Мельникова»

Российской академии наук, г. Москва, Россия

Аннотация: Описаны этапы геотехнического мониторинга сооружений нефтяного месторождения, измерений вертикальных деформаций контрольных точек контуров днищ резервуаров и контрольных точек зданий и сооружений.

Ключевые слова: маркшейдерские работы, нефтяное месторождение, геотехнический мониторинг, ГНСС, гравиметрические измерения, опорные пункты, устойчивость реперов, анализ деформаций

Для цитирования: Писарев В. С. Геотехнический мониторинг при эксплуатации нефтегазовых месторождений // Маркшейдерия и недропользование. 2024. №4. С. 67-71. https://doi.org/10.56195/20793332_2024_4_67_71.

GEOTECHNICAL MONITORING DURING OPERATION OF OIL AND GAS FIELDS

V. S. Pisarev

Siberian State University of Geosystems and Technologies, Novosibirsk, Russian Federation

Institute of Comprehensive Exploitation of Mineral Resources Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation

Abstract: The article briefly describes the stages of deformation monitoring of oil field structures, measurements of vertical deformations of control points of tank bottoms contours, and control points of buildings and structures.

Keywords: surveying, oil field, geotechnical monitoring, GNSS, gravimetric measurements, reference points, stability of reference points, deformation analysis

For citation: Pisarev V. S. Geotechnical monitoring during operation of oil and gas fields. Mine Surveying and Subsoil Use. 2024;(4):67-71. (In Russ.). https://doi.org/10.56195/20793332_2024_4_67_71.

Введение

Нефтегазовый комплекс России играет значительную роль как в экономическом развитии страны, так и в целом на мировом энергетическом рынке. Углеводородные ресурсы России являются наиболее конкурентными отраслями национальной экономики с точки зрения их интеграции в систему мировых экономических взаимосвязей, особенно это стало актуально в последнее десятилетие.

Добыча нефти и газа — это сложный и достаточно затратный производственно-технологический процесс, в котором решается большой комплекс научных и производственных задач как отдельно на локальных месторождениях, так и системно в едином нефтегазовом комплексе страны.

Для того чтобы сырье приняло товарный вид, его надо тщательно к этому подготовить. Неслучайно в процессе очистки нефти задействовано в два — три раза больше персонала, чем при добыче.

Геотехнический мониторинг в обязательном порядке должен проводиться в зоне добычи полезного ископаемого

в процессе вскрытия и подготовки месторождения или его части к разработке.

Наблюдение и контроль состояния горного отвода (мониторинг горного отвода) включают в себя:

- контроль соблюдения предусмотренных проектной документацией мест заложения, направлений и параметров горных выработок, технологических схем проходки, размеров предохранительных целиков и нормативов потерь;
- проведение опережающей эксплуатационной разведки и других геологических работ;
- проведение наблюдений за проявлением горного давления, сдвижением горного массива, деформациями охраняемых зданий и сооружений и другими явлениями, возникающими при разработке месторождения [1].

Для сбора и подготовки нефти используется система сооружений и оборудования, включающая промысловые технические средства и установки, соединенные трубопроводами. Чаще всего на месторождениях используется напорная герметизированная система сбора и подготовки нефтепродук-

тов, которая практически исключает потерю углеводородов.

Наземные резервуары с нефтью и нефтепродуктами объемом 5 тыс. м³ и более подлежат защите АУПТ (тушение воздушно-механической пеной средней и низкой кратности) [2].

Далее нефтепродукты поступают на замерные установки, где выполняется подсчет количества нефти и газа с каждой скважины. Потом продукт нефтедобычи поступает на дожимные насосные станции (ДНС) или установки предварительного сброса воды (УПСВ). На следующем этапе осуществляется первая ступень сепарации, и газ отводится на газоперерабатывающий завод.

Следует отметить, что на центральный пункт подготовки нефти (ЦППН) поступает нефть с разных ДНС, образуя смесь, которую также требуется очистить от воды и разгазировать, но уже более тщательно, до товарной кондиции. Основными задачами ЦППН являются сбор и подготовка нефти до установленных требований с дальнейшей откачкой ее потребителю в соответствии с производственными планами, подготовка сточных вод для направления их в нагнетательные скважины.

Цель исследования: изучение методологии и выполнение маркшейдерско-геодезических работ при мониторинге геодинамических нефтегазоконденсатных месторождений [3].

Геотехнический мониторинг необходим на всех этапах разработки нефтегазоносных месторождений.

Материал и методы исследований

На территории ЦППН располагаются резервуары нефти достаточно больших объемов (5 тыс. куб. м) (рис.).



Рис. Резервуары для хранения нефтепродуктов объемом 5 тыс. куб. метров
Fig. Storage tanks for petroleum products with a volume of 5000 cub. meters

Своевременный геотехнический контроль деформаций сооружений позволяет предотвращать аварии, пожары, загрязнение почвы, воды и воздуха. Следует отметить, что сложные конструктивные исполнения сооружений и суровые природно-климатические условия приводят к существенным затруднениям при выполнении деформационного мониторинга. По итогам многолетних наблюдений замечено, что деформации сооружений зависят от сезонных колебаний температур и промерзания грунтов. Кроме того, значения деформаций резервуаров вертикальных стальных (РВС) зависят от уровня их наполнения, в связи с этим в ходе анализа эти параметры также учитываются. Особое внимание уделяется внедрению и усовершенствованию систем ав-

томатизированного мониторинга, а также разработке методик и оборудования для контроля объектов. Первостепенной задачей является использование оборудования, позволяющего выполнять мониторинговые измерения, производить контроль результатов измерений непрерывно или через короткие промежутки времени [4].

При эксплуатации промышленных объектов должны выполняться следующие требования:

- проверка числовых значений и графической части проектных чертежей;
- перенесение геометрических элементов проекта в натуру;
- контроль соблюдения установленного проектом соотношения геометрических элементов зданий, сооружений.

Геодезические работы по выносу геометрических элементов в натуру производятся с пунктов опорных геодезических сетей. Разбивка зданий, сооружений и задание направлений выполняется по проектным чертежам. Проектную документацию проверяют сопоставлением рабочих чертежей зданий и сооружений с генеральным планом, а также сопоставлением с расположением существующих сооружений и рельефом местности [5–6].

Кроме того, в исследовании используются методы интерпретации спутниковых изображений и ГИС для создания обновленных карт, таких как структурная карта [7].

Отклонения строительных конструкций и технологического оборудования от проектного положения не должны превышать установленные значения.

Все измерения, выполняемые при разбивках, фиксируются в журнале разбивок. В журнале приводятся:

- схема разбивки;
- данные, относящиеся к исходным точкам;
- номера проектных чертежей;
- расстояния и размеры, по которым выполнена разбивка и ориентировка объектов относительно осей промплощадки или осей сооружения.

После вынесения в натуру заданных углов, расстояний, высотных отметок производятся контрольные измерения. Для отражения застройки поверхности и положения инженерных коммуникаций составляются исполнительные чертежи. Положение фундаментов, колонн, технологического оборудования, подкрановых путей и подземных коммуникаций наносятся на рабочие чертежи проекта с указанием отклонений. Съемка инженерных коммуникаций выполняется в процессе строительства объектов (в открытых траншеях и котлованах) [8–9].

Перед выполнением разбивочных работ проверяется неизменность положения пунктов опорной геодезической сети посредством измерения углов, длин или контроля створности пунктов.

Состав работ по нулевому циклу:

- вынос в натуру проектных осей зданий и сооружений;
- разбивка осей примыкающих к ним подземных коммуникаций;
- определение высотных отметок реперов;
- контроль глубины котлована;
- проверка горизонтальности подушки фундамента, размеров и формы фундамента;
- проверка правильности установки опалубки и анкерных проемов.

Разбивка контура котлована под ленточный фундамент прямоугольной формы, а также верхней части свайных и

столбчатых фундаментов производится способом перпендикуляров. Полученные точки проектного контура закрепляются временными знаками.

Далее определение и анализ деформаций сооружений цеха по переработки и перекачки нефти ЦППН на месторождениях согласно требованиям нормативных документов выполняются два раза в год. Полученные в ходе деформационного мониторинга данные необходимы для обеспечения надежности и безопасной эксплуатации данных объектов, а также для планирования ремонта и других мероприятий, повышающих эксплуатационную надежность и долговечность. Своевременный деформационный мониторинг позволяет выявлять опасные значения смещений контрольных точек, закрепленных на сооружениях.

Маркшейдерско-геодезическое обеспечение требуется на всех этапах освоения нефтяных месторождений, в связи с этим их содержание довольно разнообразно. В перечень основных функций маркшейдерской службы горного предприятия входят следующие виды работ:

- выполнение маркшейдерских съемок территории месторождения;
 - определение рациональных и эффективных схем разработки;
 - создание маркшейдерских опорных и съемочных сетей;
 - производство комплекса маркшейдерско-геодезических инструментальных измерений и расчетов;
 - составление и редактирование графической документации, а также решение разных горно-геометрических задач;
 - вынос в натуру проектного положения устьев скважин, инженерных сооружений и соответствующих коммуникаций, местоположения границ безопасного производства горных работ, в том числе барьерных и предохраняющих целиков;
 - систематический мониторинг геометрических параметров инженерных сооружений, зданий и оборудования добычи при эксплуатации;
 - планирование и выполнение инструментальных измерений для контроля процессов сдвижения горных пород, деформаций земной поверхности территории месторождения, проявления горного давления, деформации зданий и сооружений, устойчивости уступов, бортов карьеров и отвалов;
 - определение норм потерь и разубоживания полезного ископаемого (ПИ) в процессе разработки;
 - расчет объемов горных и строительно-монтажных работ (объемов добычи и потерь ПИ, полноты отработки запасов и др.);
 - маркшейдерское обеспечение работ в опасных зонах и контроль мероприятий по производственной безопасности.
- Вышеописанные виды работ должны сопровождаться предрасчетами точности для дальнейшего выбора наиболее эффективных методов измерений и расчетов, а также выполнением анализа точности маркшейдерско-геодезических работ.
- Графическая часть маркшейдерской документации при разработке нефтяных месторождений отображает:
- рельеф местности, гидрографию и населенные пункты;
 - пункты государственной геодезической и маркшейдерской сетей;
 - скважины геологоразведочные и эксплуатируемые при добыче;
 - магистральные трубопроводы;
 - инженерные коммуникации;

- компрессорные установки и иные сооружения, используемые при добыче, переработке и транспортировке нефти;
- геологические чертежи (геологические нарушения и особенности, требующие учета при разработке).

При проведении плановых топографо-геодезических работ на месторождении геодезист обследует участок работ с целью проверки наличия и состояния пунктов государственной геодезической сети (ГГС), а при обнаружении изменений в состоянии пункта эта информация заносится в специальный реестр пунктов ГГС.

Главный маркшейдер формирует общекорпоративную базу данных, содержащую информацию о состоянии пунктов ГГС, которая регулярно обновляется на основании годовых отчетов. А затем ежеквартально на маркшейдерские планы вносятся все текущие изменения, которые были зафиксированы на месторождении. Когда топографическая ситуация территории меняется более чем на 35 % в сравнении с ее отображением на исходном плане, требуется выполнить новую маркшейдерско-геодезическую съемку местности. Редактирование картографической документации может осуществляться с применением технологий воздушного и наземного лазерного сканирования, построением ортофотокарт по данным аэрокосмосъемок.

Отклонения положения на плане объектов контуров местности с четкими очертаниями относительно ближайших пунктов съемочного обоснования не должны иметь значения более 0,5 мм, для труднодоступных и горных территорий – 0,7 мм. На участках с капитальными и многоэтажными зданиями максимальные ошибки взаимного положения не должны быть более 0,4 мм.

Анализ точности планов и карт выполняют по расхождениям положения контуров, высот точек, рассчитанных по горизонталям, с результатами контрольных измерений. Максимальные ошибки не должны превышать утроенных величин погрешностей.

Горно-графическая маркшейдерская документация должна вестись в государственной системе координат с учетом принятых картографических проекций. В случае использования местной системы координат требуется выполнить работы для приведения ее к государственной системе, выполнив привязку к государственной не менее трех знаков местной системы координат.

При выполнении маркшейдерских работ по определению деформаций сооружений и технологического оборудования нефтяных месторождений используются теодолиты, цифровые нивелиры, электронные тахеометры, а также лазерные сканеры. Приборы для работ выбираются исходя из указаний проектных и нормативных документов или задания на производство маркшейдерских работ. Используемые приборы и инструменты должны соответствовать требуемой точности и технологии производства работ [10–13].

Для быстрого и точного определения расстояний, а также горизонтальных и вертикальных углов применяются электронные тахеометры.

Для выполнения работ по геометрическому и техническому нивелированию используются электронные цифровые нивелиры. Данные приборы подходят для наблюдения за деформациями различных конструкций, зданий, инженерных сооружений и производственного оборудования как на этапе строительства, так и на этапе эксплуатации.

В конструкцию цифровых нивелиров входят специализированные программно-аппаратные устройства (процессор и

ПО), что позволяет в автоматическом режиме обрабатывать и сохранять материалы измерений. Автоматическая работа прибора исключает возможные ошибки (ошибки наблюдателя). Точность цифровых нивелиров находится в диапазоне от 0,3 до 1,3 мм на 1 км двойного хода.

Маркшейдерские наблюдения позволяют получить актуальную информацию о деформациях исследуемых объектов.

Данные работы осуществляются согласно утвержденному руководством проекту, в котором представлены:

- перечень объектов наблюдения;
- схемы геодезической и маркшейдерской сетей;
- схемы расположения деформационных точек (марок);
- цикличность наблюдений;
- требуемая точность;
- список отчетных документов.

Выводы

В процессе маркшейдерских наблюдений за деформациями зданий, сооружений, оборудования и других объектов нефтяного месторождения необходимо оформлять соответствующие ведомости величин деформаций и их анализа, исполнительные схемы, журналы полевых измерений и др.

При выполнении инженерных изысканий для обустройства нефтегазовых месторождений особое внимание следует уделять определению границ наземной и подземной состав-

ляющих миграционных бугров пучения с ядром из многолетнемерзлых пород [14–16].

Деформационный мониторинг включает наблюдения за вертикальными смещениями (осадками) подрабатываемой поверхности, ее горизонтальными перемещениями на территории месторождения, а также вблизи него.

Перечень этапов маркшейдерских работ на месторождении:

- изучение схем расположения опорных пунктов, схем расположения контрольных марок и схем нивелирования;
- обследование месторождения опорных пунктов и контрольных точек на территории, определение их сохранности и внешнего физического состояния;
- проложение ходов нивелирования II класса с целью определения высот опорных пунктов, проверки устойчивости опорных пунктов, а также сгущения пунктов;
- проложение ходов нивелирования III класса и нивелирование контрольных точек;
- обработка результатов нивелирования, вычисление абсолютных высот (отметок) контрольных точек, оценка устойчивости зданий и сооружений.

Для определения фактической геометрической формы РВС и определения величины отклонений от проектных требований выполнены работы по нивелированию оснований РВС.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Об утверждении правил охраны недр: Постановление от 30 июля 2004 г. N 401 / О Федеральной службе по экологическому, технологическому и атомному надзору [Электронный ресурс]. — <https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=1&documentId=458976#h149>
2. Хабибуллин Р. З. Нефтегазоперерабатывающие предприятия требуют усиленного контроля за противопожарным режимом / Р. З. Хабибуллин // Промышленная и экологическая безопасность. Охрана труда. — 2017. — № 7 (125).
3. Писарев, В. С. Маркшейдерско-геодезические работы при создании геодинамических полигонов / В. С. Писарев // Маркшейдерия и недропользование. — 2020. — № 2 (106). — С. 35–40.
4. Владыкина, А. В. Разработка программного обеспечения для целей инженерных изысканий и мониторинга искусственных сооружений / А. В. Владыкина, В. Н. Никитин, В. С. Писарев // Интерэкспо Гео-Сибирь. — 2023. — Т. 1, № 1. — С. 54–59.
5. Ахмедов, Б. Н. Построение цифровых трехмерных моделей геопространства / Б. Н. Ахмедов // Инженерная графика и трехмерное моделирование: сб. науч. докл. молодежн. науч.-практ. конф. — Новосибирск: СГУГиТ, 2016. — С. 9–13.
6. Оценка геомеханического состояния подработанных пород массива при выемке слепого рудного тела на Таштагольском месторождении / А. А. Еременко, А. Г. Гаврилов, В. А. Штирц [и др.] // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. — 2023. — № 2. — С. 48–56.
7. Басаргин, А. А. Применение методов геоинформатики для изучения и оценивания риска последствий землетрясений // Вестник СГУГиТ. — 2022. — Т. 27, № 6. — С. 89–97.
8. Антонов, Ю. В. Плотностные неоднородности в земной коре / Ю. В. Антонов // Геофизика. — 2005. — № 1. — С. 62–68.
9. Панжин, А. А. Геодинамический мониторинг и моделирование поля деформаций на коркинском угольном месторождении / А. А. Панжин, Б. Т. Мазуров, Н. А. Панжина // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. — 2021. — № 2. — С. 94–109.
10. Мазуров, Б. Т. Обзор развития геодинамики и геодезических методов решения геодинамических задач / Б. Т. Мазуров, В. И. Кафтан // Геодезия и картография. — 2020. — Т. 81, № 2. — С. 25–39.
11. Карпик, А. П. О взаимодействии наук о земле в развитии нефтегазового комплекса страны / А. П. Карпик, В. Б. Жарников // Вестник СГУГиТ. — 2022. — Т. 27, № 2. — С. 173–183.
12. Середович, В. А. Исследование точности создания цифровых моделей рельефа и вычисления объемов насыпи и выемки горных пород на основе данных лазерного сканирования // Известия высших учебных заведений / В. А. Середович, М. А. Алтынцев, Р. А. Попов // Геодезия и аэрофотосъемка. — 2015. — № 5. — С. 66–71.
13. Алтынцев, М. А. Методика предварительной обработки данных воздушного лазерного сканирования, полученных с применением беспилотных воздушных судов / М. А. Алтынцев // Геодезия и картография. — 2023. — Т. 84, № 6. — С. 30–41.
14. Некрестов, Я. А. Технология визуального позиционирования для решения геодезических задач / Я. А. Некрестов, Е. Г. Гиенко // Регулирование земельно-имущественных отношений в России: правовое и геопространственное обеспечение, оценка недвижимости, экология, технологические решения. — 2023. — № 2. — С. 20–24.
15. Анализ технологических схем создания геодезического обоснования на промплощадке / Г. А. Уставич, А. Г. Неволин, В. А. Падве [et al.] // Записки Горного института. — 2021. — Т. 249. — С. 366–376.
16. Репин, А. С. О методике геопространственного мониторинга бугров пучения многолетнемерзлых пород / А. С. Репин // Вестник СГУГиТ. — 2021. — Т. 26, № 3. — С. 28–35.

REFERENCES

1. On approval of the rules for the protection of mineral resources: Resolution No. 401 of July 30, 2004 / On the Federal Service for Environmental, Technological and Nuclear Supervision [Electronic resource]. — <https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=1&documentId=458976#h149> (In Russ.).

2. *Khabibullin RZ*. Oil and gas processing enterprises require enhanced control over the fire protection regime. Industrial and environmental safety. Labor protection. 2017;7(125) (In Russ.).
- Pisarev VS*. Geodesic and mine surveying works when developing geodynamic field sites. Mine surveying and subsurface use. 2020;2(106):35-40 (In Russ.).
3. *Vladykina AV, Nikitin VN, Pisarev VS*. Software development for engineering surveys and monitoring of artificial structures. Interexpo Geo-Siberia. 2023;1(1):54-9 (In Russ.).
4. *Ahmedov BN*. Construction of digital three-dimensional models of geospatial. Collection of scientific reports of the youth scientific-practical conference «Engineering graphics and three-dimensional modeling». Novosibirsk, 2016:9-13 (In Russ.).
5. *Eremenko AA, Gavrilov AG, Stirts VA, et al.* Assessment of the geomechanical state of the rock column between the Earth's surface and the roof of the worked-out space during the development of a blind ore body at the Sheregeshevsky deposit. Mining Journal. 2022;2:48-56 (In Russ.).
6. *Basargin AA*. (2022) Application of geoinformatics methods for studying and assessing the risk of earthquake consequences. Bulletin of SGUGiT. 2022;27(6):89-97. (In Russ.).
7. *Antonov YuV*. Density inhomogeneities in the Earth's crust. Geophysics. 2005;1:62-8 (In Russ.).
8. *Panzhin AA, Mazurov BT, Panzhina NA*. Geodynamic monitoring and modeling of the deformation field at the Korkinsky coal deposit. News of Tula State University. Earth Sciences. 2021;2:94-109 (In Russ.).
9. *Mazurov BT, Kaftan VI*. Review of the development of geodynamics and geodetic methods for solving geodynamic problems. Geodesy and cartography. 2020;81(2):25-39 (In Russ.).
10. *Karpik AP, Zharnikov VB*. On the interaction of earth sciences in the development of the country's oil and gas complex. Bulletin of SGUGiT. 2022;27(2):173-83 (In Russ.).
11. *Seredovich VA, Altyntsev MA, Popov RA*. Investigation of the accuracy of creating digital relief models and calculating the volumes of embankment and excavation of rocks based on laser scanning data. News of higher educational institutions. Geodesy and aerial photography. 2015;5:66-71 (In Russ.).
12. *Altyntsev MA*. Methodology of preliminary processing of aerial laser scanning data obtained using unmanned aircraft. Geodesy and cartography. 2023;84(6):30-41 (In Russ.).
13. *Nekrestov YaA, Gienko EG*. Technology of visual positioning for solving geodetic problems. Regulation of land and property relations in Russia: legal and geospatial support, real estate valuation, ecology, technological solutions. 2023;2:20-4 (In Russ.).
14. *Ustavich GA, Nevolin AG, Padve VA, et al.* Analysis of technological schemes for creating a geodetic justification at an industrial site. Notes of the Mining Institute. 2021;249:366-76 (In Russ.).
15. *Repin AS*. On the methodology of geospatial monitoring of the heave mounds of permafrost rocks. Bulletin of SGUGiT. 2021;26(3):28 (In Russ.).

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ



Писарев Виктор Семенович – кандидат технических наук, доцент кафедры инженерной геодезии и маркшейдерского дела, ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет геосистем и технологий», г. Новосибирск, Россия; старший научный сотрудник лаборатории геолого-структурного моделирования, ФГБУН «Институт проблем комплексного освоения недр им. академика Н. В. Мельникова» Российской академии наук, г. Москва, Россия, <http://orcid.org/0000-0003-0199-496X>, e-mail: v.s.pisarev@sgugit.ru

ABOUT THE AUTHOR

Viktor S. Pisarev – Ph. D, Associate Professor of Department of Engineering Geodesy and Mine Surveying, Siberian State University of Geosystems and Technologies, Novosibirsk, Russian Federation; Senior Researcher at the Laboratory of Geological and Structural Modeling, Institute of Comprehensive Exploitation of Mineral Resources Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation, <http://orcid.org/0000-0003-0199-496X>, e-mail: v.s.pisarev@sgugit.ru

ПРАКТИЧЕСКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ РАЗЛИЧНЫХ МЕТОДОВ СЪЕМКИ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОБЪЕМА КАРЬЕРНОЙ ДОБЫЧИ ДОЛОМИТОВОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

А. А. Басаргин

ИПКОН РАН, г. Москва, Российская Федерация

Аннотация: Приведены результаты практического применения различных методов съемки для определения объема карьерной добычи доломитового месторождения с помощью программных продуктов. Приведен анализ методов вычисления объемов карьерной добычи при использовании различных вариантов геодезической съемки и программ расчета объемов с помощью цифровой модели поверхности. Обоснован подход применения различных типов геодезических измерительных приборов при проведении измерений на месторождении полезного ископаемого. Детально описаны процессы съемки, которые используются при различных методах измерений, позволяющие получить данные о размерах и форме объектов на месторождении. Эти геопространственные данные затем используются для расчета объемов карьерной добычи и других задач, связанных с геологоразведкой и добычей полезных ископаемых. Результаты исследований могут быть использованы в процессе добычи полезных ископаемых, позволяющие получить точную информацию о месторождении и объемах ресурсов.

Ключевые слова: карьерные разработки, тахиметрические методы съемки, ГНСС, дистанционное зондирование, модель поверхности

Для цитирования: Басаргин А. А. Практическое применение различных методов съемки для определения объема карьерной добычи доломитового месторождения // Маркшейдерия и недропользование. 2024. №4. С. 72-76. https://doi.org/10.56195/20793332_2024_4_72_76.

PRACTICAL APPLICATION OF VARIOUS SHOOTING METHODS FOR DETERMINATION OF THE VOLUME OF QUARRY PRODUCTION OF DOLOMITE DEPOSITS

A. A. Basargin

Institute of Comprehensive Exploitation of Mineral Resources Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation

Abstract: The article presents the results of the practical application of various survey methods to determine the volume of quarry mining of a dolomite deposit using software products. An analysis of methods for calculating quarry production volumes using various options for geodetic surveys and programs for calculating volumes using a digital surface model is presented. The approach to using various types of geodetic measuring instruments when taking measurements at a mineral deposit is substantiated. The survey processes that are used in various measurement methods and provide data on the size and shape of objects in the field are described in detail. This geospatial data is then used to calculate quarry production volumes and other exploration and mining tasks. The research results can be useful in the mining process, providing accurate information about the deposit and the volume of resources.

Keywords: quarrying, tachymetric survey methods, GNSS, remote sensing, surface model

For citation: Basargin A. A. Practical application of various shooting methods for determination of the volume of quarry production of dolomite deposits. *Mine Surveying and Subsoil Use*. 2024;(4):72-76. (In Russ.). https://doi.org/10.56195/20793332_2024_4_72_76.

Введение

Компании, добывающие полезные ископаемые, обязаны ежегодно составлять отчеты об объеме добытых полезных ископаемых за определенный период и постоянно вести учет их количества. Это требует проведения точных измерения их объемов.

Для создания цифровой модели месторождения могут

использоваться различные методы измерений. Например, тахеометрическая съемка, GPS-съемка и дистанционное зондирование. В результате этих измерений получают данные о длине линий, углах и высотах точек. В зависимости от цели различают вертикальные, горизонтальные и топографические измерения [1].

Для получения объемов карьерной добычи необходимо

проведение топографических измерений на местности, чтобы получить данные о ситуации на местности и отметки высоты.

Выделяют три различных метода измерений:

- тахеометрический метод измерения;
- метод глобального позиционирования;
- метод дистанционного зондирования.

При выполнении измерительных работ геодезисты должны использовать геодезические инструменты, прошедшие контроль и соответствующие требованиям точности, установленным производителями.

При выполнении топографических измерений на местности можно использовать заранее полученную топографическую информацию о данной территории. Если измерения проводятся повторно, то разница в значениях отметок должна быть не более 30 см, а разница в координатах в горизонтальной плоскости — не более 20 см. Для местности с четкими контурами и объектами эти требования снижаются: до 5 см — для горизонтальных координат и 3 см — для высотных отметок.

Для подсчета объемов добычи полезных ископаемых используются специализированные программные средства, которые позволяют выполнять различные виды расчетов.

Точность расчета объемов полезных ископаемых зависит от точности созданной цифровой модели месторождения, используемой для расчета. Разница в результатах измерений объемов на разных этапах разработки месторождения не должна превышать 5 %.

Геодезисты, проводящие топографические съемки, должны использовать методы измерений, которые обеспечивают получение данных высокого качества. Только из таких данных можно создать точную и достоверную цифровую модель месторождения. Для этого необходимо проводить измерения в соответствии с методиками, обеспечивающими получение максимально точных результатов. Также это касается применения любых программных продуктов для создания цифровой модели поверхности [2].

Объект исследований

Талановское месторождение расположено в северной части Кузнецкого Алатау, в нижнем течении р. Талановой, левого притока р. Кии (система р. Чулым). Оно находится на территории Тисульского района Кемеровской области в 25 км от пос. Полысаево, связанного железнодорожной веткой с Транссибирской магистралью (рис. 1).

Район Талановского месторождения приурочен к геологическим структурам северной части Кузнецкого Алатау, которые далее к северу перекрываются осадочным чехлом Западно-Сибирской низменности, а с запада ограничиваются Кузнецкой впадиной. Он расположен примерно в 30 км к западу от Кузнецко-Алтайского разлома, в пределах Пезасского поднятия, входящего в состав Золотокитат-Кондомской структурно-формационной зоны океанического типа.

Для сравнения и контроля объемов добытых полезных ископаемых производится обмер территории карьеров с целью расчета объемов по полученным данным измерений. В ходе исследования произведен обмер территории карьера «Талановское».

На площади месторождения проведены поисковые работы с применением поверхностных горных выработок.

В процессе исследования использовались три различных метода измерения объемов добычи в карьере: тахеометриче-

ский; GNSS-позиционирования и дистанционного зондирования (с использованием БПЛА).



Рис. 1. Талановское месторождение доломита

Fig. 1. Talanovskoye dolomite deposit

Материал и методы

В тахеометрическом методе измерений использовался электронный тахеометр Leica TCR805 power. Для выполнения измерительных работ были установлены точки опоры геодезической сети. Координаты точек опорной сети получены путем измерений с помощью комплекта ГНСС-приемника Leica GX1230. При проведении тахеометрических измерений производилась фиксация измерений, чтобы можно точнее охарактеризовать поверхность карьера в данный момент [3–5].

При использовании метода позиционирования использовался ГНСС-приемник Leica GX1230. При измерении методом GNSS учитывались возможные неблагоприятные последствия многократного отражения сигнала в конкретном месте, а также другие факторы, влияющие на точность. Перед выполнением измерений проводились работы по планированию с целью получения оптимального количества спутников и оптимального положения в выбранном месте и в выбранное время. Измерения осуществлялись в режиме кинематики реального времени (RTK) в рамках базовой системы координат.

При реализации метода дистанционного зондирования использовался беспилотный летательный аппарат DJI Phantom-4 с фотограмметрической камерой. Поскольку обмеры карьера проводились несколько раз, каждый раз перед выполнением полета наземные контрольные точки располагались равномерно. Опорные точки измерялись при каждом сеансе измерений и привязывались к определенным системам координат и высот. Такой подход обеспечил измерение поверхности карьера в единой пространственной системе отсчета и позволил правильно рассчитать объемы извлекаемых месторождений. Высота полета в процессе измерений была установлена 50 м, а также определен охват фотосъемки во время полета, фронтальный охват — 80 %, боковой охват — 70 % [6].

Измерительные кампании в карьере «Талановское» доломитового месторождения в 2023 году проводились трижды (табл. 1).

Описанными выше методами были получены цифровые модели поверхностей для карьера на конкретную дату. С использованием полученных моделей поверхности удалось произвести расчет объемов добычи полезных ископаемых. Принцип расчета объема добычи полезных ископаемых основан на полученных поверхностях в разные даты изме-

рений. В результате получается тело, объем которого характеризует объем извлечения полезного ископаемого между двумя датами измерения (рис. 2).

Таблица 1 / Table 1

Методы измерения и время выполнения
Measurement methods and execution time

Метод измерения	Время измерения		
	Дата 1. Июнь	Дата 2. Сентябрь	Дата 3. Ноябрь
Тахиметрический	+	+	+
Позиционирование GNSS	+	+	+
Дистанционное зондирование	+	+	+



Рис. 2. Принцип расчета объема полезного ископаемого
Fig. 2. The principle of calculating the volume of minerals

Результаты исследований и их обсуждение

Данные, полученные в результате измерений, могут быть использованы для различных целей, включая расчеты объемов полезных ископаемых. Для этого используются специальные программы, такие как Virtual Survey и Bentley Microstation Power survey V8i. Эти программы позволяют обрабатывать данные измерений, создавать модели объектов и проводить анализ данных. В результате можно получить информацию о размерах и форме объекта, а также рассчитать его объем [7-10].

В июне 2023 года организован первый этап обмера карьера. Эти данные используются для планирования и управления процессом добычи, а также для оценки возможных экологических последствий. Средняя разница высот между GNSS и тахеометрическим методом измерения составляет от 1 до 2 см, а в некоторых местах может достигать 5 см. Это связано с тем, что геодезические вешки располагаются в разных местах при использовании разных методов измерения. Точность GNSS-позиционирования составляет около 1 см как по горизонтали, так и по вертикали, и она сохраняется в измерениях, проведенных в сентябре и ноябре. Разница высот между данными дистанционного зондирования и измерениями GNSS и тахеометрии составляет до 3 см.

В сентябре и ноябре 2023 года были проведены второй и третий этапы измерений карьера с использованием трех методов измерений. На основе полученных данных созданы модели поверхности карьера в программных продуктах Virtual Survey и Bentley Microstation PowerSurvey V8i. Это позволило провести визуальное сравнение полученных моделей.

Если сравнить модели, созданные на основе данных

тахеометрической съемки за сентябрь, то модель, созданная с помощью программы Bentley PowerSurveyV8i, показанная на рисунке 4 (см. цветную вклейку на стр. 46), выглядит более качественно, чем модель, созданная другой программой.

В результате анализа выяснилось, что в модели поверхности Virtual Survey детализация меньше. Тем не менее использование обеих программ позволяет получить полный набор данных для проведения различных видов анализа на месторождении полезного ископаемого [11-13].

С июня велась добыча доломита, и объемы добычи рассчитывались на основе цифровых моделей поверхностей, созданных по данным измерений. Для расчетов использовались геопространственные данные, которые обрабатывались в программах Virtual Survey и Bentley Microstation Power Survey V8i. В эти программы вводились одинаковые данные (координаты X, Y и Z), полученные на разных этапах измерений.

Так, полученные результаты можно сравнивать и анализировать. Расчеты объемов добычи и их изменения между этапами измерений приведены в таблице 2.

Таблица 2 / Table 2

Расчеты объемов добычи
Production volume calculations

Метод измерения	Расчет значений Virtual Survey (м³)		Расчет значений Bentley PowerSurvey V8i (м³)		Разница извлекаемых объемов (м³)	
	Июнь - сентябрь	Сентябрь - ноябрь	Июнь - сентябрь	Сентябрь - ноябрь	Июнь - сентябрь	Сентябрь - ноябрь
Тахиметрический	19 555	3 948	19 473	3 805	82	143
Позиционирование GNSS	19 712	3 924	19 614	3 792	98	132
Дистанционное зондирование	18 835	3 654	18 663	3 611	172	43

Различия в объемах добычи между разными методами измерения существенные. Это связано с различными факторами, такими как изменения в технологии добычи, погодные условия или даже ошибки в измерениях. Чтобы точно ответить на этот вопрос, необходимо иметь больше информации о конкретном проекте добычи и условиях, в которых он проводился. Чтобы точно определить причины различий, необходимо провести глубокий анализ данных и учесть все возможные факторы, влияющие на объемы добычи.

После проведения взрывных работ в сентябре и ноябре поверхность карьера стала неровной с большим количеством доломитовых обломков. Это делает съемку рельефа с использованием тахиметрического метода и GNSS сложной задачей [14, 15].

Измерение участков взорванного доломита размером от 4 до 8 метров может быть затруднительным. Это связано с тем, что такие участки могут быть покрыты большим количеством доломитовых обломков, что затрудняет проведение точных измерений.

Разница в объемах добычи объясняется особенностями процесса дистанционного зондирования. В этом методе

используются беспилотные летательные аппараты, которые могут собирать информацию о поверхности более точно, чем при использовании методов с другим инструментарием. Данный фактор обуславливает разницу в объемах добычи в период июня – сентября, когда использовалось дистанционное зондирование.

Учет добычи полезных ископаемых может быть осуществлен с использованием различных геодезических методов измерений. Каждый метод имеет особенности подготовки, проведения измерений и обработки полученных данных. Важно, чтобы при проведении измерений была обеспечена процедура контроля, таким образом обеспечивается максимально высокая достоверность конечного продукта.

Результаты измерений могут различаться в зависимости от того, какая программа используется для обработки данных. Это связано с алгоритмами, используемыми в этих программах, а также с качеством исходных данных. Для неопровержимых доказательств необходимо провести дополнительные исследования.

Заключение

1. В статье приведены результаты исследований различных методов съемки для определения объема карьерной

добычи доломитового месторождения. Таким образом, учет добычи полезных ископаемых возможен с использованием различных методов геодезических измерений. Каждый из методов имеет разные процессы подготовки, измерения и обработки полевых данных.

2. Установлено, что тахиметрический метод может использоваться в любых условиях, так как он не зависит от видимости GNSS или зоны покрытия GSM. Это делает его универсальным методом геодезических измерений. Метод GNSS требует «открытого горизонта» и хорошего покрытия GSM для успешного позиционирования. Дистанционное зондирование позволяет создать однородную модель поверхности, но зависит от климатических условий. Точность цифровой модели месторождения полезных ископаемых и поверхности карьера зависит от выбранного метода измерений.

3. Выявлено, что различия значений объемов полезных ископаемых между Virtual Survey и Bentley Microstation Powersurvey V8i не превышают 5 %. Полученные результаты исследования показывают, что при расчете объемов следует использовать оба пакета программ для достижения точности с использованием соответствующего технического оборудования и программного обеспечения для обработки данных.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Басаргин, А. А. Создание цифровых моделей месторождений полезных ископаемых с применением современных технологий / А. А. Басаргин // Вестник СГГА. – 2014. – Т. 1, № 25. – С. 34–40.
2. Басаргин, А. А. Методика создания трехмерных геологических моделей месторождений с использованием геоинформационной системы Micromine / А. А. Басаргин // Сборник материалов Международного научного конгресса «ГЕО-Сибирь-2015». Т. 1: Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия. – Новосибирск, 2015. – С. 15–20.
3. Урумов, В. А. 3D-модель и закономерности распределения полезных компонентов залежи Анненская жезказганского месторождения / В. А. Урумов, И. И. Босиков // Устойчивое развитие горных территорий. – 2015. – Т. 7, № 1. – С. 11–16.
4. Шульга, Е. С. Чем порадует 2018 год пользователей программы Micromine / Е. С. Шульга // Золото и технологии. – 2017. – № 4 (38). – С. 50–53.
5. Осипов, В. Л. Определение рудных интервалов при подсчете запасов в программе Micromine / В. Л. Осипов // Горные науки и технологии. – 2018. – № 2. – С. 23–31.
6. Шевкун, Е. Б. Короткая комбинированная забойка взрывных скважин высокой запирающей способности / Е. Б. Шевкун, А. В. Лещинский, А. А. Галимьянов // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2015. – № 4. – С. 331–336.
7. Свод Правил СП 47.13330.2012 Инженерные изыскания для строительства. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 11-02-96 [Электронный ресурс]. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200096789> (дата обращения: 14.06.2024).
8. Нурумухаметова, А. Т. 3-х мерное моделирование при подсчете объемов полезного ископаемого // Проблемы геологии и освоения недр: труды XXI Международного симпозиума имени академика М. А. Усова студентов и молодых ученых, посвященного 130-летию со дня рождения профессора М. И. Кучина. – Томск, 2017. – С. 582–583.
9. Исследование возможности 3D моделирования для маркшейдерского обеспечения ведения горных работ / О. Г. Бесимбаева, Е. Н. Хмырова, А. С. Бедарев, А. О. Даулетова // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2014. X Междунар. науч. конгр.: Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия»: сб. мат-лов в 2 т. (Новосибирск, 8–18 апреля 2014 г.). – Новосибирск: СГГА, 2014. – Т. 2. – С. 178–183.
10. Уорсли, Дж. PostgreSQL для профессионалов / Дж. Уорсли, Дж. Дрейф. – СПб.: Питер, 2003. – 496 с.
11. Дроздов, А. Ю. Решение задач сетевого анализа с применением PostgreSQL / PostGIS / А. Ю. Дроздов // Строительство и архитектура – 2015. Современные информационно-экономические технологии: тенденции и перспективы развития: мат-лы Межд. науч.-практ. конф. – Ростов н/Д.: Рост. гос. строит. ун-т, 2015. – С. 71–72.
12. Ермолаев, Н. Р. Использование программного обеспечения QGIS при подготовке картографических материалов / Н. Р. Ермолаев // Ломоносов-2018: тезисы докладов XXV Международной научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, Москва, 09–13 апреля 2018 года / Сост. Л. А. Поздняков. – М.: МАКС Пресс, 2018. – С. 250–251.
13. Пашковская, О. В. Анализ данных в геоинформационной системе QGIS / О. В. Пашковская, О. В. Новоселов, И. А. Потапенко // Решетневские чтения: материалы XXIV Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. памяти генерального конструктора ракетно-космических систем академика М. Ф. Решетнева (10–13 нояб. 2020, г. Красноярск): в 2 ч. – Красноярск, 2020. – Ч. 2. – С. 345–346.
14. Установка модулей расширения для QGIS [Электронный ресурс]. – URL: <http://gis-lab.info/qa/qgis-install-plugin.html> (дата обращения: 03.08.2023).
15. Хританькова, А. А. Сравнение возможностей программных средств ArcGis и QGIS для сетевого анализа в сфере транспортной логистики (на примере г. Минска) / А. А. Хританькова, Н. В. Ковальчик // ГИС-технологии в науках о Земле: мат-лы республ. науч.-практ. семинара студентов и молодых ученых. – Минск, 2020. – С. 9–13.

REFERENCES

1. Basargin A. A. Creation of digital models of mineral deposits using modern technologies. Bulletin of the SSGA. 2014;1(25):34-40 (In Russ.).
2. Basargin A. A. Methodology for creating three-dimensional geological models of deposits using the Micromine geographic information

system. Collection of materials international. Scientific Congr. "GEO-Siberia-2015". T. 1 "Geodesy, geoinformatics, cartography, surveying". Novosibirsk, 2015:15-20 (In Russ.).

3. *Urumov VA, Bosikov II.* 3D model and patterns of distribution of useful components of the Annenskaya deposit of the Zhezkazgan deposit. Sustainable development of mountain territories. 2015;7(1):11-16 (In Russ.).

4. *Shulga ES.* What will 2018 please users of the Micromine program. Gold and Technologies. 2017;4(38):50-53 (In Russ.).

5. *Osipov VL.* Determination of ore intervals when calculating reserves in the Micromine program. Mining Sciences and Technologies. 2018;2:23-31 (In Russ.).

6. *Shevkun EB, Leshchinsky AV, Galimyanov AA.* Short combined driving of blast holes with high locking ability. Mining information and analytical bulletin (scientific and technical journal). 2015;4:331-6 (In Russ.).

7. Code of Rules SP 47.13330.2012 Engineering surveys for construction. Basic provisions. Updated edition of SNiP 11-02-96. MINISTRY OF REGIONAL DEVELOPMENT OF THE RUSSIAN FEDERATION/M.: 2012. Available from: <https://docs.cntd.ru/document/1200096789> (In Russ.).

8. *Nurmukhametova A. T.* 3-dimensional modeling when calculating the volume of mineral resources. Problems of geology and subsoil development: proceedings of the XXI International Symposium named after Academician M. A. Usov of students and young scientists, dedicated to the 130th anniversary of his birth Professor M.I. Kuchin. Tomsk, 2017:582-3 (In Russ.).

9. *Besimbaeva OG, Khmyrova E N, Bedarev AS [et al.].* Study of the possibility of 3D modeling for surveying support for mining operation. Interexpo GEO-Siberia-2014. X International scientific Congr.: Int. scientific conf. "Geodesy, geoinformatics, cartography, surveying": collection. materials in 2 volumes (Novosibirsk, April 8-18, 2014). Novosibirsk, 2014:178-83 (In Russ.).

10. *Worsley J, Drake J.* PostgreSQL for professionals. St. Petersburg.: Piter, 2003 (In Russ.).

11. *Drozlov AYu.* Solving network analysis problems using PostgreSQL/PostGIS. "Construction and Architecture – 2015". Modern information and economic technologies: trends and development prospects. Materials of the International Scientific and Practical Conference. – Rostov on Don, 2015:71-2 (In Russ.).

12. *Ermolaev NR.* Using QGIS software in the preparation of cartographic materials / Lomonosov-2018: abstracts of the XXV International Scientific Conference of Students, Postgraduate Students and Young Scientists. – Moscow, 2018:250-1 (In Russ.).

13. *Pashkovskaya OV, Novoselov OV, Potapenko IA.* Data analysis in the geoinformation system QGIS / Reshetnev Readings: materials of the XXIV International. scientific-practical conf., dedicated in memory of the general designer of rocket and space systems, academician M. F. Reshetnev (November 10–13, 2020, Krasnoyarsk): at 2 o'clock - Siberian State University named after. M. F. Reshet-Neva. – Krasnoyarsk, 2020:345-6 (In Russ.).

14. Installing extension modules for QGIS. Available from: <http://gis-lab.info/qa/qgis-install-plugin.html> (In Russ.).

15. *Khritankova AA, Kovalchik NV.* Comparison of the capabilities of ArcGIS and QGIS software for network analysis in the field of transport logistics (using the example of Minsk). GIS technologies in Earth sciences: materials of the republican scientific and practical seminar of students and young scientists. Minsk, 2020:9-13 (In Russ.).

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ



Басаргин Андрей Александрович –
старший научный сотрудник № 3.1 лаборатории
геологоструктурного моделирования, ИПКОН
РАН, г. Москва, Россия,
e-mail: abaspirant@mail.ru

ABOUT THE AUTHOR

Andrey A. Basargin –
Senior Researcher No. 3.1 Laboratory of Geological-
Structural Modeling, Institute of Comprehensive
Exploitation of Mineral Resources of the Russian
Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation,
e-mail: abaspirant@mail.ru.

9 – 10 октября 2024

Москва, Россия

Рэдиссон Славянская



**20-Й ГОРНЫЙ ФОРУМ
И ВЫСТАВКА**

minexrussia.ru