



Научно-практическое образование
для профессионалов

№1 2023

РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

Альтенбах Х., д.т.н., профессор (Магдебург, Германия)
Васильев А.Н., д.т.н., профессор (Москва)
Васильев Ю.С., д.т.н., профессор, академик РАН (Санкт-Петербург)
Вейдоу Н., д.т.н., профессор, академик КАН (Пекин, Китай)
Елистратов В.В., д.т.н., профессор (Санкт-Петербург)
Коротеев А.А., д.т.н., профессор, академик РАН (Москва)
Крёнинг М., д.т.н., профессор (Саарбрюккен, Германия)
Окрепилов В.В., д.т.н., профессор, академик РАН (Санкт-Петербург)
Рогалев Н.Д., д.т.н., профессор (Москва)
Рудской А.И., д.т.н., профессор, академик РАН (Санкт-Петербург)
Сергеев В.В., д.т.н., профессор, чл.-корр. РАН (Санкт Петербург)
Стребков Д.С., д.т.н., профессор, академик РАН (Москва)
Тендлер М.Б., профессор, иностранный член РАН (Стокгольм, Швеция)
Турабджанов С. М., д.т.н., профессор (Ташкент, Узбекистан)
Федоров М.П., д.т.н., профессор, академик РАН (Санкт-Петербург)
Шаумбург Х., д.т.н., профессор (Гамбург, Германия)

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Амерханов Р.А., д.т.н., профессор (Краснодар)
Гортышов Ю.Ф., д.т.н., профессор, академик АН РТ (Казань)
Грибин В.Г., д.т.н., профессор (Москва)
Григораш О.В., д.т.н., профессор (Краснодар)
Грузков С.А., к.т.н., профессор (Москва)
Деревяшкин И.В., д.т.н., профессор (Москва)
Кирпичникова И.М., д.т.н., профессор (Челябинск)
Кузнецов С.Е., д.т.н., профессор (Санкт-Петербург)
Лунин В.П., д.т.н., профессор (Москва)
Павленко А.В., д.т.н., профессор (Новочеркасск)
Погребисский М.Я., к.т.н., доцент (Москва)
Сафонов Ю.М., к.т.н., профессор (Москва)
Серебрянников С.В., д.т.н., профессор (Москва)
Смирнов С.Е., д.т.н., профессор (Москва)
Таранов М.А., д.т.н., профессор, чл.-корр. РАН (Зерноград)
Трубилин Е.И., д.т.н., профессор (Краснодар)
Туричин Г.А., д.т.н., профессор (Санкт-Петербург)
Тягунов М.Г., д.т.н., профессор (Москва)
Харченко В.В., д.т.н., профессор (Москва)
Шевырев Ю.В., д.т.н., профессор (Москва)
Щербаков А.В., д.т.н., профессор (Москва)

Учредитель и издатель
ООО «Оппонент»



Редакция журнала
«Технический оппонент»

Главный редактор
Н.Д. Рогалев, д.т.н., профессор

Технический редактор
А.А. Краснова

Редактор-корректор
М.В. Соколова

Дизайн и верстка
С.М. Ветров

Учредитель и издатель
ООО «Оппонент»

**Генеральный директор /
главный редактор издательства**
С.В. Камзолова



Адрес редакции
109028, Москва,

ул. Земляной Вал, 50а, стр. 4.
Тел./факс: +7(495) 663-39-00.
Сайт: <http://www.proffopponent.ru>.
E-mail: proffopponent@mail.ru.

Подписка
E-mail: recopponent@mail.ru,
+7 (495) 663-39-00.

Журнал «Технический оппонент»

Научно-практическое образование для профессионалов, выходит 4 раза в год, освещает весь спектр актуальных проблем в сфере техники и современных технологий, а также тенденций в развитии технических наук. Журнал является профессиональным изданием для инженеров.

Журнал зарегистрирован в Федеральной службе по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор). Свидетельство о регистрации средства массовой информации

ПИ № ФС77-72415 от 28.02.2018.

Журнал включен в Российский индекс научного цитирования (РИНЦ).

ISSN: 2658-3801. ISSN online: 2713-0444.

Журнал является научным изданием для инженеров, поэтому на него не распространяются требования Федерального закона от 29.12.2010 № 436-ФЗ «О защите детей от информации, причиняющей вред их здоровью и развитию».

При перепечатке материалов ссылка на журнал «Технический оппонент» обязательна.

Полное или частичное воспроизведение материалов, опубликованных в журнале, допускается только с письменного разрешения ООО «Оппонент».

Ответственность за содержание рекламных материалов несут рекламодатели.

Ответственность за достоверность приведенных сведений, наличие данных, не подлежащих открытой публикации, и точность информации по цитируемой литературе несут авторы.

Позиция редакции может не совпадать с мнением автора. Материалы, переданные в редакцию, не возвращаются.

Требования к оформлению статей размещены на сайте www.proffopponent.ru.

Журнал включен с 2018 года в Российский индекс научного цитирования.

Все права защищены. 2023 г.
Дата выхода журнала — февраль — март 2023 г.
Тираж — 35 000 экз.

© ООО «Оппонент», 2023



Chief Editor

N.D. Rogalev, DScTech, Professor

Technical Editor

A.A. Krasnova

Editor-Proofreader

M.V. Sokolova

Design and Layout

S.M. Vetrov

Publishing House

000 «Opponent»

**CEO / Editor-in-Chief
of the publishing house**

S.V. Kamzolova



Editorial Office

109028, Zemlianoi Val st., 50a, b. 4, Moscow.

Tel./fax: +7 (495) 663-39-00.

Website: <http://www.proffopponent.ru>.

E-mail: proffopponent@mail.ru.

Subscribe

E-mail: recoffopponent@mail.ru,
+7 (495) 663-39-00.

The Magazine «Technical opponent» — is a scientific and practical education for professionals issuing 4 times a year. It covers a variety of current issues in the field of engineering and modern technologies, as well as up trends in technical sciences. The magazine is a professional publication for engineers.

The magazine is registered with the Federal Service for Supervision of Communications, Information, Technology and Mass Media (Roskomnadzor).

This journal is included in Russian Science Citation Index (RSCI).

ISSN print: 2658-3801.

ISSN online: 2713-0444.

Series PI No. FS77-72415, February 28, 2018.

The journal is a scientific publication for engineers, so it is not subject to the requirements Federal Law № 436-F3 of 29.12.2010 «On the protection of children from information that harms their health and development».

The point of view of the authors may not coincide with the opinion of the editorial board. No part of this issue may be reproduced without written permission of the 000 «Opponent».

At a reprint of materials the link on journal «Technical Opponent» is mandatory.

Advertisers are responsible for the content of advertisements.

Authors are responsible for reliable information, for the availability of data are not subject to open publication, and accuracy of information on the cited literature. The editorial standpoint may not correspond with authors' opinions. All incoming manuscripts are subject to review.

Editors do not correspond with authors, whose articles are considered unsuitable for the publication. Materials sent to the editor will not be returned.

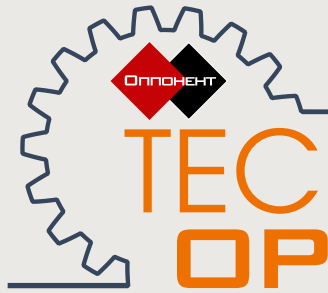
In the Russian Science Citation Index since 2018.

All rights reserved. 2023.

Date of Issue — February — March 2023.

Printing — 35 000 copies.

© 000 «Opponent», 2023



Scientific and Practical Education
for Professionals

TECHNICAL OPPONENT

№ 1 2023

EDITORIAL BOARD

- Altenbach H.**, DScTech, professor (Magdeburg, Germany)
Vasiliev A.N., DScTech, professor (Moscow)
Vasiliev Yu.S., DScTech, professor, Acad. RAS (St. Petersburg)
Elistratov V.V., DScTech, professor (St. Petersburg)
Koroteev A.A., DScTech, professor, Acad. RAS (Moscow)
Krönig M., DScTech, professor (Saarbrücken, Germany)
Okrepilov V.V., DScTech, professor, Acad. RAS (St. Petersburg)
Rogalev N.D., DScTech, professor (Moscow)
Rudskoy A.I., DScTech, professor, Acad. RAS (St. Petersburg)
Sergeev V.V. DScTech, professor, corr. member RAS (St. Petersburg)
Strebkov D.S., DScTech, professor, Acad. RAS (Moscow)
Tendler M.B., DScTech, professor, for. member RAS (Stockholm, Sweden)
Turabdzhanov S.M., DScTech, professor (Tashkent, Uzbekistan)
Fedorov M.P., DScTech, professor, Acad. RAS (St. Petersburg)
Schaumburg H., DScTech, professor (Hamburg, Germany)
Weidou N., DScTech, professor, Acad. CAE (Pekin, China)








EDITORIAL COUNCIL

- Amerkhanov R.A.**, DScTech, professor (Krasnodar)
Gortyshov Yu.F., DScTech, professor, Acad. AS RT (Kazan)
Gribin V.G., DScTech, professor (Moscow)
Grigorash O.V., DScTech, professor (Krasnodar)
Gruzkov S.A., DscTech, professor (Moscow)
Derevyashkin I.V., DScTech, professor (Moscow)
Kirpichnikova I.M., DScTech, professor (Chelyabinsk)
Kuznetsov S.E., DScTech, professor (St. Petersburg)
Lunin V.P., DScTech, professor (Moscow)
Pavlenko A.V., DScTech, professor (Novocherkassk)
Pogrebissky M.Ya., DscTech, professor (Moscow)
Safonov Yu.M., DscTech, professor (Moscow)
Serebryannikov S.V., DScTech, professor (Moscow)
Smirnov S.E., DScTech, professor (Moscow)
Taranov M.A., DScTech, professor, corr. member RAS (Zernograd)
Trubilin E.I., DScTech, professor (Krasnodar)
Turichin G.A., DScTech, professor (St. Petersburg)
Tyagunov M.G., DScTech, professor (Moscow)
Kharchenko V.V., DScTech, professor (Moscow)
Shevyrev Yu.V., DScTech, professor (Moscow)
Shcherbakov A.V., DScTech, professor (Moscow)

СОДЕРЖАНИЕ

5		ОТ РЕДАКЦИИ Слово главного редактора номера Н.Д. Рогалев
6–9		ГЛАВНЫЙ ОППОНЕНТ Инженеры для страны А.А. Кожухов, С.В. Камзолова
10–15		ПЕРСПЕКТИВА Подготовка специалистов горнодобывающей отрасли в условиях цифровизации инженерной деятельности Г.М. Тарасенко, Е.А. Чуева
16–19		К вопросу об изменении рельефа местности при расчетах негативного воздействия на окружающую среду А.А. Лунегова, А.В. Болотин, А.С. Арская
20–25		СОВРЕМЕННОЕ ПРОИЗВОДСТВО Анализ конструкции буровых станков типа СБШ и требования, предъявляемые к их равнопрочности И.А. Сайдаминов
26–33		Автоматизированная система управления загрузкой мельницы вывода гали и скрапа обогатительной фабрики «Лебединский ГОК» на основе измерения вибрации подшипников М.Е. Тараненко
34–37		Динамические методы оценки риска на производстве А.А. Лунегова, А.В. Болотин, Е.В. Пахомова
38–44		ТЕХНИЧЕСКИЙ ВЫБОР Эффективность взрывного разупрочнения железистых кварцитов при отбойке в карьере Лебединского ГОКа и дальнейшей переработке Д.В. Ермолаев, Н.Д. Королев
45–48		Особенности эксплуатации карьерных горных машин в условиях жаркого климата И.А. Сайдаминов
49–52		Оптимизация измельчительной способности мельницы Novorotor при диспергации природного мела О.Ф. Лебедев, В.О. Мочалова
53–57		АКТУАЛЬНЫЙ ВОПРОС Геохимические особенности техногенного загрязнения почв и растительного покрова территории КМА Т.А. Левина, Д.В. Ермолаев, Т.Ю. Серпуховитина
58–63		Мониторинг состояния недр и пожарная безопасность Щелковского подземного хранилища газа В.П. Спиридонов, И.Н. Ширяева, О.Ю. Маламут
64–68		ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИИ Повышение ресурса ковша экскаватора ЭКГ-10 Е.П. Терехин, А.О. Кириллов
69–72		Модернизация оборудования и создание графического изображения для обработки колес железнодорожного транспорта горных предприятий А.Н. Блудов
73–80		Исследование глубины залегания ¹³⁷ Cs и влагоемкости торфа В.В. Жучков, В.П. Спиридонов, А.А. Копылов

CONTENTS

5		EDITORIAL Introductory remarks N.D. Rogalev
6–9		MAIN OPPONENT Engineers for the country A.A. Kozhukhov, S.V. Kamzolova
10–15		PERSPECTIVE Training specialists of mining industry in the conditions of digitalization engineering activities G.M. Tarasenko, E.A. Chueva
16–19		On the issue of changing the terrain when calculating the negative impact on the environment A.A. Lunegova, A.V. Bolotin, A.S. Arskaya
20–25		MODERN PRODUCTION Analysis of the design of drilling rigs of the sbs type and the requirements for their equal strength I.A. Saidaminov
26–33		Automated control system for loading the gali and scrap output mill of the Lebedinsky GOK processing plant based on vibration measurement of bearings M.E. Taranenko
34–37		Dynamic methods of risk assessment in production A.A. Lunegova, A.V. Bolotin, E.V. Pahomova
38–44		TECHNICAL CHOICE The effectiveness of explosive softening of ferruginous quartzites during breaking in the Lebedinsky GOK quarry and further processing D.V. Ermolaev, N.D. Korolev
45–48		Features of operation of quarry mining machines in a hot climate I.A. Saidaminov
49–52		Optimization of the grinding capacity of the novorotor mill during the dispersion of natural chalk O.F. Lebedev, V.O. Mochalova
53–57		HIGHLIGHT Geochemical features of technogenic pollution of soils and vegetation cover of the territory of the kma T.A. Levina, D.V. Ermolaev, T.Y. Serpukhovitina
58–63		Monitoring of the state of the subsoil and fire safety of the Shchelkovsky underground gas storage V.P. Spiridonov, I.N. Shiryayeva, O.Yu. Malamut
64–68		TECHNIC AND TECHNOLOGY Bucket resource increase of the EKG-10 excavator E.P. Terekhin, A.O. Kirillov
69–72		Modernization of equipment and creation of a graphic image for the processing of wheels of railway transport of mining enterprises A.N. Bludov
73–80		Investigation of the depth of occurrence of ¹³⁷Cs and the moisture capacity of peat V.V. Zhuchkov, V.P. Spiridonov, A.A. Kopylov



Уважаемые коллеги!

Сегодня как никогда остро стоит вопрос о подготовке инженеров. Есть в нашей стране вузы, где ставят целью воспитывать инженерные кадры с учетом цифровизации отрасли, сочетая науку и практику. Национальный исследовательский технологический университет (НИТУ) «МИСИС» занимается подготовкой специалистов горного дела без отрыва от производства. Таким кластером научно-практической работы является его Губкинский филиал, который отметил в 2022 году пятилетний юбилей. Об этом, о непростой работе и интересной учебе рассказал в интервью директор Губкинского филиала НИТУ «МИСИС» доктор технических наук Алексей Александрович Кожухов.

Специалисты кафедры совместно с инженерами представили в сегодняшнем номере статьи, посвященные решению важных проблем горнорудного производства: уменьшению производительности мельниц самоизмельчения, при котором убытки могут составить около 0,5 млрд рублей в год; нехватке квалификации персонала для корректного изготовления сложных поверхностей; внеплановым ремонтам и неисправности силовых установок; высокой энергоемкости гидравлического воздействия породоразрушающих машин; техногенному загрязнению почв и растительного покрова. Об этом, а также о новейших разработках в выполнении поставленных задач расскажут наши авторы.

Предлагаемые в статьях методики позволят повысить производительность, сократить расходы электроэнергии и комплектующих, снизить время аварийных простоев и улучшить качество любого производства.

Желаю вам, читатели журнала «Технический оппонент», всегда находить решение любой задачи!

Главный редактор профессор Николай Дмитриевич Рогалев

Инженеры для страны

Интервью с Алексеем Александровичем Кожуховым, директором Губкинского филиала Национального исследовательского технологического университета «МИСИС», доктором технических наук, ведущим российским инженером.

А.А. Кожухов родился 19 августа 1976 года в городе Алуште (Крым). В 1998-м окончил Московский институт стали и сплавов. В 2001 году, после аспирантуры, при кафедре теплофизики, автоматизации и экологии промышленных печей защитил кандидатскую диссертацию по теме «Исследование процессов пылеосаждения над зоной продувки и оптимизация дутьевого режима конвертерной плавки». В 2016 году А.А. Кожухову присвоена степень доктора технических наук (тема «Развитие научных основ вспенивания сталеплавильных шлаков с целью повышения энерготехнологических показателей производства стали в дуговых сталеплавильных печах»).

Всю трудовую деятельность Алексей Александрович посвятил институту: работал ассистентом на кафедре металлургической теплотехники, старшим преподавателем, доцентом. В 2012 году А.А. Кожухов стал заведующим кафедрой, в 2015-м — деканом горного факультета Старооскольского технологического института имени А.А. Угарова, филиала НИТУ «МИСИС». Сегодня Алексей Александрович — директор Губкинского филиала НИТУ «МИСИС».

Авторству А.А. Кожухова принадлежат более 160 публикаций, патенты на изобретение дуговой печи для выплавки стали с использованием металлизированных окатышей, способы пылеосаждения над зоной продувки в конвертере, выплавки стали в электрических печах, изготовления колосников обжиговых тележек с повышенным эксплуатационным ресурсом и др.

Алексей Александрович — лауреат ордена «За заслуги в науке о металлах» НИТУ «МИСИС», межотраслевого знака «Горняцкая слава» III степени. Награжден почетными грамотами Министерства образования и науки за многолетнюю плодотворную работу по развитию и совершенствованию учебного процесса, значительный вклад в дело подготовки высококвалифицированных специалистов, главы администрации Старооскольского городского округа за многолетний добросовестный труд, заслуги в подготовке высококвалифицированных кадров, воспитании подрастающего поколения, Департамента образования, культуры и молодежной политики Белгородской области за подготовку победителя приоритетного национального проекта «Образование» по направлению «Государственная поддержка талантливой молодежи в возрасте от 14 до 25 лет» и плодотворный труд, Управления образования Старооскольского городского округа за многолетний творческий труд в сфере высшего профессионального образования, высокие показатели в работе, большой личный вклад в подготовку инженерных кадров для предприятий города и региона, НИТУ «МИСИС» за добросовестный и творческий труд в сфере образования, неизменно качественное исполнение должностных обязанностей, высокие показатели в работе. Имеет благодарность главы администрации Старооскольского городского округа за многолетний педагогический труд и большой вклад в развитие системы образования.

Беседовала главный редактор журнала «Технический оппонент». С.В. Камзолова

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Кожухов А.А., Камзолова С.В. Инженеры для страны. *Технический оппонент*. 2023; 1 (9): 6–9.

Engineers for the Country

An interview with Alexey Aleksandrovich Kozhukhov, Director of the Gubkin branch of the National University of Science and Technology MISIS, Doctor of Technical Sciences, and a leading Russian Engineer.

A.A. Kozhukhov was born on August 19, 1976 in Alushta, Crimea. In 1998 he graduated from the Moscow Institute of Steel and Alloys with a degree in Thermophysics, Automation, and Ecology of Industrial Furnaces. In 2001 after postgraduate study at the department “Thermophysics, automation and ecology of industrial furnaces” he defended his PhD thesis on “Investigation of dust settling processes over the blasting zone and optimization of blowing mode of converter melting”. In 2016 A.A. Kozhukhov was awarded the academic degree of Doctor of Engineering, and the subject of his dissertation was: “Development of scientific foundations of steelmaking slag foaming in order to improve energy and technological parameters of steel production in steelmaking arc furnaces”. A.A. Kozhukhov devoted his entire professional activity to the institute: he worked as an assistant at the department of metallurgical heat engineering from 2001 to 2002, a senior lecturer from 2002 to 2003, an associate professor from 2003 to 2012. In 2012 A.A. Kozhukhov became Head of the Department and in 2015 — Dean of the Mining Department at the A.A. Ugarov Sary Oskol Technological Institute, branch of the National University of Science and Technology MISIS. Today Alexey Aleksandrovich Kozhukhov is the Director of Gubkin branch of MISIS.

A.A. Kozhukhov is the author of more than 160 publications, a patent for the invention of arc furnace for steelmaking using metallized pellets, as well as patents for methods of dust settling above the blowing zone in the converter, steel melting in electric furnaces, a method of manufacturing of grid-irons of pallet cars with increased service life, etc.

Interviewed by the editor-in-chief of the journal «Technical Opponent» S.V. Kamzolova

FOR CITATION: Kozhukhov A.A., Kamzolova S.V. Engineers for the country. *Technical opponent*. 2023; 1(9): 6–9.



— **Алексей Александрович, почему Вы решили стать инженером?**

— Мой отец — инженер, с ним мне было всегда интересно, я всегда хотел изучить все то, что знает он. В школьные годы я прекрасно понимал математику и физику. Поэтому поступил в Старооскольский филиал НИТУ «МИСИС» и учился по специальности «теплофизика, автоматизация и экология промышленных печей». Технические науки давались мне легко. По этой причине заведующий кафедрой теплофизики и теплотехники металлургического производства отправил меня в аспирантуру. Всю свою трудовую деятельность я посвятил НИТУ «МИСИС»: сначала был ассистентом, потом — старшим преподавателем, доцентом. В 2008 году кафедру, на которой я работал, переименовали в кафедру металлургии и металловедения имени С.П. Угаровой.

— **Кто для Вас был авторитетом в жизни?**

— Мои самые главные учителя — родители. Я всегда на них равнялся. Всю жизнь у меня перед глазами был пример трудолюбия и любви к Родине. Родители вдохновлялись своей работой, это стало их призванием. Из моих учителей на меня сильно повлиял Эдуард Эдгарович Меркер, заведующий кафедрой теплофизики и теплотехники металлургического производства, академик Международной академии наук экологии, безопасности человека и природы, ученый, лауреат ордена и диплома «За заслуги в науке о металлах». Именно он заложил основу моего стремления к научной деятельности. В аспирантуру я поступил осознанно, но всегда планировал уйти на производство. Однако из-за моих успехов в науке Эдуард Эдгарович не отпустил. И он никогда об этом не жалел. Вложив весь свой талант педагога и ученого, Э.Э. Меркер подготовил меня к заведованию кафедрой. В 2012 году я стал заведующим, сменив его на этой ответственной должности.

— **Как создавался Губкинский филиал?**

— Лебединский ГОК и администрация Губкинского городского округа обратились к ректору Алевтине Анатольевне Черниковой с предложением создать филиала в городе Губкине. Тогда планировали открыть горный факультет СТИ НИТУ «МИСИС». Но возникли определенные юридические сложности, поэтому был создан филиал, директором которого я сейчас являюсь. Мы занимаемся подготовкой специалистов в области горного дела сразу для нескольких комбинатов: Лебединского, АО «КМАруда», Стойленского, Яковлевского и Михайловского. В нашем филиале реализуется обучение по двум направлениям подготовки: это техносферная безопасность и горное дело в рамках семи специализаций. У нас есть программы дополнительного образования для детей и взрослых, профессиональной переподготовки и повышения квалификации. В прошлом году филиал отметил свой 5-летний юбилей.

— **Какой формат предусматривает обучение в Губкинском филиале НИТУ «МИСИС»?**

— Чтобы подготовить специалистов в области горного дела и техносферной безопасности, нуж-

ны серьезные подходы. В нашем филиале ведется практико-ориентированная подготовка. Это связано в первую очередь с тем, что он находится на территории Курской магнитной аномалии. И здесь вся подготовка происходит непосредственно на производстве. Кроме того, студенты вместе с профессорско-преподавательским составом участвуют в выполнении научно-исследовательских работ для наших горнодобывающих предприятий. Все это позволяет нам готовить специалистов с уникальными компетенциями.

— **Приезжают ли учиться студенты из других городов и стран?**

— Конечно. Наш филиал договаривается о сотрудничестве с комбинатами и проводит подготовительную работу, чтобы учащиеся получали опыт и глубже осваивали все современные методики. На учебу приезжают студенты из Кемерово, Бурятии, а также из Узбекистана, Таджикистана. И мы планируем расширять географию приема. Сегодня есть большая востребованность в таких кадрах у страны. В 2022 году контрольные цифры приема по специальности «горное дело» — 39, в 2023-м — уже 60. В настоящее время в Губкинском филиале обучаются 747 студентов (по очной и заочной формам). В перспективе мы планируем увеличивать количество мест, открывать новые направления подготовки и специальности.

— **Назовите предприятия, которыми знаменит город Губкин?**

— У нас работают два крупнейших горно-обогатительных комбината. Самый большой в Европе — Лебединский ГОК; самый первый, который был организован при освоении Курской магнитной аномалии, — АО «КМАруда». В Губкинском филиале реализуется совместная с Лебединским ГОКом программа: сотрудники комбината читают лекции о развитии бизнес-системы, рассказывают студентам, кем те могут стать после окончания учебы, чем будут заниматься, а также о том, какие направления развития у горной промышленности. При поддержке промышленных предприятий и головного университета мы создали современную лабораторию обогащения полезных ископаемых. Это уникальный пример научно-практического сотрудничества. Для студентов есть все: практика на месте, лаборатория, будущая работа, опыт, который передают представители комбината. Перспективы у будущих работников хорошие. Приоритет при трудоустройстве дается выпускникам нашего филиала. Горные предприятия ценят хорошую подготовку, даже конкурируют за выпускников. Стойленский и Лебединский ГОКи выделяют именные стипендии, их можно получать с первого курса.

— **Любой студент может получить такую стипендию?**

— Получение стипендии зависит от результатов обучения. Выбирают студентов по среднему баллу. Есть программы в рамках регионального и местного бюджетов. Например, речь о стипендиях

губернатора Белгородской области и администрации Губкинского городского округа. Конечно, это прибавляется к государственной академической выплате. Некоторые учащиеся получают одновременно несколько стипендий. Общая их сумма может превышать 30 тысяч рублей. У студентов есть возможность проявить себя в разных направлениях, в том числе в вокале, танцах, науке, волонтерстве. Сильны спортивные традиции: в 2022 году команда университета заняла второе место по легкой атлетике в городской универсиаде среди образовательных учреждений, наши обучающиеся стали победителями и призерами общегородских соревнований по кроссу (пять первых мест, два вторых и три третьих).

— **Вы отслеживаете пути выпускников Вашего вуза?**

— Обязательно. У нас еще достаточно молодой филиал, однако есть повод гордиться нашими выпускниками: они занимают достойное место в обществе. Многие из них уже добились первых успехов в карьерном росте. Так, Александр Кривошеев работает в ООО «Рудстрой» и является депутатом Совета депутатов Губкинского городского округа. Михаил Попов — главный специалист дирекции по ТОиР на Лебединском ГОКе. Наши выпускники из Узбекистана занимают высокие посты на Алмалыкском горно-металлургическом комбинате: являются мастерами, руководителями подразделений. Что особенно радует, все ребята — патриоты, они остаются в стране и работают на наших предприятиях. Инженеры для России — это сейчас самая нужная специальность.

— **Что нужно сделать, чтобы стать хорошим инженером?**

— Чтобы стать хорошим инженером, нужно выбрать правильный вуз и высококвалифицированных преподавателей. Я рад, что когда-то сделал правильный выбор: поступил в НИТУ «МИСИС» и учился у выдающихся ученых. В Губкинском филиале работают преподаватели, которые любят свое дело, вкладывают в студентов знания, умеют заинтересовать. Это, например, Максим Евгеньевич Тараненко, кандидат технических наук, лауреат Всероссийского конкурса «Инженер года» и премии имени А.А. Угарова. Анатолий Александрович Быков — старший преподаватель, до 2007 года — начальник службы релейной защиты на Лебединском ГОКе, где проработал более 30 лет. Благодаря таланту наших прекрасных преподавателей и опытных инженеров студенты Губкинского филиала НИТУ «МИСИС» добиваются соответствующих высот.

— **Нужна ли инженеру аспирантура? Или достаточно хорошей практики на производстве?**

— Безусловно, необходимо стимулировать развитие науки. Но инженер в первую очередь — практический специалист. Самое главное место для развития его навыков — производство. А если у инженера есть интерес к исследовательской деятельности, это сделает его работу увлекательнее и проще. Именно

на предприятии выковывается характер настоящего руководителя.

— **Какие качества важны для руководителя?**

— Первое и самое главное — любовь к своей работе. Второе — надо любить своих сотрудников, заботиться о них, тогда они будут увлечены тем, чем занимаются. Нужны сила воли и определенная жесткость, но с последней нельзя перебарщивать.

— **Расскажите о Вашем распорядке дня.**

— Я встаю около пяти утра, а с работы выхожу обычно в восемь вечера. Рабочий день всегда очень интенсивный. В свободное время читаю книги, в основном профессиональную литературу.

— **Чем увлекаетесь сейчас?**

— Меня увлекает разработка новых марок стали. Это очень перспективная тема, несмотря на то что сейчас создают множество различных композиционных материалов. Уникальность стали в том, что ее можно перерабатывать и улучшать. А вот композиты уже не переработать. Сталь можно расплавить, получить из нее практически новую продукцию, это хорошо и для экологии. Задумывались ли Вы, почему сейчас не хватает металлолома? Объемы производства металла растут, а отходов мало потому, что его научились переплавлять. Процессы сбора металлолома уже давно налажены.

— **Какие сегодня перспективные направления в металлургии и горном деле?**

— На сегодняшний день самыми перспективными направлениями в этой сфере являются решения в области энерго- и ресурсосбережения, охрана окружающей среды и автоматизация технологических процессов (Industry 4.0). В рамках подготовки специалистов для решения таких задач у нас в филиале была открыта новая специализация — «горно-геологические информационные системы». После окончания обучения у выпускников будут все необходимые компетенции для работы с технологиями дополненной реальности и системами автоматизации MES, ERP, которые сейчас внедряются в компаниях холдинга «Металлоинвест».

— **Чего бы Вы пожелали будущим инженерам?**

— Я желаю не останавливаться на достигнутом — это самое главное. Кому-то кажется, что все технологии на производстве уже разработаны — уже нечего изобретать, но всегда есть то, что можно и нужно усовершенствовать. Поэтому всем, кто посвятил себя горному делу, я советую дальше двигаться вперед. Желаю обязательно повышать свой профессиональный уровень, читая такие высокопрофессиональные журналы, как «Технический оппонент», который всегда позволяет быть инженерам в курсе всех новых тенденций и направлений мировой инженерии. Мы поддерживаем редакцию журнала «Технический оппонент» в стремлении повышать значимость национальной науки. Здоровья и развития горно-металлургической отрасли!



УДК 622.012
UDC 622.012

Подготовка специалистов горнодобывающей отрасли в условиях цифровизации инженерной деятельности



Training Specialists of Mining Industry in the Conditions of Digitalization Engineering Activities

АВТОРЫ

Г.М. Тарасенко, к.социол.н., доцент,
Е.А. Чуева

Губкинский филиал Национального исследовательского технологического университета «МИСИС», г. Губкин, Россия

AUTHORS

G.M. Tarasenko,
E.A. Chueva

Gubkin branch of the National Research Technological University «MISIS», Gubkin, Russia

РЕЗЮМЕ

SUMMARY

В статье указаны особенности подготовки и формирования цифровых компетенций у горных инженеров в условиях тотальной цифровизации инженерной деятельности. Рассмотрены вопросы применения в образовательном процессе горно-геологических информационных систем, приведены примеры программных комплексов для решения задач планирования горных работ и моделирования месторождений.

The article discusses the features of training and formation of digital competencies among mining engineers in the conditions of total digitalization of engineering activities. The issues of application of mining and geological information systems in the educational process are considered, examples of software complexes for solving problems of mining planning and field modeling are given.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

KEYWORDS

ЦИФРОВЫЕ КОМПЕТЕНЦИИ, ЦИФРОВИЗАЦИЯ, ГЕОИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА, ГОРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА, ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

DIGITAL COMPETENCIES, DIGITALIZATION, GEOINFORMATION SYSTEM, MINING AND GEOLOGICAL INFORMATION SYSTEM, GEOLOGICAL MODELING

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ

FOR CITATION

Тарасенко Г.М., Чуева Е.А. Подготовка специалистов горнодобывающей отрасли в условиях цифровизации инженерной деятельности. *Технический оппонент*. 2023; 1 (9): 10–15.

Tarasenko G.M., Chueva E.A. Training specialists of mining industry in the conditions of digitalization engineering activities. *Technicheskiy opponent = Technical Opponent*. 2023; 1 (9): 10–15.

Введение

Под влиянием научно-технического прогресса современное состояние развития общества привело к принципиальному изменению роли человека в производственном процессе и определению его в качестве решающего фактора самого производства. Появление новых информационных технологий, цифровизация всех производственных сфер, постоянно растущий поток информации способствуют созданию новых условий формирования личности в профессиональном сообществе [1].

Нынешнее производство предъявляет высокие требования к работникам инженерной отрасли и системе их подготовки, переподготовки и повышения квалификации в условиях рыночных отношений. Современный специалист сегодня должен обладать стратегическим системным мышлением, мобильностью, готовностью к изменениям, предприимчи-

востью, высоким уровнем интеллекта, эрудиции и корпоративной культуры, что обуславливает формирование цифровых компетенций.

Цифровая грамотность и цифровые компетенции

Успешная работа горнодобывающих предприятий зависит от специалистов с новыми цифровыми навыками (анализ данных и определение их ценности, цифровая грамотность и т. д.).

Цифровая грамотность (digital fluency) определяется набором знаний и умений, которые необходимы для безопасного и эффективного использования цифровых технологий и ресурсов интернета.

Цифровые компетенции (digital competencies) — это комплекс знаний, относящихся к работе в цифровой среде и с цифровыми инструментами, включая

ТАБЛИЦА 1 Требования к специалистам в горнодобывающей отрасли в условиях цифровизации

TABLE 1 Requirements for mining professionals in the context of digitalization

Ближняя перспектива Short-term perspective	Дальняя перспектива Long-term perspective
Адаптивность Adaptability Критическое мышление Critical thinking Предприимчивость Entrepreneurial spirit Устойчивость Resilience Лидерские качества Leadership skills Эмоциональный интеллект Emotional intelligence	Критическое осмысление своей профессии Critical evaluation of the profession Обучение на протяжении всей жизни Lifelong learning Отслеживание изменений в отрасли Tracking changes in the industry Формирование картины мира Building the world view Умение работать с данными Ability to work with data Готовность начать с чистого листа Willingness to start with a clean slate

активность по созданию и сбору данных, их обработке и анализу, а также по автоматизации процессов с помощью компьютерных технологий.

К цифровым компетенциям относятся:

- способность решать разнообразные задачи с применением информационно-коммуникационных технологий (ИКТ);

- умение использовать и создавать контент с помощью цифровых технологий, включая поиск и обмен информацией, ответы на вопросы, взаимодействие с другими людьми с использованием цифровых инструментов;

- компьютерное программирование с применением к определенной сфере.

Цифровизация в горнодобывающей отрасли подразумевает использование ИТ-технологий и цифровых инструментов, ориентированных на повышение производительности труда, а также на надежность, достоверность и качество получаемых данных.

20 января 2020 года в России вышел приказ Министерства экономического развития РФ № 41 «Об утверждении методик расчета показателей федерального проекта «Кадры для цифровой экономики» национальной программы «Цифровая экономика Российской Федерации»» [2], где были изложены основные компетенции современного специалиста.

Для молодого работника в условиях тотальной цифровизации инженерной области деятельности одной из основных компетенций выступает критическое мышление в цифровой среде. Это способность проводить оценку информации, ее достоверности, делать логические выводы на основании полученных данных.

Для добывающей отрасли данная компетенция, с одной стороны, подразумевает умение использовать цифровые технологии в рамках деловой переписки, общения с членами команды при выполнении проектов. С другой — непосредственно способность к командной деятельности при проектной работе в добывающей сфере, которая имеет свои особенности.

Минерально-сырьевой комплекс объединяет большое количество направлений и областей, соответственно, при реализации проекта формируется команда, состоящая из десятков специалистов, готовых решать вопросы проектирования и планирования горных предприятий, обогащения полезных ископаемых, маркшейдерского и геологического обеспечения и др.

По сути, каждая приведенная компетенция может иметь общую и специализированную составляющую, что отражается в соответствующих образовательных результатах: знаниях, умениях и приобретенных навыках. Кроме того, на всех стадиях жизненного цикла добывающего предприятия специалисту необходимо работать со значительными объемами информации, которая в подавляющем большинстве случаев получена другими членами команды. Так как обработка геоданных во многих случаях — процесс крайне субъективный (например, оконтуривание, выбор ряда технологических показателей), то современному горному инженеру требуется наличие культуры работы со сведениями, включающей в первую очередь ответственность и способность правильно декомпозировать поставленную задачу на этапе. Это необходимо для своевременного представления результатов остальных членов команды.

Новые технологические вызовы предъявляют новые требования к специалистам, к их профессиональным качествам и компетенциям (табл. 1).

В горнодобывающей отрасли в процессе цифровой трансформации уже внедрено и продолжает активно развиваться использование компьютерного моделирования геологических объектов на основе результатов геолого-разведочных работ для подсчета запасов и планирования их отработки; САД-систем для выполнения чертежей на горных предприятиях; системы сбора, хранения, анализа и графической визуализации пространственных (географических) данных и связанной с ними информации о необходимых объектах.



Горно-геологические информационные системы

На горнодобывающих предприятиях наибольшее распространение получили так называемые горно-геологические информационные системы (ГГИС), которые в общем и в целом можно считать частным случаем геоинформационных систем (ГИС). Они представляют собой схемы сбора, хранения, анализа и графической визуализации пространственных данных и связанной с ними информации об изучаемых объектах.

ГИС — система сбора, хранения, анализа и графической визуализации пространственных (географических) данных и связанной с ними информации о необходимых объектах. В последние годы пространственные сведения все чаще называют геоданными.

В плане используемого функционала одной из самых главных отличительных характеристик горно-геологических информационных систем от ГИС является тот факт, что первые изначально нацелены на работу с трехмерными объектами. Это обусловлено тем, что месторождения обладают высокой степенью изменчивости во всех трех направлениях. Причем рудные тела имеют сложную форму, которую не просто представить на карте в виде изолиний или набора планов и разрезов. Отсюда вытекает одна из основных задач современных ГГИС — это геометрическое моделирование месторождений. То есть представление формы рудных тел и их положения в пространстве. Несмотря на то что данная задача выглядит достаточно тривиальной, она остается одной из самых трудоемких на стадии построения моделей месторождений полезных ископаемых.

Горно-геологические информационные системы — это программные решения, которые охватывают целый комплекс вопросов, связанных с моделированием месторождений, проектированием и планированием горных работ. На мировом рынке программного обеспечения представлен ряд ГГИС, позволяющих автоматизировать большинство горно-геологических задач. В целом они имеют схожие принципы работы и функциональные модули, помогающие обрабатывать и интерпретировать геолого-технологические данные.

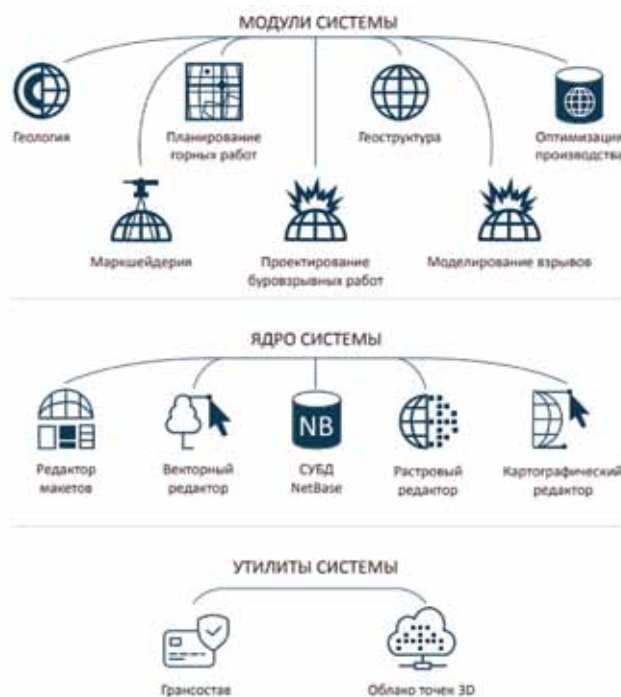
Основные задачи, которые позволяют решать современные горно-геологические системы, включают анализ первичной геологической информации, построение трехмерных каркасных и блочных моделей месторождений полезных ископаемых и горных выработок, планирование горных и проектирование буровзрывных работ, расчет обобщенных технико-экономических показателей, анализ и обработку маркшейдерской информации.

Некоторые программные продукты предполагают комплексные решения, другие решают только специализированные задачи или включают модули, созданные на основе научных исследований разработчика.

Рынок программного обеспечения основных специализированных информационных систем представлен рядом программных комплексов. Это Micromine (MICROMINE Pty Ltd., Австралия), Datamine (Constellation Software Inc., Кана-

РИСУНОК 1 Основные модули ГГИС «ГЕОМИКС»

FIGURE 1 The main modules of GGIS «GEOMIX»



Примечания/Notes. Модули системы — System modules. Геология — Geology. Маркшейдерия — Mine surveying. Планирование горных работ — Mining operations planning. Проектирование буровзрывных работ — Drilling and blasting operations. Геоструктура — Geostructure. Моделирование взрывов — Blasting operations design. Оптимизация производства — Production Optimization. Ядро системы — System kernel. Редактор макетов — Layout editor. Векторный редактор — Vector graphics editor. Растровый редактор — Raster editor. Картографический редактор — Cartographic editor. Утилиты системы — System utilities. Грансостав — Granular composition. Облако точек 3D — Point 3D cloud.

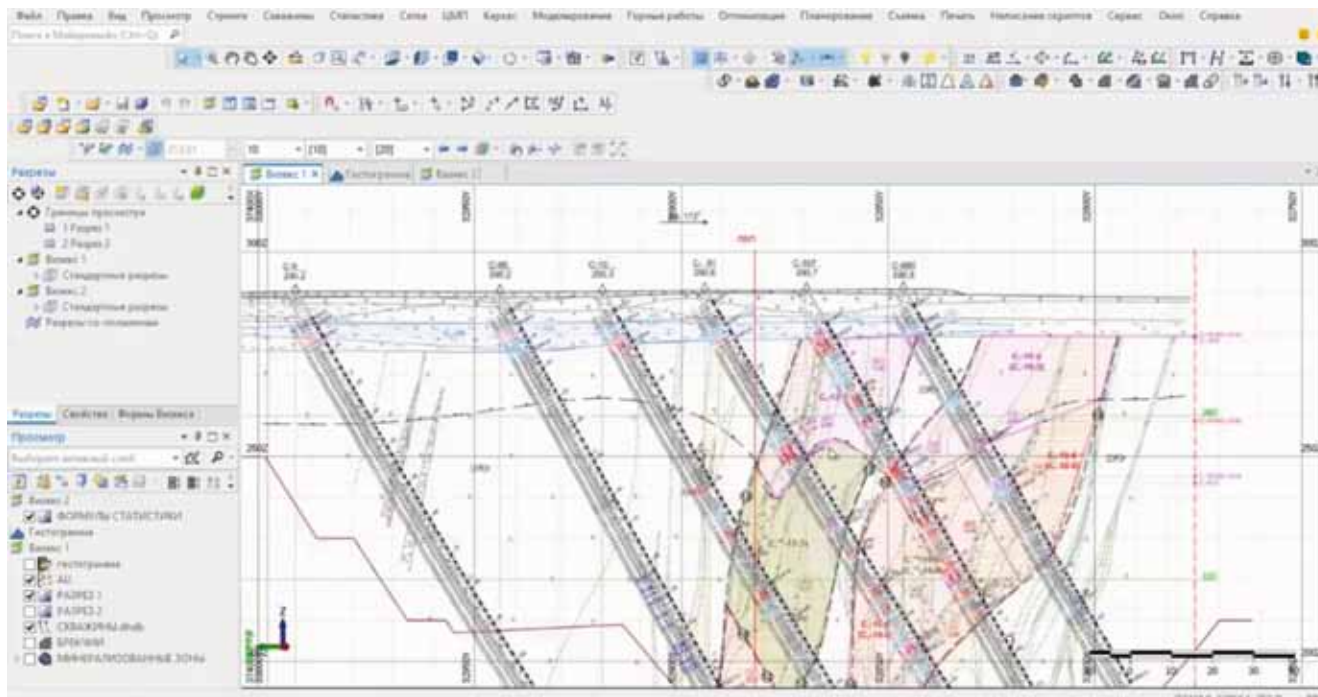
да), GEOVIA Surpac (Dassault Systèmes, Франция), MineMAX (Mintec Inc., США), ГИС «ГЕОМИКС» (ОАО «ВИОГЕМ», Россия), Mineframe (Горный институт КНЦ РАН, Россия), Leapfrog (ARANZ Geo Limited).

На отечественном рынке представлено несколько решений российского производства, в том числе программный комплекс ГГИС «ГЕОМИКС», разработанный ОАО «ВИОГЕМ», а также Mineframe, созданный Горным институтом Кольского научного центра РАН. В настоящее время ГГИС «ГЕОМИКС» успешно применяется для решения горно-геологических задач в ряде крупнейших российских компаний (УК «Металлоинвест», ПАО «НЛМК», ОК «РУСАЛ» и др.) и используется в университетах при подготовке специалистов для добывающего сектора.

«ГЕОМИКС» — горно-геологическая информационная система, предоставляющая профессиональные инструменты для решения задач горного производства, ведения горной графической документации и документооборота недропользования.

РИСУНОК 2 Анализ геологии месторождения в ГГИС Micromine

FIGURE 2 Analysis of the geology of the deposit in GGIS Micromine



ГГИС «ГЕОМИКС» создана на основе лучших мировых и российских ИТ-решений для открытой и подземной разработки твердых полезных ископаемых любых геолого-промышленных типов. Основные модули данной системы позволяют выполнять планирование и проектирование горных работ, моделирование взрывов и др. (рис. 1).

Внедрение цифровых инструментов в образовательный процесс

Губкинский филиал НИТУ «МИСИС» поддерживает тесную связь со специалистами-разработчиками ГГИС «ГЕОМИКС». Для преподавателей и студентов проводятся мастер-классы, открытые диалоговые площадки, встречи. Преподаватели кафедры горного дела постоянно повышают свою квалификацию на курсах, которые организует команда ГГИС «ГЕОМИКС».

Особенности подготовки горных специалистов носят прикладной характер и заключаются в необходимости обеспечения минимального периода адаптации молодого работника по окончании обучения [3, 4]. Поэтому в рамках изучения таких дисциплин, как компьютерное моделирование, планирование горных работ, практикум по моделированию месторождений (по направлению 21.05.04 «Горное дело»), студенты осваивают цифровые и программные инструменты по моделированию месторождений, получают навыки проектирования в ГГИС Micromine.

Micromine Russia предоставляет лицензии ГГИС Micromine бесплатно для учебных заведений. Лицензия позволяет использовать полный модульный

состав и весь функционал программного обеспечения, оснащает необходимое число мест. Таким образом, студенты могут упражняться в выполнении задач, которые ставятся на горнодобывающих предприятиях, и освоить программу еще во время учебы в вузе. Ценность выпускников, уже владеющих ГГИС, значительно возрастает при трудоустройстве.

Micromine является комплексным решением для 3D-моделирования месторождений, предлагающим средства их оценки, проектирования, оптимизации и планирования горных работ. На практических занятиях студенты учатся анализировать месторождения, осуществлять оценку запасов, выполнять каркасное моделирование, проектировать карьер, оптимизировать его контуры (рис. 2) [5, 6, 7, 8].

Знания, умения и навыки, полученные в результате освоения горно-геологических информационных систем в процессе обучения, активно применяются обучающимися при подготовке дипломных проектов и работ (рис. 3, 4).

Заключение

Подготовка молодых горных инженеров, которые обладают необходимыми компетенциями, особенно в области цифровизации, — это основная задача вуза [9, 10, 11]. Во многом ее решение зависит от преподавателей высшей школы, их умения динамично развиваться в условиях современных цифровых вызовов, от постоянного повышения качества педагогической деятельности, а также от тесной связи вуза с горнорудными предприятиями региона.



РИСУНОК 3 Проектирование карьера в ГИС Micromine

FIGURE 3 Quarry design in GIS Micromine

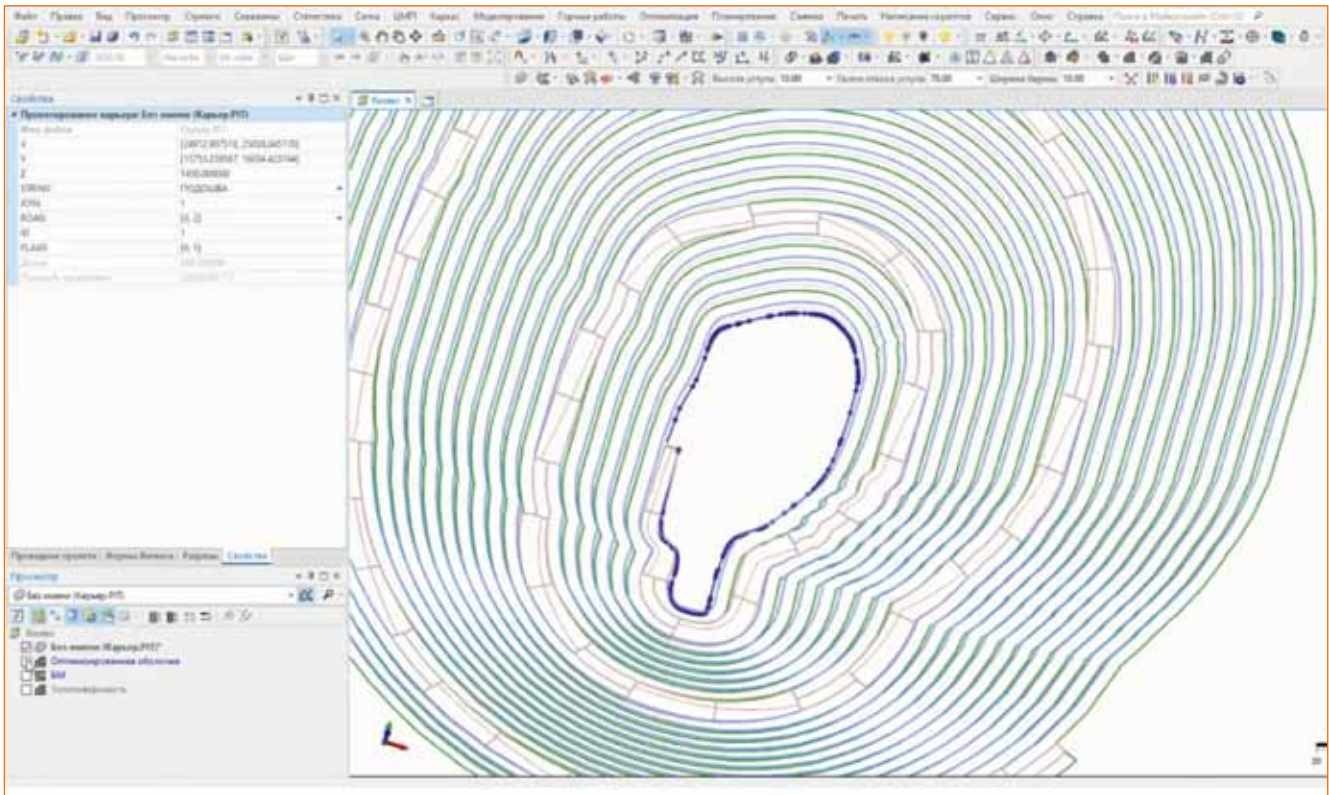
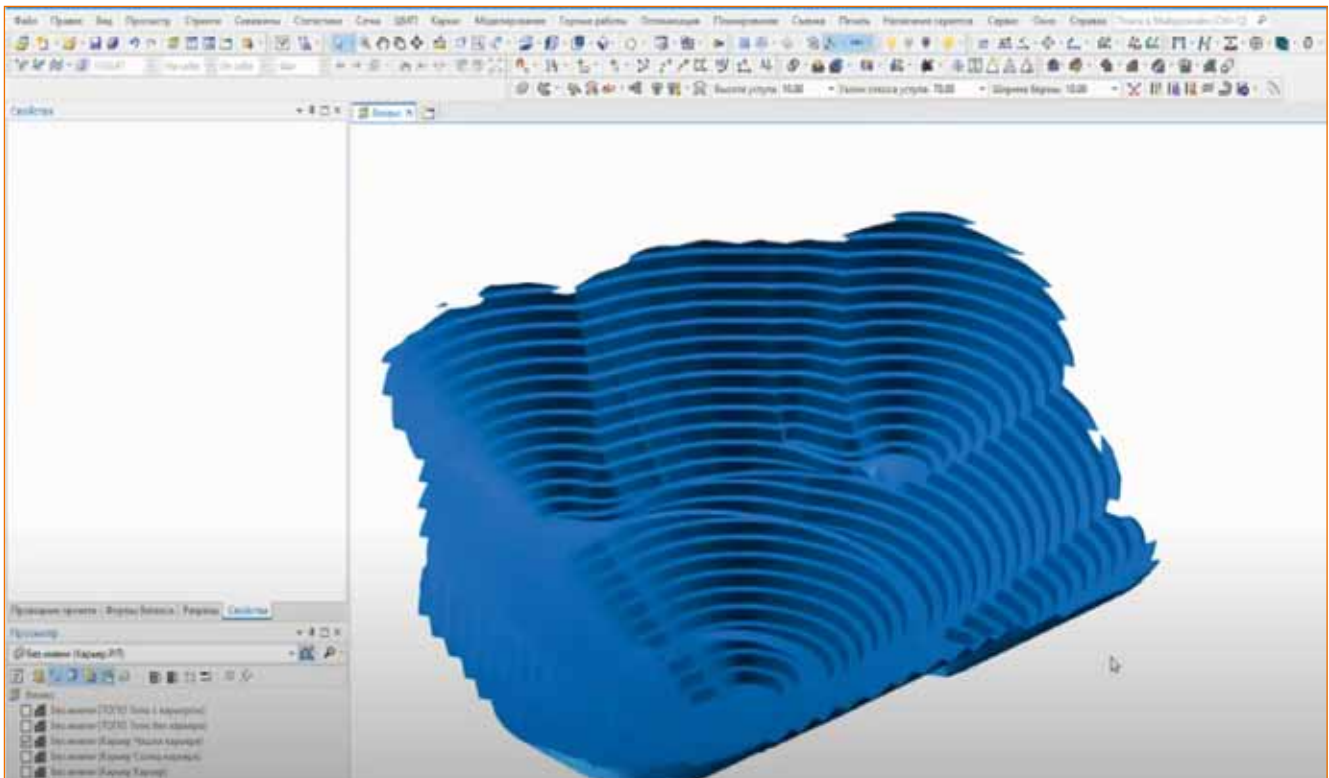


РИСУНОК 4 Оптимизация контуров карьера

FIGURE 4 Optimization of career contours



Литература/References

1. Лapidус Л.В., Сорокина Л.А., Гостилович А.О. Осведомленность поколения Z о технологиях цифровой трансформации бизнеса в условиях технологического сдвига. *Ars Administrandi (Искусство управления)*. 2020; 4 (12): 618–638. [Lapidus L.V., Sorokina L.A., Gostilovich A.O. Awareness of generation Z about technologies of digital transformation of business in the conditions of technological shift. *ArsAdministrandi (Art of Management)*. 2020. 4 (12): 618–638. (In Russ.)].
2. Приказ Минэкономразвития России от 24.01.2020 № 41 «Об утверждении методик расчета показателей федерального проекта “Кадры для цифровой экономики” национальной программы “Цифровая экономика Российской Федерации”». [Order of the Ministry of Economic Development of the Russian Federation № 41 dated 24.01.2020 «On Approval of Methods for Calculating Indicators of the Federal project “Personnel for the Digital Economy” of the national program “Digital Economy of the Russian Federation”». (In Russ.)].
3. Тарасенко Г.М. Особенности использования элементов электронного обучения при подготовке студентов технического вуза. Материалы XVIII Всероссийской научно-практической конференции. Современные проблемы горно-металлургического комплекса. Наука и производство. Старый Оскол, 2021: 499–503. [Tarasenko G.M. Features of the use of e-learning elements in the preparation of students of a technical university. Materials of the XVIII All-Russian Scientific and Practical Conference. Modern problems of the mining and metallurgical complex. Science and production. Stary Oskol, 2021: 499–503 (In Russ.)].
4. Чуева Е.А., Тарасенко Г.М. Непрерывное образование как условие профессионального совершенствования в эпоху цифровизации производства. Материалы XIX Всероссийской научно-практической конференции студентов и аспирантов. Старый Оскол, 2022: 671–673. [Chueva E.A., Tarasenko G.M. Continuing education as a condition for professional improvement in the era of digitalization of production. Materials of the XIX All-Russian Scientific and Practical Conference of students and postgraduates. Stary Oskol, 2022: 671–673. (In Russ.)].
5. Ческидов В.В., Яницкий Е.Б. Анализ информационных систем в горнодобывающей промышленности. *Золото и технологии*. 2021; 3 (53). [Cheskidov V.V., Yanitsky E.B. Analysis of information systems in the mining industry. *Gold and Technologies*. 2021; 3 (53). (In Russ.)].
6. Cheskidov V.V., Lipina A.V., Melnichenko I.A. Integrated monitoring of engineering structures in mining. *Eurasian Mining*. 2018; 2.
7. Ческидов В.В. Применение инженерно-геологических и гидрогеологических методов исследований для информационного обеспечения геотехнологий: учебное пособие. М.: Издательский дом МИСИС, 2017. 114 с. [Cheskidov V.V. Application of engineering-geological and hydrogeological research methods for information support of geotechnologies: textbook. Moscow: MISIS Publishing House, 2017. 114 p. (In Russ.)].
8. ГЕОМИКС. Горно-геологическая информационная система [Электронный ресурс]. URL: <https://geomix.ru/>. [GEOMIX. Mining and geological information system. [Electronic resource]. URL: <https://geomix.ru/>. (In Russ.)].
9. Боровков А.И., Левенцов В.А., Рябов Ю.А. и др. Компьютерный инжиниринг — основа подготовки инженерного спецназа России. *Технический оппонент*. 2019; 4 (5): 46–51. [Borovkov A.I., Leventsov V.A., Ryabov Yu.A. et al. Computer-aided engineering as a basis for educating and training elite special forces in engineering. *Tekhnicheskii opponnet = Technical Opponent*. 2019; 4 (5): 46–51. (In Russ.)].
10. Тягунов М.Г. Цифровая стратегия энергетического перехода. *Технический оппонент*. 2022; 1 (8): 12–18. [Tyagunov M.G. Digital energy transition strategy. *Tekhnicheskii opponnet = Technical Opponent*. 2022; 1 (8): 12–18. (In Russ.)].
11. Зегжда Д.П., Калинин М.О. Динамическая кибербезопасность цифрового производства. *Технический оппонент*. 2019; 4 (5): 23–30. [Zegzhda D.P., Kalinin M.O. Dynamic cybersecurity for digital manufacturing. *Tekhnicheskii opponnet = Technical Opponent*. 2019; 4 (5): 23–30. (In Russ.)].

Вклад авторов. Г.М. Тарасенко, Е.А. Чуева: разработка дизайна исследования, получение данных для анализа, обзор публикаций по теме статьи, статистический анализ полученных данных, написание текста рукописи.

Authors contributions. G.M. Tarasenko, E.A. Chueva: developing of research design, obtaining data for analysis, reviewing publications on the topic of the article, statistical analysis of the obtained data, article writing.

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

Финансирование. Исследование проведено без спонсорской поддержки.
Financing. The study was performed without external funding.

Статья поступила: 23.01.2023. **Принята к публикации:** 28.02.2023.
Article received: 23.01.2023. **Accepted for publication:** 28.02.2023.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Тарасенко Галина Михайловна, к.социол.н., доцент кафедры горного дела*. ORCID: 0000-0003-1288-3413.

Чуева Елена Алексеевна, старший преподаватель кафедры горного дела*. ORCID 0000-0002-3749-6842.

* Губкинский филиал Национального исследовательского технологического университета «МИСИС». Адрес: 309186, г. Губкин, ул. Комсомольская, д. 16.
Телефон: +7 (472) 415-51-83.
E-mail: gf@MISIS.ru.

AUTHORS INFORMATION

Tarasenko Galina Michailovna, PhD in Sociological, Associate Professor, Mining Engineering Department*. ORCID: 0000-0003-1288-3413.

Chueva Elena Alekseevna, Senior Lecturer, Mining Engineering Department*. ORCID 0000-0002-3749-6842.

* Gubkin branch of the National Research Technological University «MISIS». Address: 16 Komsomolskaya str., Gubkin, 309186.
Phone: +7 (472) 415-51-83.
E-mail: gf@MISIS.ru.



УДК 614.71
UDC 614.71

К вопросу об изменении рельефа местности при расчетах негативного воздействия на окружающую среду



On the Issue of Changing the Terrain When Calculating the Negative Impact on the Environment

АВТОРЫ

AUTHORS

А.А. Лунегова, к.э.н., доцент,
А.В. Болотин, к.х.н., доцент,
А.С. Арская

A.A. Lunegova,
A.V. Bolotin,
A.S. Arskaya

Губкинский филиал Национального исследовательского технологического университета «МИСИС», г. Губкин, Россия

Gubkin branch of National University of Science and Technology «MISIS», Gubkin, Russia

РЕЗЮМЕ

SUMMARY

Вопросам охраны окружающей среды при эксплуатации горнодобывающих предприятий уделяется первостепенное внимание. При проектировании хвостохранилища на АО «Комбинат «КМАруда»» были выполнены расчеты негативного воздействия на окружающую среду (ОС) при коэффициенте местности (КМ), равном единице. В работе произведено математическое моделирование роста оврагов, при котором значение КМ будет отличным от единицы. Показана необходимость построения и анализа математических моделей количественного роста оврагов при обосновании выбора корректного численного значения коэффициента местности для выполнения последующих расчетов негативного воздействия на ОС.

Environmental issues in the operation of mining enterprises are of paramount importance. When designing the tailings storage facility at JSC «KMA-ruda Combine», calculations of the negative impact on the environment (OS) were performed with a terrain coefficient equal to one. The article presents a mathematical modeling of the growth of ravines, in which the value of the terrain coefficient will be different from one. The necessity of constructing and analyzing mathematical models of quantitative growth of ravines in justifying the choice of the correct numerical value of the terrain coefficient, in order to perform subsequent calculations of the negative impact on the OS, is shown.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

KEYWORDS

ГОРНОДОБЫВАЮЩИЕ ПРЕДПРИЯТИЯ, ОХРАНА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ, ХВОСТОХРАНИЛИЩЕ, КОЭФФИЦИЕНТ РЕЛЬЕФА МЕСТНОСТИ

MINING ENTERPRISES, ENVIRONMENTAL PROTECTION, TAILINGS STORAGE, TERRAIN COEFFICIENT

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ

FOR CITATION

Лунегова А.А., Болотин А.В., Арская А.С. К вопросу об изменении рельефа местности при расчетах негативного воздействия на окружающую среду. *Технический оппонент*. 2023; 1 (9): 16–19.

Lunegova A.A., Bolotin A.V., Arskaya A.S. On the issue of changing the terrain when calculating the negative impact on the environment. *Technicheskiy opponent = Technical Opponent*. 2023; 1 (9): 16–19.

Введение

Горнодобывающая промышленность — решающий фактор роста производства в стране. Интенсивность развития отрасли неизбежно влечет негативное воздействие на экосистему. В этих условиях приоритетными считаются вопросы оценки воздействия на окружающую среду хозяйственной деятельности предприятий, в том числе проектируемых [1].

Исследование было проведено по материалам АО «Комбинат «КМАруда»» (г. Губкин, Белгородская область). Предприятие ориентировано на подземную добычу железистых кварцитов. Для дальнейшего развития производства предусмотрено новое

строительство хвостохранилища, рассчитанное на складирование хвостов в период с 2021 по 2030 год. Оно проектируется для складирования хвостов обогащения при производительности обогатительной фабрики 7,0 млн тонн в год по руде и объеме образования отходов (хвостов обогащения) 4,22 млн т/г (523,53 т/ч) [2].

В рамках разработки проектной документации на хвостохранилище были произведены расчеты по воздействию проектируемого объекта на состояние атмосферного воздуха. Метеорологические характеристики и коэффициенты, определяющие условия рассеивания загрязняющих веществ в атмосфере в районе реализации намечаемой деятельности, при-



няты согласно представленным данным ФГБУ «Центрально-Черноземное УГМС». Так, в расчетах коэффициент рельефа местности принят за единицу [2]. Однако в силу экзогенных процессов, которые могут происходить в запланированный период эксплуатации хвостохранилища (составляет 10 лет), возможно существенное изменение наземного рельефа. В этом случае максимальные концентрации загрязняющих веществ на границах нормируемых территорий будут отличны от проектируемых значений.

Математическое моделирование скорости распространения оврагов

В проектной документации на хвостохранилище подробно выполнен анализ рельефа местности. Для исследуемого района характерна волнисто-балочная поверхность. Из-за совокупного проявления различных видов экзогенных процессов ежегодно увеличиваются площади непригодных к использованию земель, разрушаются дороги, хозяйственные объекты и жилые постройки. Вероятность возникновения чрезвычайных эколого-геоморфологических ситуаций в Белгородской области очень высока.

В связи с этим важно понять, какие изменения произойдут в рельефе местности за 10 лет и как они повлияют на окружающую среду во время эксплуатации хвостохранилища.

В первую очередь необходимо выяснить, с какой скоростью образуются и распространяются овраги. К сожалению, цифровых данных относительно этого немного. Большинство авторов отмечают необыкновенную скорость роста оврагов. Но при этом они обычно ограничиваются общими фразами [3].

Рост оврагов может оцениваться рядом показателей [4]:

- величиной линейного прироста, т. е. приращением длины оврага за счет продвижения его вершины по направлению к водоразделу;
- изменением площади, занятой оврагом;
- изменением глубины и ширины оврага, объема материала, выносимого оврагом и др.

Для прогнозирования изменения глубины оврага во времени (в зависимости от начальных условий) следует использовать математические подходы системного анализа [5, 6].

Для этого, равно как и в работе [5], используем понятие относительной скорости роста:

$$\left(\frac{1}{L} \cdot \frac{dL}{dt} \{ \text{зод} \}^{-1} \right),$$

рассматривая дифференциальное уравнение временной эволюции глубины оврага $L(t)$ обобщенного вида:

$$\frac{1}{L} \cdot \frac{dL}{dt} = \varepsilon(L; t) \quad (1)$$

для разных модельных частных случаев.

$\varepsilon(L; t) = \varepsilon \equiv \text{const}$ (относительная скорость роста неизменна), тогда дифференциальное уравнение (1) примет вид:

$$\frac{1}{L} \cdot \frac{dL}{dt} = \varepsilon \Rightarrow \frac{dL}{L} = \varepsilon \cdot dt \quad (2)$$

Уравнение (2) легко интегрируется и приводит к экспоненциальному закону увеличения глубины оврага:

$$L(t) = L_0 e^{\varepsilon t} \quad (3)$$

$\varepsilon(L; t) = \varepsilon(t) = \varepsilon_0 e^{-\gamma t}$ (относительная скорость роста уменьшается во времени по простому экспоненциальному закону), тогда вместо (1) будем иметь:

$$\frac{1}{L} \cdot \frac{dL}{dt} = \varepsilon_0 e^{-\gamma t} \quad (4)$$

Или в интегральной форме:

$$L(t) = L_0 \exp \left[\frac{\varepsilon_0}{\gamma} (1 - e^{-\gamma t}) \right] \quad (5)$$

где ε_0 и γ — некие константы.

При небольших значениях t выражение (5) превращается в уравнение вида (3):

$$L(t) = L_0 \exp \left[\frac{\varepsilon_0}{\gamma} (1 - (1 - \gamma t + \dots)) \right] \approx L_0 e^{\varepsilon t} \quad (6)$$

Уравнение вида (3) можно использовать для расчета критического времени ($\tau_{кр}$) в зависимости от начальной глубины оврага L_0 . По его достижении расчеты негативного воздействия на окружающую среду (в приближении равенства к единице коэффициента местности) применять нельзя, поскольку это может привести к существенным ошибкам при проектировании:

$$\tau_{кр} = \frac{1}{\varepsilon_0} \ln \frac{L(t)}{L_0} \quad (7)$$

В качестве предельного значения $L(t)$ выбираем 50 м, что соответствует принятой нормативной документации [7].

Следует обратить внимание, что полулогарифмические зависимости часто возникают при решении разнообразных задач математического моделирования, в т. ч. в процессе расчетов скорости роста оврагов (при совершенно иных подходах к построению математической модели) [8].

На рис. 1 представлены некоторые количественные расчеты критического времени в зависимости от начальной глубины оврага L_0 , при заданном значении ε_0 , выполненные по уравнению (7):

Анализ полученных расчетных данных показывает, что величина $\tau_{кр}$ существенно зависит от L_0 .

При $L_0 = 20$ м критическое время составит:

$$\tau_{кр} = \frac{1}{0,1} \ln \frac{50}{20} \approx 9 \text{ лет},$$

что находится на пределе допустимого проектного времени, которое составляет 10 лет.

При $L_0 = 25$ м критическое время будет достигнуто значительно раньше 10 лет:



$$\tau_{кр} = \frac{1}{0,1} \ln \frac{50}{25} \approx 7 \text{ лет.}$$

Следовательно, расчеты негативного воздействия на окружающую среду (при допущении о равенстве коэффициента местности единице) окажутся некорректными уже после 7 лет! По этой причине учет рельефа местности для расчета величины рассеивания загрязняющих веществ будет необходимо применять с поправочным коэффициентом.

На рис. 2 показано изменение критического времени при изменении начального значения ϵ_0 ($L_0 = 25$ м).

Поскольку ϵ_0 не является величиной строго постоянной, а может существенно изменяться в зависимости от интенсивности течения экзогенных процессов, темп течения которых крайне желательно уметь количественно оценивать при проектировании хвостохранилища на АО «Комбинат «КМАруда»», последнее обстоятельство может приводить к значительному отклонению фактических величин проектируемых значений на временном интервале менее 10 лет.

При $L_0 = 25$ м и $\epsilon_0 = 0,1$ критическое время составит:

$$\tau_{кр} = \frac{1}{0,1} \ln 2 \approx 7 \text{ лет.}$$

При увеличении ϵ_0 до 0,15 и том же значении начальной глубины оврага критическое время существенно уменьшится:

$$\tau_{кр} = \frac{1}{0,15} \ln 2 \approx 4,6 \text{ года.}$$

К сожалению, существующие методики расчета негативного воздействия на окружающую среду не рассматривают случаи отклонения коэффициента местности от значения, равного единице, что, как показывают наши теоретические исследования, может иметь место в подавляющем большинстве важных частных случаев.

Заключение

В настоящее время отсутствует единая методика определения скорости роста оврагов. Изменение рельефа местности в период эксплуатации хвостохранилища приведет к искажению в расчетах по негативному воздействию на окружающую среду.

В статье показана базовая математическая модель расчета скорости распространения оврагов. Она позволяет наглядно продемонстрировать наиболее вероятную временную эволюцию протекающих процессов в зависимости от значений начальной глубины оврага (L_0) и относительной скорости роста (ϵ_0), количественно характеризующей интенсивность течения экзогенных процессов. Математическая модель исследована с учетом действительных параметров высот по состоянию на 2021 год.

Показано, что итоги исследования временной эволюции глубины оврагов на моделях вида (1) нужно обязательно учитывать при проектировании хвостох-

РИСУНОК 1 Изменение критического времени в зависимости от начальной глубины оврага L_0 , рассчитанное по уравнению (7), при $\epsilon_0 = 0,1$ года⁻¹

FIGURE 1 The change in the critical time depending on the initial depth of the ravine L_0 , calculated by equation (7), $\epsilon_0 = 0,1$ year⁻¹

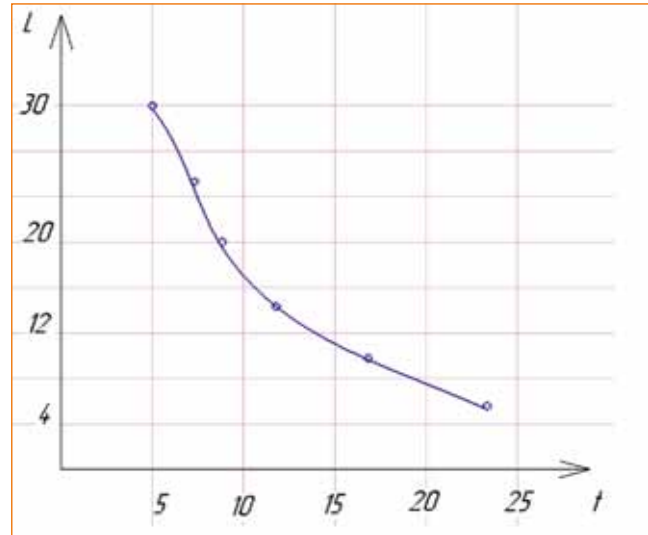
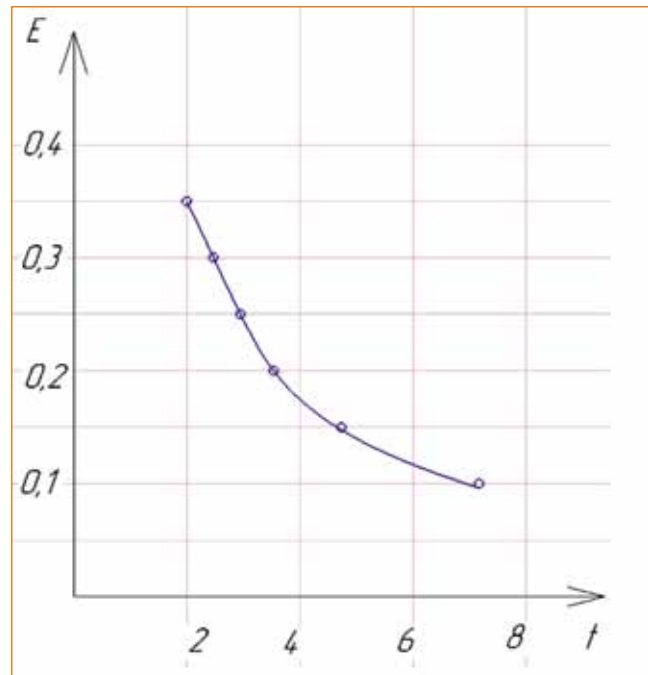


РИСУНОК 2 Изменение критического времени ($\tau_{кр}$) в зависимости от начального значения ϵ_0 (при $L_0 = 25$ м)

FIGURE 2 Change of the critical time depending on the initial value ($L_0 = 25$ м)



ранилища на АО «Комбинат «КМАруда»». В противном случае результаты расчетов негативного воздействия на окружающую среду могут оказаться некорректными в подавляющем большинстве важных частных случаев.

Литература/References

1. Федеральный закон от 10.01.2002 № 7-ФЗ (последняя редакция) «Об охране окружающей среды» [Электронный ресурс]. URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_34823/ (дата обращения: 12.09.2022). [The Federal law of 10.01.2002 № 7-FZ (latest revision) "On environmental protection". [Electronic resource]. URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_34823/ (date of reference: 12.09.2022). (In Russ.)].
2. Проект увеличения производственной мощности ОАО «Комбинат "КМАруда"». Этап 3. Хвостохранилище. Проектная документация. Раздел 8. Перечень мероприятий по охране окружающей среды. Часть 1. Оценка воздействия на окружающую среду [Электронный ресурс]. URL: https://kmaruda.ru/wp-content/uploads/2020/09/004-03-17-04-01-17-00C1_OBOS-предв-2.pdf (дата обращения: 16.09.2022). [Project on increase of production capacity of OJSC Combinat KMAruda. Stage 3. Tailings storage facility. Project documentation. Section 8. List of environmental protection measures. Part 1. Environmental impact assessment [Electronic resource]. URL: https://kmaruda.ru/wp-content/uploads/2020/09/004-03-17-04-01-17-00C1_OBOS-предв-2.pdf (date of reference: 16.09.2022). (In Russ.)].
3. Средние темпы роста оврагов [Электронный ресурс]. URL: <http://makkaveev-lab.narod.ru/Gully3-4.pdf> (дата обращения: 16.09.2022). [Average rate of gullies development [Electronic resource]. URL: <http://makkaveev-lab.narod.ru/Gully3-4.pdf> (date of reference: 16.09.2022). (In Russ.)].
4. Некоторые результаты изучения интенсивности роста оврагов на Приволжской возвышенности [Электронный ресурс]. URL: <https://geomorphology.igras.ru/jour/article/view/1154#:~:text=Рост%20оврагов%20может%20оцениваться%20рядом,материала%20%20выносимого%20оврагом%20и%20др.> (дата обращения: 16.09.2022). [Some results of the study of the intensity of gully growth in the Privolzhskaya Upland [Electronic resource]. URL: <https://geomorphology.igras.ru/jour/article/view/1154#:~:text=Рост%20оврагов%20может%20оцениваться%20рядом,материала%20%20выносимого%20оврагом%20и%20др.> (date of reference: 16/09/2022). (In Russ.)].
5. Болотин А.В., Лунегова А.А. Динамика изменения численности людей в сфере деятельности некоммерческих организаций. Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Социально-экономические науки. 2019; 2: 247–257. [Bolotin A.V., Lunegova A.A. Dynamics of change in the number of people in the sphere of non-profit organizations. Bulletin of Perm National Research Polytechnic University. Socio-economic Sciences. 2019; 2: 247–257. (In Russ.)].
6. Болотин А.В., Лунегова А.А., Болотская С.М. и соавт. Использование системного подхода при изучении дисциплины «физическая химия» студентами химических специальностей Сургутского государственного университета. Научные исследования в современном мире. Теория и практика: сборник избранных статей Всероссийской (национальной) научно-практической конференции. Санкт-Петербург, 10 июня 2021 г. Санкт-Петербург: Нацразвитие, 2021: 30–33. [Bolotin A.V., Lunegova A.A., Bolotskaya S.M., et al. Using a systematic approach in the study of physical chemistry by students of chemical specialties of Surgut State University. Research in the Modern World. Theory and Practice: collection of selected articles of All-Russian (National) Scientific and Practical Conference. Saint-Petersburg, June 10, 2021. Saint-Petersburg: Natsrazvitie, 2021: 30–33. (In Russ.)].
7. Приказ Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации от 6 июня 2017 года № 273 «Об утверждении методов расчетов рассеивания выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферном воздухе» [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/456074826> (дата обращения: 12.09.2022). [Order of the Ministry of Natural Resources and Environment of the Russian Federation of June 6, 2017 № 273 "On approval of methods for calculating the dispersion of emissions of harmful (polluting) substances in the atmosphere". [Electronic resource]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/456074826> (date of reference: 12.09.2022). (In Russ.)].
8. Рысин И.И., Григорьев И.И. Модель прогнозирования скорости роста оврагов в Удмуртии. Вестник Удмуртского университета. Биология. Науки о Земле. 2013; 3: 106–114. [Rysin I.I., Grigoriev I.I. Forecasting model for the rate of gullies development in Udmurtia. Bulletin of the Udmurtian University. Biology. Earth Sciences. 2013; 3: 106–114. (In Russ.)].

Вклад авторов. А.А. Лунегова: изучение данных для анализа, обзор публикаций по теме статьи, статистический анализ полученных данных, написание текста рукописи; А.В. Болотин: разработка математического аппарата, написание раздела «Математическое моделирование скорости распространения оврагов»; А.С. Арская: изучение данных для анализа, обзор публикаций по теме статьи.

Authors contributions. A.A. Lunegova: study of data for analysis, review of publications on the topic of the article, statistical analysis of the data obtained, writing the text of the manuscript; A.V. Bolotin: development of mathematical apparatus, writing the section «Mathematical modeling of ravine propagation velocity»; A.S. Arskaya: study of data for analysis, review of publications on the topic of the article.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Финансирование. Исследование проведено без спонсорской поддержки.

Financing. The study was performed without external funding.

Статья поступила: 10.01.2023. **Принята к публикации:** 15.02.2023. **Article received:** 10.01.2023. **Accepted for publication:** 15.02.2023.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Лунегова Анастасия Антоновна, к.э.н., доцент кафедры горного дела*.

Болотин Александр Викторович, к.х.н., доцент кафедры горного дела*. ORCID: 0000-0001-5784-5854.

Арская Алина Сергеевна, студент группы ТБ-22, направление обучения «Техносферная безопасность», профиль «Безопасность технологических процессов»*.

* Губкинский филиал Национального исследовательского технологического университета «МИСИС». Адрес: 309186, г. Губкин, ул. Комсомольская, д. 16. Телефон: +7 (472) 415-51-83. E-mail: gf@MISIS.ru.

AUTHORS INFORMATION

Lunegova Anastasia Antonovna, Candidate of Economics, Associate Professor of the Mining Department*. ORCID: 0000-0003-4633-6768.

Bolotin Alexander Viktorovich, Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor of the Mining Department*. ORCID: 0000-0001-5784-5854.

Arskaya Alina Sergeevna, student of TB-22 group, areas of study «Technosphere safety», profile «Safety of technological processes»*.

* Gubkin Branch of the National Research Technological University «MISIS». Address: 16 Komsomolskaya str., Gubkin, 309186. Phone: +7 (472) 415-51-83. E-mail: gf@MISIS.ru.



УДК 622.242
UDC 622.242

Анализ конструкции буровых станков типа СБШ и требования, предъявляемые к их равнопрочности



Analysis of the Design of Drilling Rigs of the SBS Type and the Requirements for Their Equal Strength

АВТОР

И.А. Сайдаминов, д.т.н., профессор

AUTHOR

I.A. Saidaminov

Губкинский филиал Национального исследовательского технологического университета «МИСИС», г. Губкин, Россия

Gubkin branch of the National Research Technological University «MISIS», Gubkin, Russia

РЕЗЮМЕ

SUMMARY

В настоящем исследовании приведены результаты анализа показателей работы буровых станков типа СБШ на карьерах ряда отраслей горной промышленности Республики Таджикистан. Установлено, что коэффициент полезного использования сменного времени составляет в среднем 0,5. Низкое его значение объясняется внеплановыми ремонтами и разрушением силовых установок. Значительные простои по причине поломки узлов являются следствием того, что при проектировании буровых станков типа СБШ не учитывают все возможные случаи нагружения его элементов. В связи с этим возникает необходимость установления нормативов для расчета силовых установок и механизмов такого станка. Разработка нормативных материалов может быть произведена на базе анализа конструктивных отличий станков с точки зрения силовых установок.

This paper presents the results of the analysis of the performance of drilling rigs of the SBS type at the quarries of a number of mining industries of the Republic of Tajikistan and found that the coefficient of useful use of shift time is on average 0,5. The low value of this coefficient is due to unscheduled repairs and destruction of power plants. Significant downtime due to breakage of components is a consequence of the fact that when designing drilling rigs of the SBS type, all possible cases of loading of its elements are not taken into account. In this regard, there is a need to establish standards for the calculation of power plants and drilling rig mechanisms. The development of normative materials can be carried out on the basis of an analysis of the design differences of machine tools from the point of view of power plants.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

KEYWORDS

КАРЬЕРНЫЙ БУРОВОЙ СТАНОК, СИЛОВАЯ УСТАНОВКА, СТАВ, ВРАЩАТЕЛЬ, МЕХАНИЗМ, КОНСТРУКЦИЯ, НАГРУЖЕНИЯ

QUARRY DRILLING RIG, POWER PLANT, STAV, ROTATOR, MECHANISM, STRUCTURE, LOADING

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ

FOR CITATION

Сайдаминов И.А. Анализ конструкции буровых станков типа СБШ и требования, предъявляемые к их равнопрочности. *Технический оппонент*. 2023; 1 (9): 20–25.

Saidaminov I.A. Analysis of the design of drilling rigs of the SBS type and the requirements for their equal strength. *Technicheskii opponent = Technical Opponent*. 2023; 1 (9): 20–25.

Введение

Карьерный буровой станок (БС) предназначен для бурения вертикальных и наклонных скважин диаметром до 400 мм и глубиной до 40–60 м в породах с пределом прочности от 6 до 20 МПа. В общем случае конструктивно БС всех известных фирм-изготовителей включают платформу (1) (рис. 1), на которой располагаются кабина машиниста (2), машинное отделение (3), где находятся компрессорная установка и электрогидроборудование.

Платформа жестко или шарнирно базируется на гусеничном ходовом оборудовании (4). Только у станков, выпускаемых фирмой «Хаусхерр» (ФРГ),

она установлена на таком оборудовании посредством опорно-повторного устройства (5).

Сверху на платформе находится мачта (6) с возможностью наклона при бурении до 30° (а при транспортировании — до 90°) с помощью, как правило, двуногой стойки (7) и гидроцилиндров (8). В мачте расположены вращатель бурового става и механизм его подачи, образующие вращательно-подающий механизм (ВПМ). Также в ней может размещаться магазин со штангами.

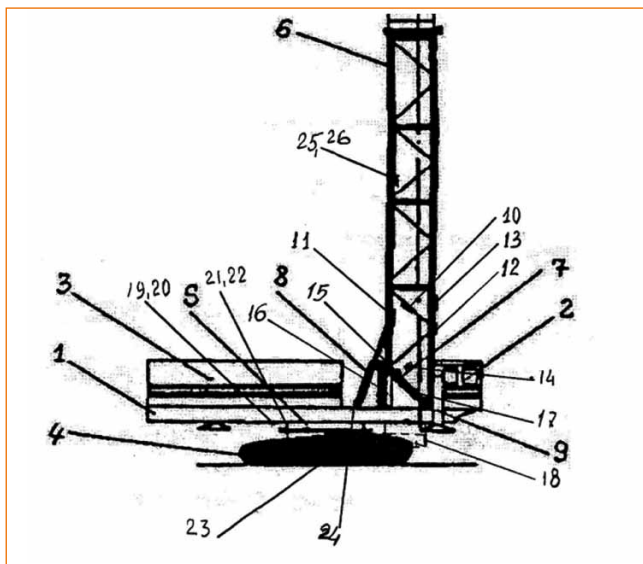
Платформа, оснащенная аутригерами (9), образует систему горизонтирования бурового станка.

По типу силовой установки различают станки электрические и дизельные.



РИСУНОК 1 Карьерный буровой станок СБШ. Расположение тензодатчиков на элементах конструкции бурового станка

FIGURE 1 SBSH quarry drilling rig. The location of load cells on the structural elements of the drilling rig



Конструкция ВПМ определяет принципиальные различия моделей станков (вне зависимости от их типа), диапазоны изменения частот вращения и скоростей подачи инструмента, величины осевых нагрузок, крутящих моментов, а также длительность вспомогательных операций по приведению бурового става в рабочее положение и его подъема после окончания бурения скважины.

В зависимости от силовой схемы нагружения става привод его вращения может размещаться внизу, на платформе, или наверху, на подвижной каретке.

По характеру нагружения штанги осевым усилием различают схемы с нижним приложением нагрузки (обычно осуществляемым зажимным патроном или неподвижным ротором) и с верхним, действующим на всю длину штанги.

В настоящее время как на отечественных, так и на зарубежных станках шарошечного бурения применяются четыре принципиальные схемы ВПМ [1, 2].

Патронная схема ВПМ (рис. 2) используется только в моделях бурового станка модификаций 2–5 СБШ-200, изготовитель — Барвенковский машзавод «Красный Луч» (Украина).

Вращение рабочего органа — бурового става (1) — осуществляется вращателем (2), в котором перемещается пустотелый шпиндель (3). Последний, получая вращения, имеет возможность двигаться поступательно на величину хода штоков поршней двух гидроцилиндров механизма подачи (4), сообщающих шпинделю ход вверх или вниз. При разборке буровой става поднимается лебедкой.

Преимущества патронной схемы:

— возможность загружать крутящим моментом, подводимым к долоту, только расположенную между вращателем и долотом нижнюю часть бурового става. Это оказывает благоприятное влияние на

РИСУНОК 2 Схема ВПМ патронного типа

FIGURE 2 The scheme of the cartridge-type VPM

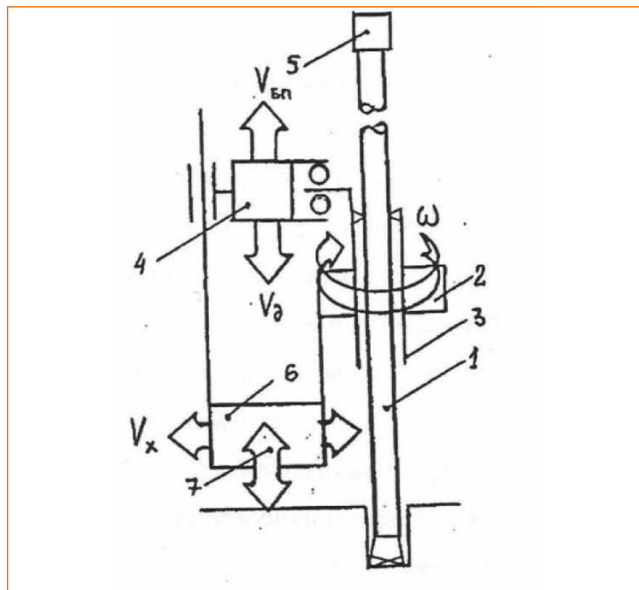
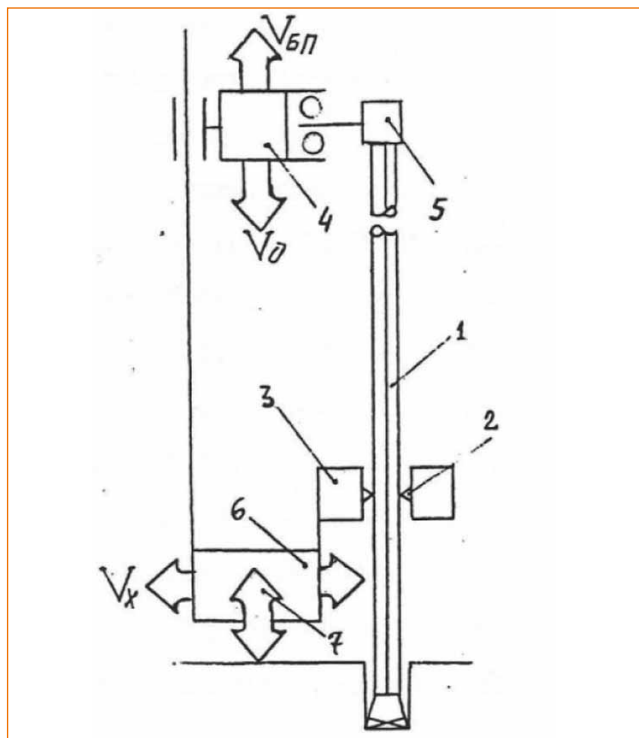


РИСУНОК 3 Схема ВПМ роторного типа

FIGURE 3 The scheme of the rotary type VPM



снижение крутильных колебаний става и каркаса мачты;

— возможность не загружать верхнюю часть бурового става, расположенную между вращателем и вертлюгом (5), осевым усилием, что повышает жесткость подачи и снижает вибрации станка;

— снижение общей массы мачты и механизма ее опускания в транспортное положение;



— каркас мачты не нагружен кручением, поскольку реактивный момент от него не воспринимается направляющими мачты;

— при извлечении става из скважины в случае заклинивания долота мачта не воспринимает сжимающих нагрузок.

Основными недостатками патронной схемы ВПМ буровых станков являются малый ход подачи на забой и цикличность процесса бурения.

Роторный ВПМ (рис. 3) имеют буровые станки моделей RO-300, DM20-SP, DM25-SP, DM35-SP фирмы «Ингерсолл-Ренд» (США), моделей БАШ-250, БАШ-320 конструкции Института «Гипроникель» (Россия) и модели D 400SP фирмы «Дрилтех» (США).

Вращение бурового става (1) осуществляется ротором (2) вращателя (3), который передает крутящий момент профильной штанге. Последняя, получая вращение, имеет возможность непрерывно двигаться поступательно на всю свою длину посредством механизма подачи (4). Осевое усилие передается через опорный узел (5).

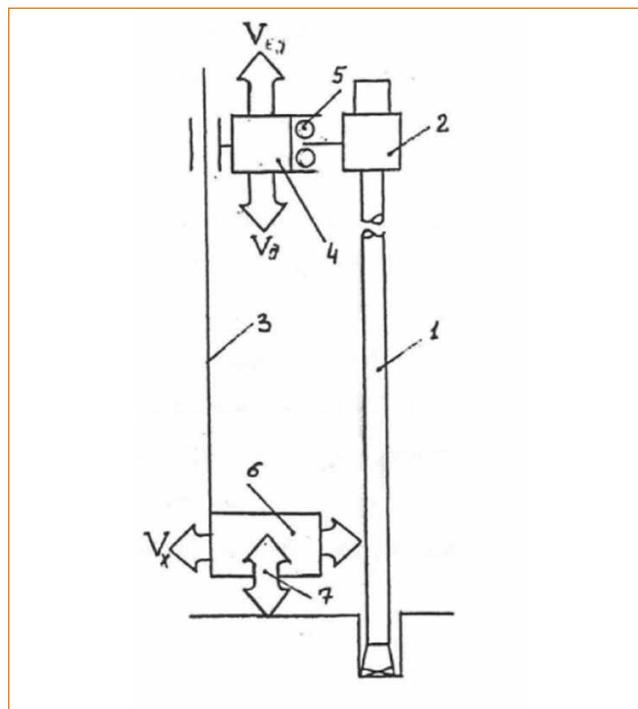
Преимущества ВПМ роторного типа соответствуют преимуществам ВПМ патронного типа. К недостаткам же этой схемы следует отнести нагруженность бурового става осевым усилием по всей его длине и невозможность его наращивания.

На устранение последнего недочета роторной схемы ВПМ направлена схема ВПМ шпиндельного типа (рис. 4).

Шпиндельная схема является самой распространенной схемой ВПМ ведущих мировых производителей буровых станков. К ним следует отнести модели 35-R, 39-R, 45-R, 47-R, 49-R, 60-R, 61-R, 65-R, 67-R фирмы Bucyrus-Erie (США); модели D 45KS, D 50KS, D 60KS, D 75KS, D 90KS фирмы «Дрилтех» (США); модели 70A, 100B, 100XP, 120A, 250XP фирмы «Харнишфегер» (США); модели НВМ80, НВМ90, НВМ100, НВМ210, НВМ230, НВМ250 фирмы «Хаус-

РИСУНОК 4 Схема ВПМ шпиндельного типа

FIGURE 4 The scheme of the spindle-type VPM

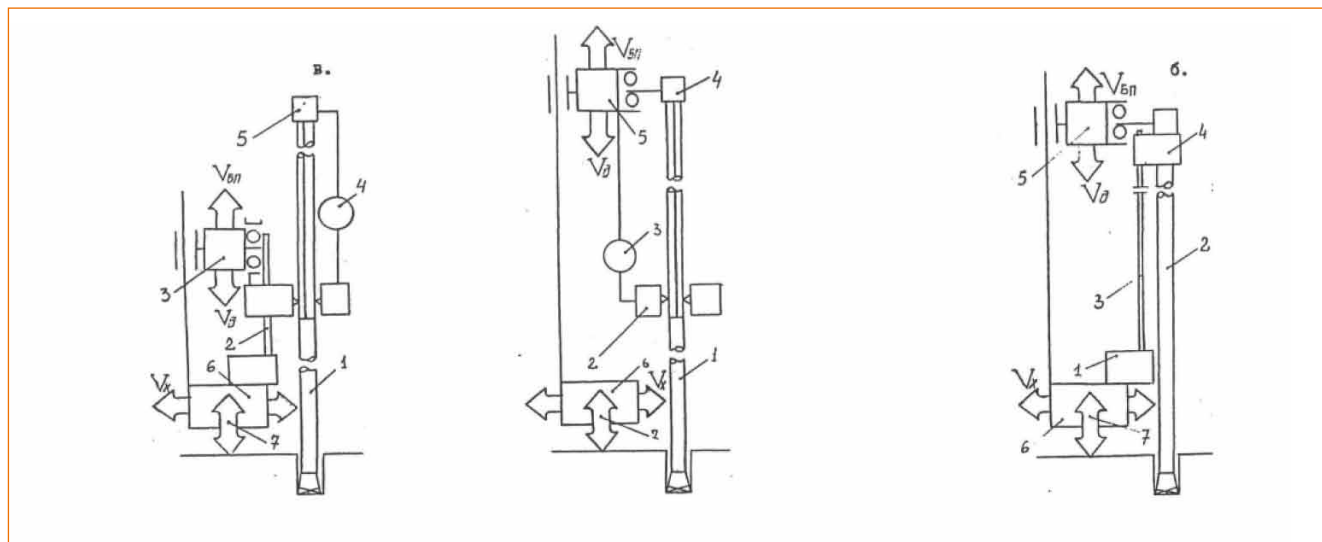


херр» (ФРГ); модели DM-30, DM-45, DM-M, DM-H фирмы «Ингерсолл-Ренд» (США); модели GD-60, GD-90, GD-100, GD-110 фирмы «Гарднер-Денвер» (США); модели СВШ-250, СВШ-250МН, СВШ-250-55, СВШ-320 Воронежского завода горно-обогатительного оборудования (ВЗГО, Россия) [3].

Буровой став (1) получает вращения от шпинделя вращателя (2), который, вращая буровой став, перемещается вместе с ним вдоль направляющих (3) мачты

РИСУНОК 5 Схема ВПМ роторно-шпиндельного типа: а — с подвижным вращателем; б — с неподвижным вращателем; в-схема, предложенная профессором Р.Ю. Подэрни

FIGURE 5 The scheme of the rotary-spindle type VPM: a — with a movable rotator; b — with a fixed rotator; c — the scheme proposed by Professor R. Yu. Poderni





станка посредством механизма подачи (4). Осевое усилие передается через опорный узел (5), как правило, размещенный в корпусе подвижного вращателя (2).

В последнее время появились конструктивные схемы ВПМ роторно-шпиндельного типа (рис. 5) [4]. Родоначальниками в этом направлении являются компания «Роббинс» концерна «Джой» (США), выпустившая модели буровых станков RR 11 и RR 15-E (рис. 5, б), и ВЗГО (Россия), изготовивший СВШ-270-20 (рис. 5, а), а также пилотный проект, выполненный под руководством доктора технических наук, профессора Р.Ю. Подэрни (рис. 5, в) и являющийся симбиозом роторно-шпиндельных схем ВПМ компании «Роббинс» и ВЗГО.

В схеме ВПМ роторно-шпиндельного типа с подвижным вращателем (рис. 5, а) вращение бурового става (1) осуществляется ротором вращателя (2), связанного полиспастной системой (3) с опорным узлом (4), который с помощью механизма подачи (5) сообщает буровому ставу (1) возвратно-поступательное движение [5]. Причем половина длины бурового става выполнена в виде профильной штанги.

В схеме ВПМ роторно-шпиндельного типа с неподвижным вращателем (1) (рис. 5, б) буровой став (2) получает вращение от вертикального профильного вала (3), закрепленного в опорах качения в мачте станка и кинематически связанного с вращателем посредством подвижной передачи (4), получающей возвратно-поступательное движение вдоль мачты станка от системы подачи (5) [6].

Отдельные коэффициенты динамичности устанавливаются экспериментальным путем в процессе эксплуатации буровых шарошечных станков на карьерах

В схеме, предложенной профессором Р.Ю. Подэрни (рис. 5, в) [7], буровой став (1) своей профильной частью получает вращение от подвижной передачи, кинематически связанной с неподвижным вращателем посредством вертикального профильного вала (2), закрепленного в опорах качения в мачте станка (аналогично рассмотренной схеме рис. 5, б).

Осевое усилие буровому ставу сообщает система подачи (3), кинематически связанная с подвижной передачей, которая посредством полиспастной системы (4) связана с опорным узлом (5).

Во всех рассмотренных схемах ВПМ (рис. 2–5) размещены в мачте бурового станка, закрепленной на ходовом устройстве (6), снабженном системой горизонтирования станка (7).

Таким образом, в соответствии с приведенным анализом, можно отметить, что вращатели всех буровых станков по принципу действия одинаковы и состоят из гидравлического или электрического двигателя и редуктора. Ряд конструкций или их части

имеют выходное зубчатое колесо, которое скользит по шлицевому или профильному валу. Механизмы подачи бурового става на забой и его подъема из скважины (по передаче осевого усилия) можно классифицировать следующим образом:

- канатные;
- цепные;
- зубчато-реечные.

А по конструкции привода:

- с приводом вращательного действия (барabanные или звездочные);
- с приводом поступательного действия (с силовыми гидроцилиндрами).

Привод подачи вращательного действия может быть электрическим, гидравлическим и комбинированным, а силовые гидроцилиндры — равнополостными с коэффициентом мультипликации α_μ , равным единице ($\alpha_\mu = 1$), и разнополостными ($\alpha_\mu > 1$).

Исследование

Анализом показателей работы буровых станков типа СВШ на карьерах ряда отраслей горной промышленности Республики Таджикистан установлено, что коэффициент полезного использования сменного времени составляет в среднем 0,5. Низкое его значение объясняется внеплановым ремонтом и разрушением силовых установок.

Значительные простои по причине поломки узлов являются следствием того, что при проектировании буровых станков типа СВШ не учитывают все возможные случаи нагружения его элементов [8, 9]. В связи с этим возникает необходимость установления нормативов для расчета силовых установок и механизмов бурового станка. Разработка нормативных материалов может быть произведена на базе анализа силовых установок отличий станков с точки зрения силовых установок [10, 11]. При этом устанавливается, что для всех шарошечных буровых станков могут быть определены следующие единые случаи нагружения, которые должны быть учтены при разработке нормативов:

- подъем и опускание мачты с задней величиной угловой ускорения;
 - горизонтирование станка на гидродомкратах с заданными углами наклона и крепа для двух случаев: с поднятой мачтой и с мачтой, находящейся в транспортном положении;
 - бурение вертикальной скважины с максимальным нагружением долота при внезапной его остановке в случае заклинивания;
 - бурение наклонной скважины с расчетным осевым усилием;
 - подъем бурового става, зажатого в вертикальной скважине, с нагрузкой, равной максимальному усилию на долото;
 - переезд станка; для данного случая нагружения рассматриваются переезд по горизонтальному участку с разворотом и движение на подъем в 120° с разворотом;
 - операции по развинчиванию штанг и долота.
- Отдельные коэффициенты динамичности устанавливаются экспериментальным путем в процессе



эксплуатации буровых шарошечных станков на карьерах [12].

Для изучения динамических напряжений в элементах конструкций СБШ-250 проведены исследования в условиях разреза Анзобского ГОКа. В основу методики измерений было положено тензометрирование. Замеры велись с помощью комплекта аппаратуры, включающей осциллограф К-12-21 и усилители ТА-5.

Места расположения тензодатчиков были выбраны на основании анализа дефектных ведомостей, поступающих на завод с карьеров и рудников, эксплуатирующих станки.

Запись усилий в канатах механизма подачи точки 25, 26 и напряжений в элементах каркаса мачты и машинного отделения велась при бурении пород крепостью $f = 10 \div 14$ по шкале профессора М.М. Протодьяконова с осевым усилием в диапазоне от 200 до 300 кН. При этом скорость вращения бурового става составила 82 об/мин.

Расчет консольных балок платформы каркаса машинного отделения ведется на нагрузки, возникающие при передвижении бурового станка

Измерение нагрузок в канатах осуществляли с помощью специальных тяг. На каждую наклеивалось по два рабочих и два компенсационных датчика, которые соединялись в одну измерительную цепь. Наклейка датчиков производилась вблизи нейтральной оси тяги. Проведенные исследования [13, 14] позволили определить, что нагрузки в канатах при действии максимального усилия подачи колеблются в пределах от 100 до 120 кН. Среднее значение усилия составляло 108 кН, максимальное — 132 кН. При анализе осциллограмм было выявлено, что в большинстве случаев имеет место неравномерное распределение усилия в правой и левой ветвях канатов механизма подачи. Максимальное значение усилия в ветви каната составило 55% от суммарной нагрузки. Кроме того, динамические нагрузки в канатах характеризовались низкочастотными колебаниями с частотой $3,8 \div 4,44$ Гц. При увеличении числа оборотов в минуту до 157 частота колебаний каната составила $8 \div 10$ Гц.

Одновременно с записью усилий в канатах были проведены опыты по замерам нагрузок в элементах каркаса мачты. В режиме бурения нагружаются основные пояса каркаса на участке от нижней обвязки до оси поворота. Для точки 18 наибольшие дополнительные напряжения, которые были записаны за время испытаний, не превышали $\sigma_0 = -270$ кГ/см². Учитывая, что наибольшие значения напряжений в этой точке в исходном положении составляют: $\sigma_u = -150$ кГ/см², суммарная величина напряжений не превышает: $\sigma_c = -420$ кГ/см².

Наряду с этим следует отметить, что возрастанием усилия подачи увеличивается переменная составляющая дополнительных напряжений.

В режиме бурения исследовались динамические нагрузки, действующие на силовую платформу каркаса машинного отделения в точках 19, 20, 21, 22, 23. В изучаемых случаях возникают незначительные перегрузки. Для точки 23 характерны наибольшие дополнительные напряжения: $\sigma_0 = 193$ кГ/см².

При подъеме и опускании мачты замеры давления в цилиндрах заваливания (точка 24) и напряжение в наиболее нагруженных элементах каркаса машины. Динамическое нагружение производили при опускании мачты с помощью резкого переключения золотника в нейтральное положение. В результате исследований было установлено, что величина давления, полученная экспериментальным путем, превышает расчетное на $20 \div 30\%$. Это характеризует динамичность нагружения потери напора жидкости за счет трения.

Для определения напряжений в элементах опорного узла тензодатчики были наклеены в точках 10, 11, 14, 15. Наибольшее значение ($\sigma_0 = 1350$ кГ/см²) наблюдалось в точке 14 при прижиге мачты к каркасу машинного отделения в вертикальном положении. На элементах подъемной балки датчики располагали в точках 12 и 13. Наибольшие значения напряжений наблюдались в точке 13 при прижиге в крайнем верхнем положении. На переднем подкосе опоры мачты в точке 17 наибольшее напряжение ($\sigma_0 = 297$ кГ/см²) имело место в начальный момент подъема, а в точке 16 ($\sigma_0 = 722$ кГ/см²) — при прижиге мачты в верхнем положении. Таким образом, для элементов подъемной балки опорного узла и опоры мачты характерными являются наибольшие действующие нагрузки при прижиге мачты к каркасу машинного отделения в крайних положениях.

Расчет консольных балок платформы каркаса машинного отделения ведется на нагрузки, возникающие при передвижении бурового станка. Для проверки правильности этого расчета и определения фактических величин дополнительных напряжений были проведены исследования при передвижении станка по уступу с поднятой и опущенной мачтой. Передвижение велось по горизонтальному участку пути с разворотом на угол $15 \div 20^\circ$, а также на подъем в 2° . Анализ осциллограмм показывает, что наибольшие дополнительные нагрузки возникают в точке 23 ($\sigma_0 = 1200$ кГ/см²) при развороте станка с опущенной мачтой. При этом следует отметить, что нагружение имеет пульсирующий характер. Величины колебаний увеличиваются при разворотах станка. Следует ожидать получения наибольших значений усилий при движении станка на максимальный угол подъема (12°) с разворотом.

Заключение

Таким образом, на основании проведенного исследования установлено, что:

— анализом конструктивных отличий буровых шарошечных станков с точки зрения силовых схем (силовые установки) устанавливается возможность



разработки единых нормативных требований, которыми должны удовлетворять силовые элементы конструкций станков;

— нормативные требования предложены в форме перечня расчетных случаев. По ним должны быть рассчитаны и проверены в процессе проведения промышленных испытаний силовые элементы конструкции станков;

— при проведении исследований на станке СВШ-250 было установлено:

1) среднее значение усилия в канатах механизма подачи составляет 108 кН, а наибольшее — 132 кН

(по сравнению с максимальным расчетным усилием 100 кН);

2) имеет место неравномерное распределение усилий по правой и левой ветвям канатов механизма подачи. Усилие, воспринимаемое одной ветвью, составляло 55% от суммарной нагрузки;

3) поправочный коэффициент усилия на подъем матчи равен 1,3;

4) основным расчетным случаем нагружения несущих балок каркаса машинного отделения следует считать передвижение станка на максимальный подъем с разворотом на угол $8 \div 10^\circ$.

Литература/References

1. Подэрни Р.Ю. Горные машины и комплексы для открытых работ. Том 1. М.: МГТУ, 1998/ 428 с. [Poderni R.Y. Mining machines and complexes for open works. Volume 1. Moscow: MGSU, 1998. 428 p. (In Russ.)].
2. Подэрни Р.Ю. Горные машины и комплексы для открытых работ. Том 2. М.: МГТУ, 1998. 332 с. [Poderni R.Y. Mining machines and complexes for open works. Volume 2. Moscow: MGSU, 1998. 332 p. (In Russ.)].
3. Сайдаминов И.А. Обоснование и выбор параметров средств температурной адаптации гидрообъемных трансмиссий карьерного оборудования. Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук. М.: МГТУ, 2003. 308 стр. [Saidaminov I.A. Justification and choice of parameters of means of temperature adaptation of hydraulic volume transmissions of quarry equipment. Dissertation for the degree of Doctor of Technical Sciences. Moscow: MGSU, 2003. 308 p. (In Russ.)].
4. Патент ФРГ № 3790979Т1 (DE) от 06.07.1989. [German Patent NN№ 3790979Т1 (DE) dated 06.07.1989. (In Russ.)].
5. Патент Швеции № 89006113-4 (SE) от 20.09.1990. [Swedish Patent NN№ 89006113-4 (SE) dated 20.09.1990. (In Russ.)].
6. Патент Италии № 1222318 (IT) от 03.12.1990. [Italian Patent № 1222318 (IT) dated 03.12.1990. (In Russ.)].
7. Патент Австралии № AU-B-79/93/37(605790) от 24.01.1991. [Australian Patent № AU-B-79/93/37(605790) dated 24.01.1991. (In Russ.)].
8. Подэрни Р.Ю., Хромой М.Р. Основание концепции создания бурового станка нового технического уровня. Горный журнал. 1994; 3: 17–24. [Poderni R. Yu., Khromoy M.R. The basis of the concept of creating a drilling rig of a new technical level. Mining Magazine. 1994; 3: 17–24. (In Russ.)].
9. Подэрни Р.Ю. Оценка основных параметров, влияющих на производительность станков шарошечного бурения. Горные машины и электромеханика. 2000; 6: 9–13. [Poderni R. Yu. Assessment of the main parameters affecting the productivity of roller drilling machines. Mining Machines and Electromechanics. 2000; 6: 9–13. (In Russ.)].
10. Станки для бурения взрывных скважин в горнодобывающей промышленности. ГОСТ 266 98–85. [Machines for drilling blast wells in the mining industry. GOST 266 98–85. (In Russ.)].
11. Нажмудинов Ш.З., Сайдаминов И.А. Стенд для проверки работоспособности гидромеханического привода вращателя бурового станка. Таджикистан, НИИТИ, Душанбе. 1993, 16, серия 52–01. [Nazhmudinov Sh.Z., Saidaminov I.A. Stand for checking the operability of the hydromechanical drive of the rotary drilling machine. Tadjikistan. NIINTI, Dushanbe. Tadjikistan, 1993; 16, series 52–01. (In Russ.)].
12. Подэрни Р.Ю., Хромой М.Р., Сайдаминов И.А., Нажмудинов Ш.З. Патент РФ № 2052096. Гидропривод буровой установки. № 2. 1996. [Poderni R.Y., Khromoy M.R., Saidaminov I.A., Nazhmudinov Sh.Z. RF Patent № 2052096. Hydraulic drive of the drilling rig. № 2. 1996. (In Russ.)].
13. Деревяшкин И.В., Садыков А.А. Основные технологические процессы, их проблемы и решения на Калининградском янтарном комбинате. Технический оппонент. 2018; 1 (1): 58–67. [Derevyashkin I.V., Sadikov A.A. The main technological processes, their problems and solutions at the Kaliningrad amber combine. Tekhnicheskij opponenent = Technical Opponent. 2018; 1 (1): 58–67. (In Russ.)].
14. Кондратенко Л.А., Миронова Л.И., Дмитриев В.Г. Имитационное моделирование привода подъема забойного двигателя. Технический оппонент. 2019; 1 (2): 20–25. [Kondratenko L.A., Mironova L.I., Dmitriev V.G. Simulation modeling of the uphole motor drive. Tekhnicheskij opponenent = Technical Opponent. 2019; 1 (2): 20–25. (In Russ.)].

Вклад автора. И.А. Сайдаминов: разработка дизайна исследования, получение данных для анализа, обзор публикаций по теме статьи, статистический анализ полученных данных, написание текста рукописи.

Author's contribution. I.A. Saidaminov: developing of research design, obtaining data for analysis, reviewing publications on the topic of the article, statistical analysis of the obtained data, article writing.

Конфликт интересов. Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest. The author declares no conflict of interest.

Финансирование. Исследование проведено без спонсорской поддержки.

Financing. The study was performed without external funding.

Статья поступила: 12.01.2023. **Принята к публикации:** 17.02.2023.
Article received: 12.01.2023. **Accepted for publication:** 17.02.2023.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ

Сайдаминов Исохон Абдулфайзович, д.т.н., профессор кафедры горного дела. Губкинский филиал «Национального исследовательского технологического университета «МИСИС». Адрес: 309186, г. Губкин, ул. Комсомольская, д. 16. Телефон: +7 (472) 415-51-83. E-mail: gf@MISIS.ru. ORCID: 0000-0003-1369-6804.

AUTHOR INFORMATION

Saidaminov Isokhon Abdulfayzovich, Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Mining. Gubkin branch of the National Research Technological University «MISIS». Address: 16 Komsomolskaya str., Gubkin, 309186. Phone: +7 (472) 415-51-83. E-mail: gf@MISIS.ru. ORCID: 0000-0003-1369-6804.



УДК 681.514/.734: 622-1/-9 (045)
UDC 681.514/.734: 622-1/-9 (045)

Автоматизированная система управления загрузкой мельницы вывода гали и скрапа обогатительной фабрики «Лебединский ГОК» на основе измерения вибрации подшипников



Automated Control System for Loading the Gali and Scrap Output Mill of the Lebedinsky GOK Processing Plant Based on Vibration Measurement of Bearings

АВТОР

М.Е. Тараненко, к.т.н., доцент

AUTHOR

M.E. Taranenko

Губкинский филиал Национального исследовательского технологического университета «МИСИС», г. Губкин, Россия

Gubkin branch of the National Research Technological University «MISIS», Gubkin, Russia

РЕЗЮМЕ

SUMMARY

В статье рассматривается разработка автоматизированной системы управления загрузкой мельницы вывода гали и скрапа обогатительной фабрики «Лебединский ГОК». В основе — измерение сигналов вибрации подшипников. Мельницы вывода гали и скрапа — узкое место производства. Снижение их производительности грозит потере двух цехов обогащения. Целью работы данной системы является ведение технологического процесса мельницы в режимах максимальной загрузки с отсутствием перегрузов. Предлагаемая в статье автоматизированная система управления шаровой мельницей позволит повысить ее производительность, уменьшить удельный расход электроэнергии, снизить время аварийных простоев.

The article discusses the development of an automated system for controlling the loading of the gali output mill and scrap of the Lebedinsky GOK processing plant based on the measurement of bearing vibration signals. Gali and scrap output mills are a bottleneck of production, a decrease in their productivity threatens to lose the production of two enrichment workshops. The purpose of this system is to conduct the technological process of the mill in maximum load modes with no overloads. The automated ball mill control system proposed in the article will increase the mill's productivity, reduce the specific consumption of electricity, and reduce the time of emergency downtime.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

KEYWORDS

ПРОИЗВОДСТВО ЖЕЛЕЗОРУДНОГО КОНЦЕНТРАТА, ОБОГАТИТЕЛЬНАЯ ФАБРИКА, МЕЛЬНИЦА ШАРОВАЯ, ЗАЩИТА МЕЛЬНИЦЫ ОТ ПЕРЕГРУЗА, АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА КОНТРОЛЯ ВИБРАЦИИ ПОДШИПНИКОВ, АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ПРОЦЕССОМ

PRODUCTION OF IRON ORE CONCENTRATE, PROCESSING PLANT, BALL MILL, MILL OVERLOAD PROTECTION, AUTOMATED BEARING VIBRATION MONITORING SYSTEM, AUTOMATED PROCESS CONTROL SYSTEM

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ

FOR CITATION

Тараненко М.Е. Автоматизированная система управления загрузкой мельницы вывода гали и скрапа обогатительной фабрики «Лебединский ГОК» на основе измерения вибрации подшипников. *Технический оппонент*. 2023; 1 (9): 26–33.

Taranenko M.E. Automated control system for loading the gali and scrap output mill of the Lebedinsky GOK processing plant based on vibration measurement of bearings. *Technicheskiy opponant = Technical Opponent*. 2023; 1 (9): 26–33.

Введение

Одним из важнейших переделов обогатительной фабрики «Лебединский ГОК» является работа девятой технологической секции. Это вывод и измельчение рудной гали и скрапа.

Мельницы шаровые рудно-галечные универсальные МШРГУ 4 500 х 6 000 № 9-5 и 9-6 обогатительной фабрики (девятой технологической секции) — узкое место производства. Снижение их производительности грозит потере двух цехов обогащения (ЦО-1, ЦО-2). Поэтому проблема опти-



мизации процесса измельчения девятой технологической секции обогатительной фабрики, в частности максимизации способности производить, имеет существенное экономическое и практическое значение.

Объект управления — мельница шаровая рудно-галечная МШРГУ 4 500 x 6 000

Измельчение рудной гали и скрапа, выведенных из цехов обогащения № 1 и 2 обогатительной фабрики «Лебединский ГОК», происходит в МШРГУ 4 500 x 6 000. По конструкции это шаровые мельницы с разгрузкой через решетку.

Технологический процесс представляет собой разовое измельчение в МШРГУ без рецикла, где материал (галь и скрап) измельчается шарами диаметром 150 мм до требуемого грансостава на выходе. Производительность МШРГУ по входному сырью составляет 150–250 т/ч. Мельница шаровая рудно-галечная представлена на **рис. 1**.

МШРГУ 4 500 x 6 000 представляет собой единую механическую конструкцию, установленную на передний и задний подшипники (5 и 11), включающую следующие элементы: барабан (1), переднюю и заднюю торцевые крышки (3 и 14), переднюю и заднюю цапфы (4 и 12).

Вращение барабана осуществляется электродвигателем (7) через зубчатую муфту (8), приводную шестерню и установленный на задней цапфе зубчатый венец (10).

Барабан мельницы футеруется лифтерами и броневыми плитами (2). Последние крепятся болтовым

способом. Торцевые стенки барабана футеруются броневыми плитами в два ряда.

Лифтеры — элементы футеровки для защиты барабана или загрузочной (разгрузочной) стенки мельницы от механического воздействия мелющих тел и материалов измельчения. Они положительно влияют на результативность измельчения. Лифтеры и броневые плиты сопрягаются благодаря наклонным скосам.

Для ведения технологического режима с низким уровнем пульпы в мельнице в ее конструкции используются разгрузочная решетка (13) и разгрузочные лифтеры с целью принудительной разгрузки измельчительного агрегата. В зоне разгрузки барабана установлена разгрузочная решетка с отверстиями диаметром 20 мм (в исполнении конструкции с увеличением диаметров отверстий к разгрузке). Она крепится болтовым способом. Пространство между разгрузочной решеткой 13 и задней торцевой крышкой разделено на секторные камеры лифтерами с возможностью вывода измельчаемого материала в заднюю цапфу, а далее — в разгрузочное устройство (9).

Загрузка рудной гали и скрапа в мельницу осуществляется через специальный, передвигаемый на рельсах патрубков. Это загрузочное устройство (6).

Для интенсификации подачи в мельницу гали и скрапа в передней цапфе установлена загрузочная спиральная втулка. Для возврата пульпы из уплотнений в задней цапфе установлено специальное спиральное устройство.

Так как рудная галь и скрап, выводимые из цехов обогащения ЦО-1 и ЦО-2, являются трудноизмельчаемым материалом, имеющим высокий удельный вес, дающим повышенную нагрузку на агрегат, поэтому

РИСУНОК 1 Мельница шаровая рудно-галечная МШРГУ 4 500 x 6 000: 1 — барабан; 2 — броневые плиты и лифтеры; 3 — передняя торцевая крышка; 4 — передняя цапфа; 5 — передний подшипник; 6 — загрузочное устройство; 7 — электродвигатель; 8 — зубчатая муфта; 9 — разгрузочное устройство; 10 — зубчатый венец; 11 — задний подшипник; 12 — задняя цапфа; 13 — решетка; 14 — задняя торцевая крышка

FIGURE 1 Ball ore-pebble mill MSHRGU 4 500 x 6 000: 1 — drum; 2 — armor plates and lifters; 3 — front end cap; 4 — front axle; 5 — front bearing; 6 — loading device; 7 — electric motor; 8 — gear coupling; 9 — unloading device; 10 — gear crown; 11 — rear bearing; 12 — rear axle; 13 — grille; 14 — rear end cover

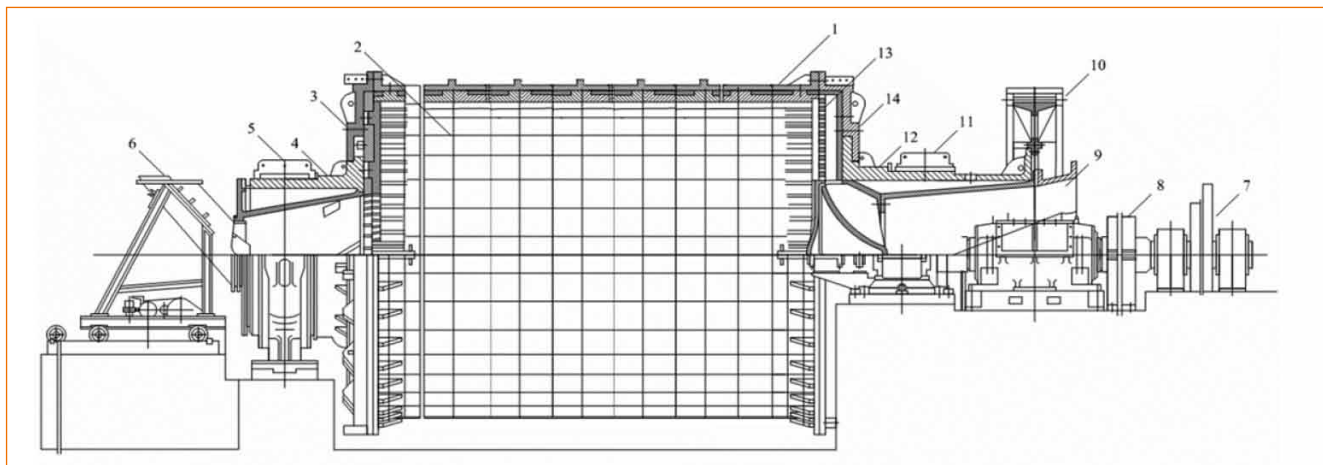




ТАБЛИЦА 1 Технические характеристики мельницы МШРГУ 4500 x 6000

TABLE 1 Technical characteristics of the mill MSHRGU 4500 x 6000

№ п/п №	Показатель Indicator	Значение Index
1	Диаметр барабана внутренний (без футеровки), D, мм Drum inner diameter (without lining), D, mm	4 000
2	Длина барабана (без футеровки), L, мм Drum length (without lining), L, mm	7 510
3	Номинальный объем барабана, V, м ³ Nominal volume of the drum, V, m ³	83
4	Номинальная частота вращения барабана, об/мин Nominal drum rotation speed, rpm	17,80
5	Степень заполнения барабана мелющими телами, %, не более The degree of filling of the drum with grinding media, %, no more	50
6	Мощность электродвигателя главного привода, кВт Power of the main drive motor, kW	2 500
7	Потребляемая (расчетная) мощность, кВт, не более Power consumption (calculated), kW, no more	2 300
8	Габаритные размеры мельницы в сборе с приводом через венцовую шестерню, мм, не более: — длина; — ширина; — высота Overall dimensions of the mill assembly with a drive through a crown gear, mm, no more: — length; — width; — height	17 300 8 600 6 300
9	Масса мельницы без смазочного и электрического оборудования, фундаментной арматуры, устройств для механизации и борьбы с шумом, мелющих тел, т, не более The mass of the mill without lubricating and electrical equipment, foundation fittings, devices for mechanization and noise control, grinding media, t, no more	300
10	Удельный расход электрической энергии, кВт/м ³ , не более Specific consumption of electric energy, kW/m ³ , no more	15,6
11	Удельная масса, т/м ³ , не более Specific gravity, t/m ³ , no more	3,61
12	Напряжение сети (Uн), В Mains voltage (Uh), V	6 000

в условиях обогатительной фабрики «Лебединский ГОК» на шаровых мельницах МШРГУ 4500 x 6000 работают электродвигатели с повышенной мощностью 2500 кВт [1].

Технические характеристики МШРГУ приведены в табл. 1.

Описание технологии девятой технологической секции обогатительной фабрики

По технологии девятой технологической секции измельчение осуществляется в двух шаровых мельницах МШРГУ 4500 x 6000 (рис. 2).

На разгрузочных горловинах шаровых мельниц установлены бутары с размером ячеек 12 мм для вывода скрапа и отработанных шаров, которые подаются на ленточный конвейер № 930 и системой конвейеров 2-070 и 2-077 на доработку. В зависимости от количества гали, в параболических бункерах работает одна или две мельницы девятой технологической секции.

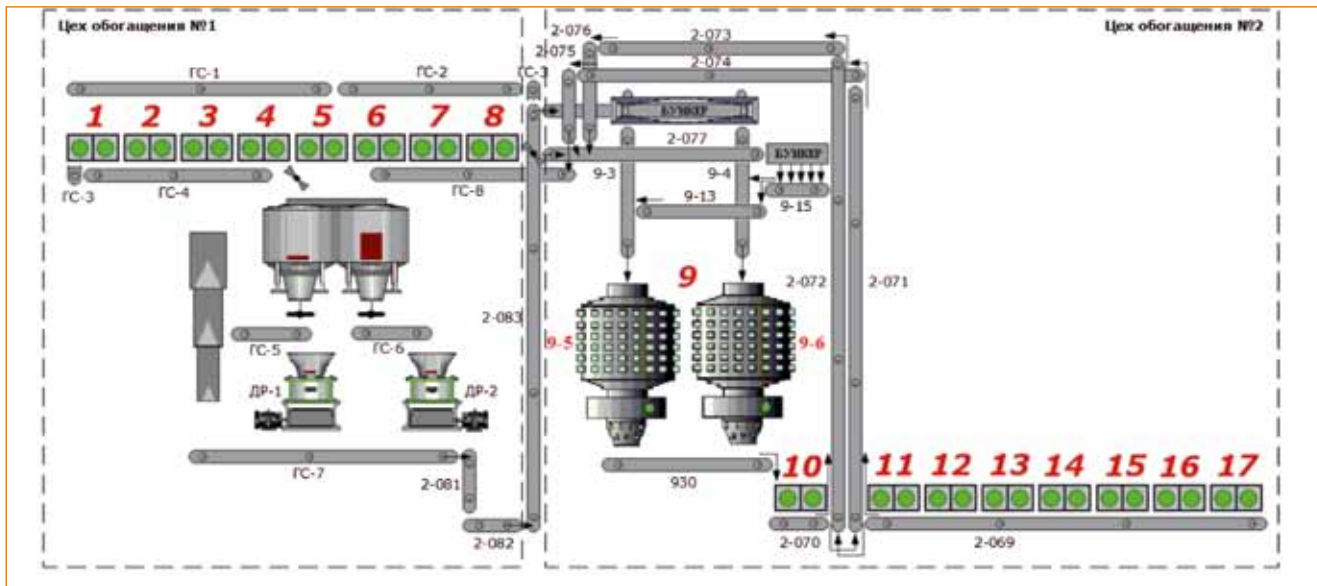
Скрап мельниц № 9-5 и 9-6, выделенный на бутаре, циркулирует по системе конвейеров недробленого продукта ЦО-2 через его бункер.

Слив мельниц № 9-5, 9-6 поступает в зумпф насосов Гр 1600/50 № 9-41, 9-42, откуда перекачивается на классификацию в гидроциклоны первой стадии диаметром 500 мм. Пески гидроциклонов самотеком по желобу возвращаются на доизмельчение в МШРГУ 4500 x 6000 [1].



РИСУНОК 2 Технологическая схема мельниц МШРГУ 4500 x 6000 № 9–5, 9–6

FIGURE 2 Technological scheme of mills MSHRGU 4500 x 6000 № 9–5, 9–6



Примечания/Notes. Цех обогащения № 1 / Enrichment shop № 1. Цех обогащения № 2 / Enrichment shop № 2. Технологические секции № 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17 / Technological sections № 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17. Дробилки ДР-1, ДР-2 / Crushers DR-1, DR-2. Бункер/Bunker.

Мельницы могут быть запитаны из бункеров смешанного продукта (дробленого и недробленого ЦО-1, ЦО-2). Откуда загрузка МШРГУ 4500 x 6000 № 9–5 и 9–6 осуществляется конвейерами 9–15, 9–3, 9–13 и 9–4.

Разработка автоматизированной системы управления загрузкой мельницы вывода гали и скрапа обогатительной фабрики на основе измерения вибрации подшипников

Мониторинг вибрации промышленных объектов является одним из важнейших условий безостановочной и безопасной работы оборудования. Основные объекты контроля — электромоторы, воздуходувки, насосные агрегаты, компрессоры, турбины, мельницы и другое критическое оборудование, от функционирования которого зависит производственный процесс.

Известно, что сигнал амплитуд вибраций подшипниковых узлов непосредственно коррелирует с величиной уровня загрузки мельницы материалом (в данном случае это рудная гали и скрап), поэтому для МШРГУ метод измерения загрузки на основе измерения вибрации подшипников является ключевым способом повышения производительности измельчительных агрегатов, снижения удельного расхода электроэнергии на передел [2, 3, 4, 5].

В качестве прибора измерения вибрации выбран пьезоэлектрический датчик, который устанавливается на корпус подшипникового узла вертикально на шпильке.

Критерием косвенной оценки величины внутримельничной загрузки будет являться выходной

сигнал ускорения пьезоэлектрического акселерометра.

Величины интенсивности амплитуд вибраций подшипниковых узлов и величина уровня загрузки шаровой мельницы посредством рудной гали и скрапа считаются обратно пропорциональными величинами.

Мониторинг вибрации промышленных объектов является одним из важнейших условий безостановочной и безопасной работы оборудования. Основные объекты контроля — электромоторы, воздуходувки, насосные агрегаты, компрессоры, турбины, мельницы и другое критическое оборудование, от функционирования которого зависит производственный процесс

В зависимости от уровня загрузки МШРГУ материалом, а также измельчающей средой (шарами) изменяются амплитуды колебаний вибрации в под-



РИСУНОК 3 Общий вид вибропреобразователя РСВ серии 645

FIGURE 3 General view of the 645 series PCB vibration converter



шипниках. Т. е. по мере увеличения уровня загрузки мельницы измельчаемой средой сигналы амплитуд вибраций подшипников будут снижаться. Соответственно, по мере уровня уменьшения загрузки они начнут увеличиваться.

Экспериментальные исследования в разработке и отладке системы автоматического контроля вибрации подшипников мельниц МШРГУ 4 500 x 6 000 в условиях девятой технологической секции обогатительной фабрики «Лебединский ГОК» позволили выявить и оценить достаточно точную обратно пропорциональную закономерность между переходными характеристиками амплитуд колебаний вибрации в подшипниках и уровнем внутримельничного заполнения мельницы измельчаемым материалом.

В качестве измерительного прибора системы автоматического контроля вибрации подшипников МШРГУ 4 500 x 6 000 был выбран пьезоэлектрический вибропреобразователь 4–20 мА (с токовой петлей) по ускорению (м/с^2) и серии 645, произведённый компанией РСВ Piezotronics (подразделение IMI Sensors).

Акселерометры РСВ Piezotronics позволяют измерять параметры вибрации в вертикальных и горизонтальных плоскостях и контролировать вибрационное состояние подшипников всех типов агрегатов. Также они помогают диагностировать дисбаланс валов и показывать реальное состояние контролируемого объекта. Токовые датчики вибрации 4–20 мА (с выходом по току) обеспечивают простоту и экономичность для задач вибрационного мониторинга и защиты критически важных механизмов и узлов агрегатов на промышленных объектах. Датчики серии 640 внесены в Государственный реестр средств измерения РФ.

Общий вид вибропреобразователя РСВ серии 645 приведён на рис. 3. Его технические характеристики указаны в табл. 2.

В работе проведены исследования с целью определения наиболее информационного диапазона величины виброускорения с датчика (вибропре-

ТАБЛИЦА 2 Технические характеристики вибропреобразователя РСВ серии 645

TABLE 2 Technical characteristics of the 645 series PCB vibration converter

№ п/п №	Показатель Indicator	Значение Index
1	Модель Model	645B 01
2	Принцип действия Principle of operation	Пьезоэлектрический Piezoelectric
3	Контролируемый параметр Controlled parameter	Виброускорение Vibration acceleration
4	Диапазон измерений, м/с^2 (СКЗ) Measuring range, m/s^2 (RMS)	0,0–49
5	Выход, мА Output, mA	4–20
6	Частотный диапазон ($\pm 10\%$), Гц Frequency range ($\pm 10\%$), Hz	3–5000
7	Разрешение, м/с^2 Resolution, m/s^2	0,24
8	Нелинейность, % Non-linearity, %	≤ 1
9	Температурный диапазон, $^{\circ}\text{C}$ Temperature range, $^{\circ}\text{C}$	–40 до +85
10	Напряжение питания, В (DC) Supply voltage, V (DC)	12–30
11	Размер, мм Size, mm	25,4 x 66,0
12	Масса, г Weight, gr	131
13	Разъем Connector	2-Pin MIL-C-5015
14	Расположение разъема Connector location	Верхний Upper
15	Крепление Bracing	Шпилька Hairpin
16	Государственный реестр СИ State Register of Measuring Instruments	№ 71333–18

образователя) РСВ серии 645 в различных режимах работы МШРГУ 4 500 x 6 000:

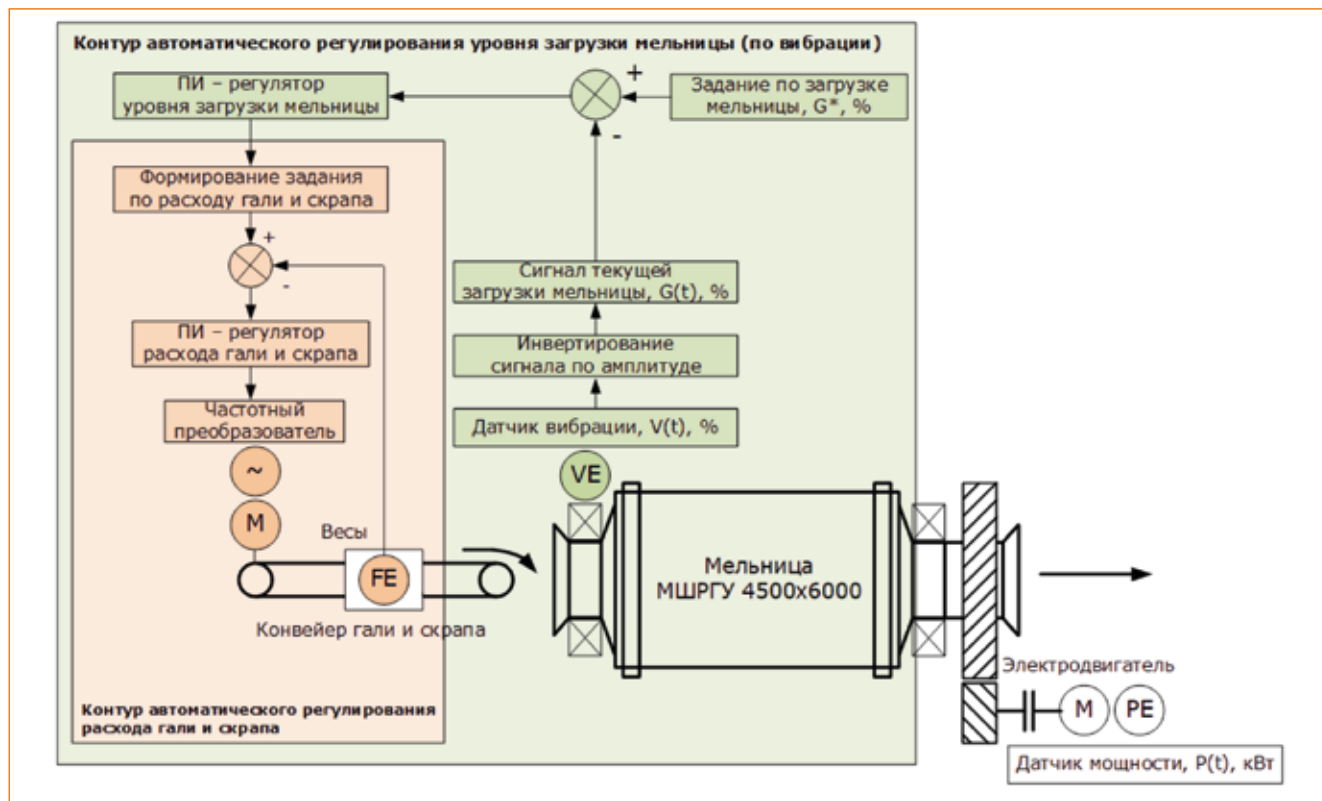
— исследованы спектральные характеристики сигналов виброускорений с двух аналогичных датчиков, установленных на подшипниках с загрузочной и разгрузочных сторон мельницы;

— изначально для калибровки системы сбор данных производился с 24-часовой продолжительностью по времени в чередовании режимов низкого и высокого уровней заполнения мельницы (регулировка



РИСУНОК 4 Структура автоматизированной системы управления технологическим процессом шаровой мельницы МШРГУ 4500 x 6000: VE — датчик вибрации; FE — датчик расхода; PE — датчик мощности; M — электродвигатель; (~) — преобразователь частоты

FIGURE 4 Structure of the automated process control system of the MSHRGU 4500 x 6000 ball mill: VE — vibration sensor; FE — flow sensor; PE — power sensor; M — electric motor; (~) — frequency converter



Примечания/Notes. Мельница МШРГУ 4500 x 6000 / Mill MSHRGU 4500 x 6000. Электродвигатель / Electric motor. Датчик мощности, P(t), кВт / Power sensor, P(t), kW. Контур автоматического регулирования уровня загрузки мельницы (по вибрации) / Automatic control circuit of the mill loading level (by vibration). Датчик вибрации, V(t), % / Vibration sensor, V(t), %. Инвертирование сигнала по амплитуде / Inverting the signal by amplitude. Сигнал текущей загрузки мельницы, G(t), % / Current mill loading signal, G(t), %. Задание по загрузке мельницы, G*, % / Mill loading task, G*, %. ПИ — регулятор уровня загрузки мельницы / PI — mill loading level controller. Контур автоматического регулирования расхода гали и скрапа / Contour of automatic control of the flow of galia and scrap. Конвейер гали и скрапа / Galia and scrap conveyor. Весы/Scales. Формирование задания по расходу гали и скрапа / Formation of a task for the consumption of galia and scrap. ПИ — регулятор расхода гали и скрапа / PI — flow regulator of galia and scrap. Частотный преобразователь / Frequency converter.

входной нагрузки задавалась оператором в течении 24 часов в ручном режиме).

Анализ спектральных характеристик сигналов виброускорений с датчиков позволил выявить, что:

- наибольшая информативность сигнала с вибропреобразователя РСВ серии 645 сконцентрирована в частотном диапазоне 1500–3000 Гц;
- амплитуда сигнала виброускорения на подшипнике со стороны загрузки мельницы в два раза выше, чем на подшипнике со стороны разгрузки. Соответственно, на переднем подшипнике чувствительность сигнала к изменению внутримельничного заполнения в два раза выше.

Методология косвенного определения динамики изменения уровня заполнения шаровой мельницы МШРГУ 4500 x 6000 посредством гали и скрапа в данном случае предполагает амплитудный контроль сигнала виброускорения с вибропреобразователя.

Анализ переходных характеристик виброускорений с вибропреобразователя РСВ серии 645 показал, что:

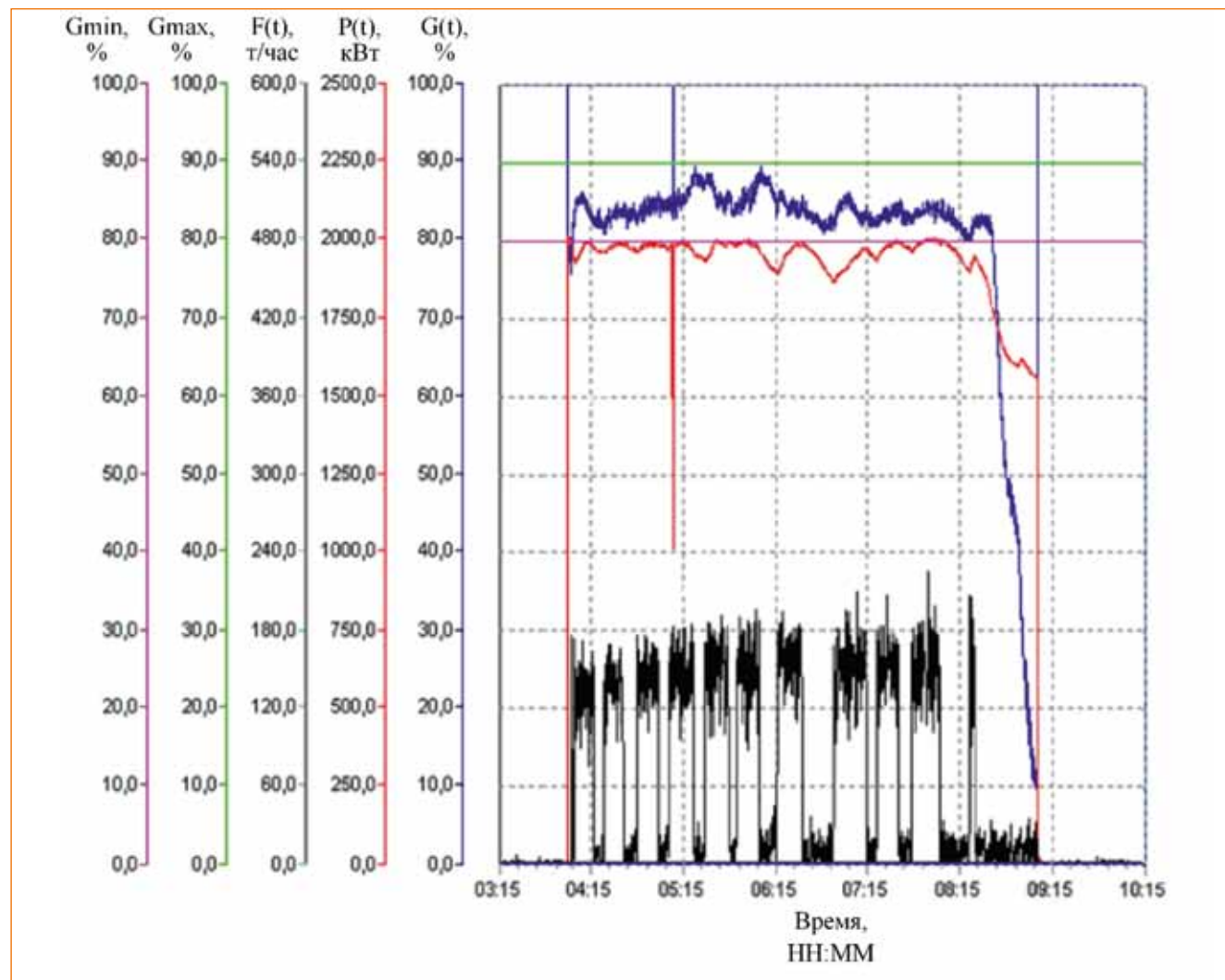
- наибольшая амплитуда сигнала виброускорения с датчика соответствует режиму, когда мельница пуста (рудная галия и скрап полностью отсутствуют), так как траектории падений и сила ударов о футеровку шаров в мельнице будет максимальной;
- при заполнении МШРГУ измельчаемой средой (это рудная галия и скрап) амплитуда сигнала виброускорения с датчика уменьшается.

Соответственно, для ведения технологического процесса мельнице в наиболее эффективном режиме [6]. (максимальная производительность, минимальный удельный расход электроэнергии) необходимо автоматизировать процесс загрузки с целью поддержания уровня сигнала виброускорения с вибропреобразователя в экспериментально установленных пределах.



РИСУНОК 5 Динамика переходных характеристик сигналов шаровой мельницы МШРГУ 4 500 x 6 000 в предперегрузочном режиме: уровень загрузки мельницы по вибрации — $G(t)$, %; активная мощность электродвигателя мельницы — $P(t)$, кВт; мгновенный расход гали и скрапа в мельницу (конвейерные весы на конвейерах 9–3, 9–4) — $F(t)$, т/час; нижний предел эффективной работы мельницы — G_{min} , %; верхний предел эффективной работы мельницы — G_{max} , % (критерий защиты от перегруза)

FIGURE 5 Dynamics of transient characteristics of the signals of the MSHRGU 4500 x 6000 ball mill in pre-loading mode: mill loading level by vibration — $G(t)$, %; active power of the mill motor — $P(t)$, kW; instantaneous consumption of gravel and scrap into the mill (conveyor scales on conveyors 9–3, 9–4) — $F(t)$, t/hour; the lower limit of the effective operation of the mill — G_{min} , %; the upper limit of the effective operation of the mill — G_{max} , % (the criterion for protecting the mill from overload)



Примечания/Notes. $F(t)$, т/час — $F(t)$, t/hour. $P(t)$, кВт — $P(t)$, kW. Время, HH: MM — Time, HH: MM.

Структура разработанной автоматизированной системы управления технологическим процессом (АСУТП) шаровой мельницы МШРГУ 4 500 x 6 000 для эффективного ведения процесса и автоматической защиты от перегруза приведена на **рис. 4**.

Формализован критерий определения предперегрузочного состояния шаровой мельницы с использованием сигнала виброускорения с вибропреобразователя с переднего подшипника.

С целью получения переходной характеристики изменения динамики уровня загрузки ($G(t)$, %) МШРГУ используем инвертирование сигнала вибрации переднего подшипника ($V(t)$, %) по амплитуде, так как

сигнал вибрации переднего подшипника и уровень загрузки мельницы — обратно пропорциональные величины. Т. е. $G(t) = 100 - V(t)$.

Используя информацию о динамике уровня загрузки по вибрации, экспериментально найден диапазон наиболее энергоэффективной работы мельницы (80–90%), найден предел по максимальному уровню загрузки мельницы (90%), при превышении которого МШРГУ 4 500 x 6 000 входит в перегруз **рис. 5**.

На **рис. 5** можно наблюдать две ситуации, когда мельница МШРГУ 4 500 x 6 000 чуть не вошла в режим перегруза, который чреват длительными



аварийными простоями и выходом из строя основного оборудования (динамика изменения уровня загрузки по вибрации; динамика изменения активной мощности электродвигателя мельницы; динамика мгновенного расхода гали и скрапа (конвейерные весы на конвейерах 9–3, 9–4); нижний и верхний пределы эффективной работы (критерий защиты мельницы от перегруза)).

Метод защиты мельницы от перегруза с помощью сигналов вибрации в подшипниках позволяет минимизировать риски чрезмерной нагрузки и длительных аварийных простоев МШРГУ 4 500 х 6 000

Максимальное значение сигнала уровня загрузки по вибрации — 90% (по времени ориентировочно в 05:30 и 06:00). Оно соответствует максимально допустимому показателю уровня загрузки, как отме-

чено на **рис. 5**. Ситуация сопровождалась остановкой загрузочного конвейера гали и скрапа (9–3, 9–4) в автоматическом режиме с последующим выводом МШРГУ-4 500 х 6 000 на регламентный и эффективный режим работы.

Заключение

Метод защиты мельницы от перегруза с помощью сигналов вибрации в подшипниках позволяет минимизировать риски чрезмерной нагрузки и длительных аварийных простоев МШРГУ 4 500 х 6 000.

Использование разработанной автоматизированной системы управления загрузкой мельницы обогатительной фабрики «Лебединский ГОК» с применением вышеприведенного критерия позволит достаточно безопасно подвести процесс к оптимуму без возникновения аварийных ситуаций. Кроме того, это обеспечит эффективный вывод гали и скрапа с УО-1, УО-2 и повысит эффективность производства за счет сокращения удельного расхода электроэнергии.

Данная автоматизированная система управления технологическим процессом шаровой мельницы МШРГУ 4 500 х 6 000 не требует установки нового программного обеспечения и может быть реализована возможностями существующей схемы автоматизации.

Литература/References

1. Виноградов В.С. Автоматизация технологических процессов на горнорудных предприятиях: Справочное пособие. М.: Недра, 1984. 167 с. [Vinogradov V.S. Automation of technological processes at mining enterprises: Reference manual. Moscow: Nedra, 1984. 167 p. (In Russ.).]
2. Улитенко К.Я., Попов Е.В. Автоматическая защита барабанных мельниц от технологических перегрузок. Обогащение руд. 2004; 2. [Ulitenko K. Ya., Popov E.V. Automatic protection of drum mills from technological overloads. Ore Enrichment. 2004; 2. (In Russ.).]
3. Улитенко К.Я., Соколов И.В., Маркин Р.П. Применение виброакустического анализа для контроля объемного заполнения мельниц. Цветные металлы. 2005; 10. [Ulitenko K. Ya., Sokolov I.V., Markin R.P. Application of vibroacoustic analysis for control of volumetric filling of mills. Non-Ferrous Metals. 2005; 10. (In Russ.).]
4. Тараненко М.Е., Нусс М.В. Опыт использования датчиков вибрации для оценки предперегрузочных состояний измельчительных агрегатов. Вестник Воронежского государственного технического университета. 2008; 2 (4): 108–110. [Taratenko M.E., Nuss M.V. Experience of using vibration sensors to assess the pre-loading states of grinding units. Bulletin of the Voronezh State Technical University. 2008; 2 (4): 108–110. (In Russ.).]
5. Тараненко М.Е. Автоматизированная система управления технологическим процессом измельчения руды в мельницах мокрого самоизмельчения. Горный информационно-аналитический бюллетень МГУ. 2010; 10. [Taratenko M.E. Automated control system for the technological process of ore grinding in wet self-grinding mills. Mining Information and Analytical Bulletin of Moscow State University. 2010; 10. (In Russ.).]
6. Деревяшкин И.В., Садыков А.А. Основные технологические процессы, их проблемы и решения на Калининградском янтарном комбинате. Технический оппонент. 2018; 1 (1): 58–67. [Derevyashkin I.V., Sadikov A.A. The main technological processes, their problems and solutions at the Kaliningrad amber combine. Tekhnicheskii opponant=Technical opponent. 2018; 1 (1): 58–67. (In Russ.).]

Вклад автора. М.Е. Тараненко: разработка дизайна исследования, получение данных для анализа, обзор публикаций по теме статьи, статистический анализ полученных данных, написание текста рукописи.

Author's contribution. M.E. Taratenko: developing of research design, obtaining data for analysis, reviewing publications on the topic of the article, statistical analysis of the obtained data, article writing.

Конфликт интересов. Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest. The author declares no conflict of interest.

Финансирование. Исследование проведено без спонсорской поддержки.

Financing. The study was performed without external funding.

Статья поступила: 27.01.2023. **Принята к публикации:** 06.03.2023.
Article received: 27.01.2023. **Accepted for publication:** 06.03.2023.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ

Тараненко Максим Евгеньевич, к.т.н., доцент кафедры горного дела. Губкинский филиал «Национального исследовательского технологического университета «МИСИС». Адрес: 309186, г. Губкин, ул. Комсомольская, д. 16. Телефон: +7 (472) 415-51-83. E-mail: gf@MISIS.ru. ORCID: 0000-0002-2276-6504.

AUTHOR INFORMATION

Taratenko Maxim Evgenievich, PhD in Technology, Associate Professor, Mining Engineering Department. Gubkin branch of the National Research Technological University «MISIS». Address: 16 Komsomolskaya str., Gubkin, 309186. Phone: +7 (472) 415-51-83. E-mail: gf@MISIS.ru. ORCID: 0000-0002-2276-6504.



Динамические методы оценки риска на производстве

УДК 331.453
UDC 331.453



АВТОРЫ

AUTHORS

Dynamic Methods of Risk Assessment in Production

А.А. Лунегова, к.э.н., доцент,
А.В. Болотин, к.х.н., доцент,
Е.В. Пахомова

Губкинский филиал Национального исследовательского технологического университета «МИСИС», г. Губкин, Россия

A.A. Lunegova,
A.V. Bolotin,
E.V. Pahomova

Gubkin branch of the National University of Science and Technology «MISIS», Gubkin, Russia

РЕЗЮМЕ

SUMMARY

В аспекте использования математических подходов системного анализа [1] построена качественная теория динамики изменения численности людей, подвергаемых воздействиям опасных производственных факторов. Представлены обобщенные дифференциальные уравнения для относительной скорости роста численности людей, включенных в сферу влияния опасных факторов на производстве. Детально рассмотрены обыкновенные дифференциальные уравнения. В них относительная скорость роста является функцией только общей численности людей, первоначально не подверженных воздействию разнообразных опасностей. Решение дифференциального уравнения в приближении механизма автокаталитического роста [1, 2] приводит к аналитической зависимости для относительного прироста тех, кто подвержен влиянию опасных производственных факторов, позволяющей предсказать поведение временной переменной, а также теоретически рассчитать характерное время T , отвечающее максимальной вероятности смертельного исхода работников (в зависимости от текущего значения расчетного значения фактического уровня опасности на конкретном производстве). Результаты теоретического анализа могут быть использованы при построении имитационной модели управления обеспечением безопасности с учетом специфики конкретного производственного процесса.

The qualitative theory of dynamic pattern of population changes induced by hazardous occupational factors is built in the aspect of use of mathematical approaches of system analysis [1]. The paper presents the generalized differential equations for relative growth rate of population included in the impact area of hazardous occupational factors. The article reviews in detail the ordinary differential equations where the relative growth rate is the function only for total number of people who were not originally exposed to multiple hazards. The solution of the differential equation in the approximation of the mechanism of autocatalytic growth [1, 2] leads to the analytical dependence for relative increase of population exposed to harmful production factors that allows to predict the behavior of a temporary variable and theoretically calculate the typical time of maximum probability of fatalities among employees depending on the current calculated value of the actual level of danger at specific production facilities. The results of the theoretical analysis can be used in the construction of a simulation model for managing safety process, taking into account the specifics of production.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

KEYWORDS

ДИНАМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ, РИСК, ОПАСНЫЕ ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ ФАКТОРЫ, МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ, СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ

DYNAMIC METHODS, RISK, HAZARDOUS PRODUCTION FACTORS, MATHEMATICAL MODELING, SYSTEM ANALYSIS

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ

FOR CITATION

Лунегова А.А., Болотин А.В., Пахомова Е.В.
Динамические методы оценки риска на производстве.
Технический оппонент. 2023; 1 (9): 34–37.

Lunegova A.A., Bolotin A.V., Pahomova E.V. **Dynamic methods of risk assessment in production.**
Technicheskiy opponent = Technical Opponent. 2023; 1 (9): 34–37.

Введение

Быстрые изменения в технике и технологии выдвигают более жесткие требования к обеспечению безопасности на производстве. В 2021 году произошли существенные изменения в охране труда, в которых ключевой момент уделяется оценке профессиональных рисков. Однако методические указания по их анализу характеризуются субъективностью, отсутствием чет-

ких критериев присвоения параметрам тех или иных значений. Поэтому поиск количественных методов оценки профессионального риска является актуальной задачей.

Исследование проведено на основании данных федерального и регионального статистического наблюдения. Период наблюдения составил три года (2018–2021). Первичные данные подвергались стандартной статистической обработке с использованием стандартных



ТАБЛИЦА 1 Сравнительная характеристика динамики пострадавших со смертельным исходом в результате несчастных случаев на производстве за 2019–2021 годы (3)

TABLE 1 Comparative characteristics of the dynamics of fatalities as a result of industrial accidents in 2019–2021 (3)

Наименование Name	2019		2020		2021	
	Чел. Pers.	%	Чел. Pers.	%	Чел. Pers.	%
Российская Федерация Russian Federation	1 613	100	1 476	100	1 655	100
Белгородская область Belgorod region	13	0,8	26	1,8	16	1,0

ТАБЛИЦА 2 Сравнительная характеристика динамики пострадавших со смертельным исходом в результате несчастных случаев на производстве при добыче полезных ископаемых за 2019–2021 годы (3)

TABLE 2 Comparative characteristics of the dynamics of fatalities as a result of industrial accidents during mining in 2019–2021 (3)

Наименование Name	2019		2020		2021	
	Чел. Pers.	%	Чел. Pers.	%	Чел. Pers.	%
Российская Федерация Russian Federation	121	100	124	100	177	100
Белгородская область Belgorod region	2	1,7	2	1,6	3	1,7
В том числе женщин Including women	1	*	2	*	3	*

статистических методик. Применены сведения по федеральным округам и субъектам Российской Федерации.

Анализ травматизма на производстве

Травмы на производстве характеризуются высокой распространенностью, а также тяжелыми медицинскими, социальными и экономическими последствиями. Статистические данные свидетельствуют, что количество несчастных случаев далеко от нуля. В рамках исследования нами проведен анализ несчастных случаев на производстве со смертельным исходом в Российской Федерации и Белгородской области (табл. 1).

В Белгородской области функционируют горнодобывающие предприятия, которые являются источником повышенной опасности (табл. 2).

Оценка индивидуальных профессиональных рисков стала объектом исследования многих ученых современности. Их позиция основывается на следующем постулате — реализация несчастного случая предопределена последовательностью событий: это ошибка человека, и/или техническая неисправность,

ТАБЛИЦА 3 Фактический уровень опасности на производстве (по материалам Белгородской области) (6)

TABLE 3 The actual level of danger at work (based on the materials of the Belgorod region) (6)

Наименование Name	2019	2020	2021
На всех объектах экономики At all objects of the economy	$0,17 \cdot 10^{-4}$	$0,34 \cdot 10^{-4}$	$0,21 \cdot 10^{-4}$
В горнодобывающей отрасли In the mining industry	$0,75 \cdot 10^{-4}$	$0,76 \cdot 10^{-4}$	$1,15 \cdot 10^{-4}$

и/или неблагоприятное внешнее воздействие. Сюда следует добавить неисправность или отсутствие средств защиты и/или неточные действия работника в создавшейся ситуации [4]. Средней величиной приемлемого риска в профессиональной сфере обычно принимают $2,5 \cdot 10^{-4}$ гибели человека в год [5].

Указанные табличные данные свидетельствуют о критическом приближении к опасному значению в 2021 году. Условия профессиональной деятельности считаются безопасными, если риск для персонала ниже приемлемого, и опасными, если превышает этот порог.

Математическая модель управления процессом обеспечения безопасности на производстве

В целях управления процессом обеспечения безопасности надлежит выполнить теоретический анализ динамики изменения средней численности людей во времени, подвергшихся воздействию опасных производственных факторов.

Для упрощения теоретического анализа временной эволюции рассматриваемого процесса будем использовать понятие относительной скорости роста

численности людей $\frac{1}{b} \cdot \frac{db}{dt} \{ \text{время} \}^{-1}$, подвергшихся

воздействию опасных факторов на производстве (с вероятностью смертельного исхода), и представлять ее в общем случае как функцию двух перемен-



ных: численности людей, не подвергшихся воздействию опасностей (a), и времени (t):

$$\frac{1}{b} \frac{db}{dt} = f(a; t) \quad (1).$$

Очевидно, что нахождение в общем виде функциональной зависимости $f(a; t)$ и решение дифференциального уравнения (1) представляют собой довольно сложную задачу.

Упрощение достигается при рассмотрении двух предельных случаев, когда величина $\frac{1}{b} \cdot \frac{db}{dt}$

является функцией только a либо функцией только t . В настоящем сообщении мы ограничимся теоретическим анализом первого предельного случая.

Принимая в качестве простейшей зависимости линейную зависимость $f(a) = ka$, запишем уравнение (1) для первого предельного случая так [7–9]:

$$\frac{db}{dt} = kab \quad (2).$$

В уравнении (2): a — численность людей, не подвергшихся воздействию опасных (вредных) факторов; b — численность людей, подвергшихся воздействию опасных факторов на производстве (с вероятностью смертельного исхода).

Пусть x — прирост b в результате включения новых людей в сферу действия опасных факторов, т. е. $x = b - b_0$, где b_0 — начальная численность людей, подвергающихся воздействию опасных факторов на производстве. Учитывая, что прирост b равен убыли a , получим вместо (2) дифференциальное уравнение:

$$\frac{dx}{dt} = k(a_0 - x)(b_0 + x) \quad (3),$$

здесь a_0 — начальная численность людей, не подвергшихся воздействию опасных (вредных) факторов.

Перейдем к безразмерным переменным и параметрам по формулам:

$$\frac{x}{a_0} = \phi; \quad ka_0 t = \tau; \quad \frac{b_0}{a_0} = \phi_0 \quad (4)$$

и перепишем (3) в таком виде:

$$\frac{d\phi}{d\tau} = (1 - \phi)(\phi + \phi_0) \quad (5).$$

Разделяя переменные и производя интегрирование (5), после простых преобразований получим:

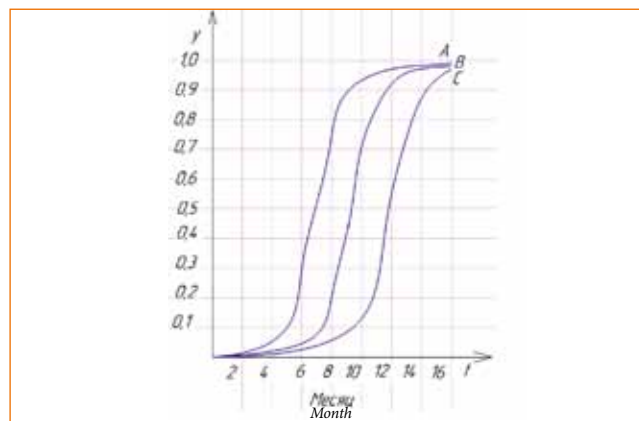
$$\frac{1}{1 + \phi_0} \int_0^{\phi} \left[\frac{d\phi}{1 - \phi} + \frac{d\phi}{\phi + \phi_0} \right] = \int_0^{\tau} d\tau \Rightarrow \ln \frac{\phi + \phi_0}{\phi_0(1 - \phi)} = (1 + \phi_0)\tau.$$

Уравнение динамики изменения $\phi(t)$ представим в виде:

$$\phi = \frac{\phi_0 \left(e^{(1 + \phi_0)\tau} - 1 \right)}{1 + \phi_0 e^{(1 + \phi_0)\tau}} \quad (6).$$

РИСУНОК 1 Временные зависимости $\phi(t)$, рассчитанные по уравнению (7), при разных значениях ϕ_0 : А — 10–3; В — 10–4; С — 10–5

FIGURE 1 Time dependences calculated by equation (7) for different values: A — 10–3; B — 10–4; C — 10–5



Из начальных условий следует, что $b_0 \ll a_0$, поэтому параметр $\phi_0 = \frac{b_0}{a_0} \ll 1$ может быть интерпретирован как фактический уровень опасности на производстве (табл. 3).

В силу отмеченного можно пренебречь ϕ_0 в уравнении (6) по сравнению с единицей:

$$\phi = \frac{\phi_0 (e^{\tau} - 1)}{1 + \phi_0 e^{\tau}} \quad (7).$$

На рис. 1 представлены рассчитанные по уравнению (7) временные зависимости $\phi(t)$ для разных значений параметра ϕ_0 .

Таким образом, траектория прироста достигает стационарного состояния при некотором значении безразмерно времени, отвечающего максимальной вероятности наступления смертельного исхода на производстве, в результате суммарного действия опасных (вредных) факторов, когда в сферу их воздействия уже включены все работающие. Как видно из анализа временных зависимостей, характерное время существенно зависит от текущего значения рассчитанного фактического уровня опасности на производстве, значительно увеличивается при уменьшении ϕ_0 и достигается быстрее при его увеличении. При этом численное значение размерного времени определяется параметром k , зависящим от характеристических времен моделируемых производственных процессов.

Закключение

В рамках данного исследования сделаны выводы.

1. Предложена обобщенная математическая модель управления процессом обеспечения безопасности на производстве, базирующаяся на использовании понятия относительной скорости роста численности людей



$\left(\frac{1}{b} \cdot \frac{db}{dt}\right)$, подвергшихся воздействию всей совокупности

опасных факторов.

2. Детально проанализирован важный частный случай, когда относительная скорость роста численности людей является функцией только лишь одной переменной — общей численности людей, не включенных в область воздействия опасных (вредных) факторов.

3. Произведена конкретизация зависимости относительной скорости роста в приближении автокаталитического роста.

4. Получено аналитическое решение математической модели относительного прироста людей,

вовлеченных в сферу воздействия опасных производственных факторов.

5. Построены временные зависимости $\phi(t)$, позволяющие определить характерное время τ , по достижении которого вероятность возникновения смертельных случаев работающих на производстве максимальна.

6. Предлагается использовать математические модели вида (1), (5), (6), (7) в качестве базовых для прогнозирования изменения времени максимальной вероятности наступления смертельных случаев (в зависимости от фактического уровня опасности на производстве).

Литература/References

1. Болотин А.В., Лунегова А.А. Динамика изменения численности людей в сфере деятельности некоммерческих организаций. Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Социально-экономические науки. 2019; 2: 247–257. [Bolotin A.V., Lunegova A.A. Dynamics of change in the number of people in the sphere of non-profit organizations. Bulletin of Perm National Research Polytechnic University. Socio-Economic Sciences. 2019; 2: 247–257. (In Russ.)].
2. Лунегова А.А., Болотин А.В., Захарцова Т.И. и соавт. Оценка достижений обучающихся с ограниченными возможностями здоровья в условиях инклюзивного обучения. Научные исследования в современном мире. Теория и практика: сборник избранных статей Всероссийской (национальной) научно-практической конференции. Санкт-Петербург, 10 июня 2021. СПб.: Пуманитарный национальный исследовательский институт «Нацразвитие», 2021: 43–46. [Lunegova A.A., Bolotin A.V., Zaharczova T.I. et al. Assessing the achievements of students with disabilities in an inclusive learning environment. Scientific research in the modern world. Theory and practice: collection of selected articles of the All-Russian (national) scientific-practical conference. St. Petersburg, June 10, 2021. SPb.: Humanitarian National Research Institute «Natsrazvitiye», 2021: 43–46. (In Russ.)].
3. Сведения о количестве пострадавших со смертельным исходом в результате зарегистрированных несчастных случаев на производстве за 2021 год [Электронный ресурс]. URL: https://rostrud.gov.ru/control/sobyudeniye-zakonodatelstva-o-trude/?CAT_ID=146 (дата обращения: 11.09.2022). [Information about the number of victims with a fatal outcome as a result of accidents at work registered in 2021 [Electronic resource]. URL: https://rostrud.gov.ru/control/sobyudeniye-zakonodatelstva-o-trude/?CAT_ID=146 (access date: 11.09.2022). (In Russ.)].
4. Хамидуллина Е.А., Толстикова Ю.А., Поветкина П.Н. Системный подход к обеспечению безопасности работ на высоте. XXI век. Техносферная безопасность. 2018; 3 (3): 24–35. [Xamidullina E.A., Tolstixina Yu.A., Povetkina P.N. A systematic approach to ensuring the safety of work at height. XXI century. Technosphere Safety. 2018; 3 (3): 24–35. (In Russ.)].
5. Термины МЧС России [Электронный ресурс]. URL: <https://www.mchs.gov.ru/ministerstvo/o-ministerstve/terminy-mchs-rossii/term/2555> (дата обращения: 11.09.2022). [Terms of the Ministry of Emergency Situations of Russia [Electronic resource]. URL: <https://www.mchs.gov.ru/ministerstvo/o-ministerstve/terminy-mchs-rossii/term/2555> (access date: 11.09.2022). (In Russ.)].
6. Статистический ежегодник. Белгородская область. Белгород, 2021. 508 с. [Электронный ресурс]. URL: https://belg.gks.ru/storage/mediabank/0109_2020.pdf (дата обращения: 11.09.2022). [Statistical Yearbook. The Belgorod Region. Belgorod, 2021. 508 p. URL: https://belg.gks.ru/storage/mediabank/0109_2020.pdf (access date: 11.09.2022). (In Russ.)].
7. Болотин А.В., Мага И.М., Нечипорук В.В. и соавт. Математическое моделирование в микробиологии и химической технологии пищевых добавок: Учебное пособие. Ужгород: Издательство В. Падяка, 2014. 368 с. [Bolotin A.V., Maga I.M., Nechiporuk V.V. et al. Mathematical simulation in microbiology and chemical technology of food additives: Textbook. Uzhgorod: Izdatel'stvo V. Padiak 2014. 368 p. (In Russ.)].
8. Кудрявцев И.К. Химические нестабильности. М.: Издательство МГУ, 1987. 280 с. [Kudryavcev I.K. Chemical instability. Moscow: Moscow State University Press. 1987. 280 p. (In Russ.)].
9. Николис Дж.С. Динамика иерархических систем: эволюционные представления. М.: Мир, 1989. 486 с. [Nikolis Dzh.S. Dynamics of Hierarchical Systems: Evolutionary Concepts. Moscow: World, 1989. 486 p. (In Russ.)].

Вклад авторов. А.А. Лунегова: изучение данных для анализа, обзор публикаций по теме статьи, статистический анализ полученных данных, написание текста рукописи; А.В. Болотин: разработка математического аппарата, написание текста рукописи (разделы «Резюме», «Математическая модель управления процессом обеспечения безопасности на производстве», «Заключение»); Е.В. Пахамова: изучение данных для анализа, обзор публикаций по теме статьи.

Authors contributions. A.A. Lunegova: study of data for analysis, review of publications on the topic of the article, statistical analysis of the data obtained, writing the text of the manuscript; A.V. Bolotin: development of mathematical apparatus, writing the text of the manuscript (sections «Summary», «Mathematical model of management of the process of ensuring safety at work», «Conclusions»); E.V. Pakhamova: study of data for analysis, review of publications on the topic of the article.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Финансирование. Исследование проведено без спонсорской поддержки.

Financing. The study was performed without external funding.

Статья поступила: 16.01.2023. **Принята к публикации:** 21.02.2023.

Article received: 16.01.2023. **Accepted for publication:** 21.02.2023.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Лунегова Анастасия Антоновна, доцент, к.э.н., доцент кафедры горного дела*.

Болотин Александр Викторович, к.х.н., доцент кафедры горного дела*.

Пахомова Екатерина Владимировна, студент группы ТБ-22, направления обучения «Техносферная безопасность», профиль «Безопасность технологических процессов»*.

* Губкинский филиал Национального исследовательского технологического университета «МИСИС». Адрес: 309186, г. Губкин, ул. Комсомольская, д. 16. Телефон: +7 (472) 415-51-83. E-mail: gf@MISIS.ru.

AUTHORS INFORMATION

Lunegova Anastasia Antonovna, Associate Professor, Candidate of Economics, Associate Professor of the Mining Department*. ORCID: 0000-0003-4633-6768.

Bolotin Alexander Viktorovich, PhD in Chemistry, Associate Professor of the Mining Department*.

Pakhomova Ekaterina Vladimirovna, student of TB-22 group, areas of study «Technosphere safety», profile «Safety of technological processes»*. ORCID: 0000-0001-5784-5854.

* Gubkin branch of the National Research Technological University «MISIS». Address: 16 Komsomolskaya str., Gubkin, 309186. Phone: +7 (472) 415-51-83. E-mail: gf@MISIS.ru.

УДК 622.235:622.73
UDC 622.235:622.73

Эффективность взрывного разупрочнения железистых кварцитов при отбойке в карьере Лебединского ГОКа и дальнейшей переработке



The Effectiveness of Explosive Softening of Ferruginous Quartzites During Breaking in the Lebedinsky GOK Quarry and Further Processing

АВТОРЫ

Д.В. Ермолаев, к.э.н., доцент,
Н.Д. Королев, к.т.н., доцент

AUTHORS

D.V. Ermolaev,
N.D. Korolev

Губкинский филиал Национального исследовательского технологического университета «МИСИС», г. Губкин, Россия

Gubkin branch of the National Research Technological University «MISIS», Gubkin, Russia

РЕЗЮМЕ

SUMMARY

Эффект взрывного разупрочнения железистых кварцитов при скважинной отбойке в карьерах с повышенными взрывными нагрузками изучен достаточно подробно. Обширные исследования в лабораторных условиях и промышленные опыты в железорудных карьерах РФ количественно показали влияние повышенных взрывных нагрузок на снижение прочности руды и повышение показателей ее переработки. Но с увеличением взрывных нагрузок возникают проблемы: растут затраты на буровзрывные работы (БВР), повышается удельный расход ВМ, снижается выход руды с 1 пог. м скважин; увеличивается ширина развала уступа. Для решения этих задач предложена конструкция кольцевого скважинного заряда. Удельный расход ВВ на отбойку по уступу сократился до 1,43 кг/м³, для сплошного заряда — до 2,64 кг/м³. В условиях Лебединского ГОКа возникает проблема понижения производительности мельниц мокрого самоизмельчения (ММС) с уменьшением диаметра среднего куска разупрочненной руды. Разработана методика расчета итогового снижения производительности ММС при измельчении разупрочненной руды. Проведен экономический анализ процессов рудоподготовки с обычными параметрами БВР и предлагаемыми параметрами с кольцевым зарядом скважин, который показал, что взрывное разупрочнение железистых кварцитов при отбойке в карьере Лебединского ГОКа неэффективно: убытки могут составить около 0,5 млрд рублей в год.

The effect of explosive softening of ferruginous quartzites during borehole chipping in quarries with increased explosive loads has been studied in sufficient detail. Extensive laboratory studies and industrial experiments in the iron ore quarries of the Russian Federation have quantitatively shown the effect of increased explosive loads on reducing the strength of ore and increasing its processing performance. But with an increase in explosive loads, problems arise: the cost of BVR increases, the specific consumption of VM increases, the yield of ore from 1 m of wells decreases; the width of the collapse of the ledge increases. To solve these problems, the design of an annular borehole charge is proposed, the specific consumption of explosives for firing along the ledge has decreased to 1,43 kg/m³, for a solid charge — 2,64 kg/m³. In the conditions of Lebedinsky GOK, there is a problem of reducing the productivity of wet self-grinding mills (MMC) with a decrease in the diameter of the average piece of softened ore. The method of calculating the final decrease in the productivity of MMC has been developed.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

KEYWORDS

ЖЕЛЕЗИСТЫЕ КВАРЦИТЫ, ВЗРЫВНОЕ РАЗУПРочЕНИЕ, МЕЛЬНИЦЫ МОКРОГО САМОИЗМЕЛЬЧЕНИЯ, ОТБОЙКА УСТУПОВ, ВЗРЫВНАЯ НАГРУЗКА, ЭНЕРГОЗАТРАТЫ, ДИАМЕТР СРЕДНЕГО КУСКА, КОЛЬЦЕВОЙ ЗАРЯД, ИЗМЕЛЬЧЕНИЕ

FERRUGINOUS QUARTZITES, EXPLOSIVE SOFTENING, WET SELF-GRINDING MILLS, REBOUND OF LEDGES, EXPLOSIVE LOAD, ENERGY CONSUMPTION, DIAMETER OF THE MIDDLE PIECE, RING CHARGE, GRINDING

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ

FOR CITATION

Ермолаев Д.В., Королев Н.Д. Эффективность взрывного разупрочнения железистых кварцитов при отбойке в карьере Лебединского ГОКа и дальнейшей переработке. *Технический оппонент.* 2023; 1 (9): 38–44.

Ermolaev D.V., Korolev N.D. The efficiency of explosive softening of ferruginous quartzites during rebounding in the Lebedinsky GOK quarry and further processing. *Technicheskiy opponent = Technical Opponent.* 2023; 1 (9): 38–44.

Введение

Взрыв заряда ВВ в скальной горной породе не только дробит массив уступа на отдельные фрагменты, но также влияет на физико-механические свойства скальных фрагментов, уменьшая их прочность относительно прочности этой породы в целике массива. Теоретическими и экспериментальными исследованиями было установлено, что руда при взрывной отбойке подвергается мощному воздействию механического, электромагнитного и других полей. При этом в кусках пород отбитого уступа возникают и растут микротрещины, интенсивность которых определяет степень разупрочнения материала кусков и зависит от режимов взрывного нагружения [1–6]. Микронарушенность горных пород развивается в глубине отдельностей по границам рудных зерен и снижает затраты на последующее дробление и измельчение, а также оказывает влияние на раскрытие минералов, имеющих размеры около $10^{-4} \div 10^{-5}$ м, что характерно для процесса обогащения железистых кварцитов. Поэтому тема разупрочнения руды взрывным воздействием активно изучалась для железистых кварцитов, имеющих типовые микроструктуры и добываемых в большом объеме [7–12].

Подготовка железистых кварцитов к магнитному обогащению, включая этапы буровзрывных работ, дробления и измельчения руды, является единым процессом дезинтеграции целика до микроотдельностей. Конечная задача — максимизация выхода железа в концентрат при минимальных затратах на процесс. Отмечено, что измельчение (самоизмельчение) кварцитов в стоимости рудоподготовки составляет около 62,3%, при этом удельный вес энергозатрат на этапе измельчения в указанном процессе (СевГОК) достигал более 94%. На Лебединском ГОКе данный показатель для самоизмельчения в мельницах ММС — примерно 95,3%. Значительная относительная величина энергозатрат на измельчение в процессе рудоподготовки, естественно, приводит к идее их снижения за счет взрывного разупрочнения железистых кварцитов при отбойке с целью сокращения себестоимости производства концентрата.

Исследования

Обширные исследования в лабораторных и промышленных условиях для количественной оценки влияния интенсивности взрывных нагрузок на производительность погрузочно-транспортного, дробильного, измельчающего оборудования и показателей обогащения железистых кварцитов слоистой структуры были обобщены в работе [12], где убедительно показано «положительное влияние повышенных взрывных нагрузок на свойства руды и показатели ее переработки». Однако с увеличением взрывных нагрузок, соответственно, растут затраты на БВР, повышается удельный расход взрывчатых материалов (ВМ) и взрывных скважин на 1 м^3 отбитого массива, значительно увеличивается ширина развала взорванного уступа.

Лабораторно установлено, что прирост производительности измельчения железистых кварцитов

Лебединского ГОКа наблюдается на расстоянии (R_{pz}) не более семи диаметров (d_c) скважины ($R_{pz} = 7d_c$), что соответствует уменьшению размеров существующей сетки взрывных скважин на практике примерно в $1,5 \div 1,7$ раза. При подобном изменении параметров БВР для разупрочнения железистых кварцитов, взрывааемых в карьере, конечный экономический результат неочевиден. Поэтому перед проектированием отбойки уступов с разупрочнением руды необходимо выяснить экономическую целесообразность новых параметров БВР для разупрочнения железистых кварцитов при отбойке в карьере.

Подготовка железистых кварцитов к магнитному обогащению, включая этапы буровзрывных работ, дробления и измельчения руды, является единым процессом дезинтеграции целика до микроотдельностей. Конечная задача — максимизация выхода железа в концентрат при минимальных затратах на процесс

Для достижения поставленной цели исследования важно решить две основные задачи. Во-первых, определить параметры сетки скважин, обеспечивающей разупрочнение взорванной руды, и разработать конструкцию скважинного заряда, позволяющего получить компактный развал взорванного уступа при этой сетке и диагональной схеме взрывания скважин. Во-вторых, исследовать влияние параметров БВР, принятых для разупрочнения железистых кварцитов, на удельные затраты по всем процессам рудоподготовки при производстве концентрата — от отбойки до обогащения.

Метод исследования проблемы включал анализ существующего опыта и результатов лабораторных и промышленных испытаний отбойки уступов железистых кварцитов с повышенными взрывными нагрузками и обогатимости руды, а также аналитические расчеты удельных затрат на рудоподготовку разупрочненных железистых кварцитов по процессам, уменьшающим себестоимость концентрата или увеличивающим ее. Расчетные затраты сравнивались со среднегодовыми показателями аналогичных удельных расходов на ГОКе при отбойке кварцитов с типичными параметрами БВР. При сравнении принимались одинаковыми: диаметр взрывных скважин ($d_c = 0,27 \text{ м}$), тип ВВ и плотность заряда, способы и средства инициирования зарядов скважин, схема взрывания блоков, стоимость услуг (работ) и цены на материалы (на уровне 2019 года по комбинату).

Увеличивают затраты на рудоподготовку разупрочненных железистых кварцитов процессы бурения взрывных скважин, их зарядание и взрывание. Удельные расходы на бурение скважин зависят от сетки их расположения и определяются выходом руды (V_p , м³/м) с 1 пог. м скважин. Удельные затраты на зарядание и взрывание прямо зависят от удельного расхода ВМ на отбойку руды.

Уменьшают затраты на рудоподготовку разупрочненных железистых кварцитов процессы вторичного дробления, экскавации и транспортировки руды автосамосвалами в карьере, а также крупное ее дробление и измельчение на обогатительной фабрике

Размеры сетки расположения скважин на блоке ($a \times b$), где a — расстояние между скважинами в ряду; b — расстояние между их рядами, принимаются в соответствии с величиной радиуса разупрочняющего действия взрыва скважинного заряда ($R_{pz} = 7dc$). Размер каждой стороны сетки формируется действием двух скважин ($2R_{pz}$). И с учетом взаимного влияния взрывов смежных зарядов скважин блока можно полагать, что сетка будет в пределах ($a = b$) $\leq (15 \div 17) dc$. Принимается квадратная сетка ($a = b$) = 16,7 dc = 4,5 м. Выход руды при этом (с учетом высоты уступа ($H_y = 15$ м), глубины перебура 1,5 м и бермы безопасности при бурении первого ряда скважин на уступах) составит примерно ($V_{p.pz} = 19,7$ м³/м). При величине текущего среднего выхода руды по карьере ($V_{p.k} = 43,7$ м³/м) и себестоимости скважин 1 030 руб/м рост удельных затрат на бурение составит: $U_{6.pz} = 28,70$ руб/м³.

Для получения компактного развала уступа, взрываемого сплошными колонковыми зарядами эмульсионного ВВ (тован 60/40) в скважинах ($dc = 0,27$ м) по сетке (4,5 x 4,5) м и диагональной схеме их взрывания, предполагается использовать колонковые заряды ВВ кольцевой формы (заряды с осевой полостью) [13, 14]. Опыты в промышленных условиях на железорудных карьерах и шахтах Украины подтвердили эффективность зарядов зерногранулита 79/21 с осевой полостью (кольцевые) при ручном и машинном зарядании. На карьерах при $dc = 250, 150$ мм и толщине кольца 82, 50, и 35 мм удельный расход ВВ снизился на 14 ÷ 32%, повысилась степень дробления отбитой массы [15].

При сплошной (существующей) конструкции скважинного заряда и параметрах БВР разупрочнения, рассмотренных выше, удельный расход

ВВ на отбойку (q) при длине забойки 5,5 м, выходе руды ($V_{p.pz} = 19,7$ м³/м), плотности заряда ВВ ($\rho_{вв} = 1\,330$ кг/м³) составит: $q_{ст} = 2,64$ кг/м³. Принимается, что удельный расход ВВ при кольцевом заряде за счет сгущенной сетки скважин может уменьшиться на 46% ($q_{ко} = 1,43$ кг/м³). Диаметр осевой полости заряда при этом составит: $d_{ось} = 0,18$ м, толщина кольца — 45 мм. Осевая полость в кольцевом заряде скважины может быть получена с помощью специального полимерного шлага с центраторами на глубину скважины (разного диаметра для заряда и забойки) или из свинчивающихся отрезков полимерных труб с прямым иницированием скважинного заряда.

Удельный расход ВВ на отбойку руды с кольцевым зарядом скважин ($q_{ко} = 1,43$ кг/м³) больше подобного среднего фактического показателя по карьере ($q_{cp} = 1,19$ кг/м³) на 20%. Но процесс зарядки значительно усложнится, возрастут материальные и трудовые затраты на зарядание. При средней по цеху величине удельных затрат на зарядание и взрывание при массовых взрывах ($Z_{cp} = 31$ руб/кг) ($q_{cp} = 1,19$ кг/м³) на ВМ приходится: $Z_{ВМ} = 18$ руб/кг, на зарядание и прочие расходы: $Z_{з.вз} = 13$ руб/кг. Приняв рост величины ($Z_{ВМ}$) на 10% (за счет относительного увеличения количества СВ) и рост величины ($Z_{з.вз}$) на 25% (за счет усложнения зарядки), получим прогнозное значение величины удельных затрат на зарядание и взрывание скважин с кольцевыми зарядами ($Z_{ко} = 36,05$ руб/кг). Тогда удельные затраты на отбойку руды по этим процессам (согласно удельному расходу ВВ) составят: 36,89 руб/м³ — текущее значение; 51,55 руб/м³ — при разупрочнении. Рост удельных расходов на зарядание и взрывание скважин: $U_{зв.pz} = 14,66$ руб/м³.

Уменьшают затраты на рудоподготовку разупрочненных железистых кварцитов процессы вторичного дробления, экскавации и транспортировки руды автосамосвалами в карьере, а также крупное ее дробление и измельчение на обогатительной фабрике. Предлагаемые параметры БВР с кольцевым зарядом скважин, который по дробящей способности горных пород можно гарантированно считать эквивалентным сплошному заряду скважин того же диаметра (см. выше), обеспечивают увеличение взрывной нагрузки при отбойке руды с $q_{cp} = 1,19$ кг/м³ (средний фактический показатель по карьере) до $q_{ст} = 2,64$ кг/м³ (сплошной заряд ($dc = 0,27$ м) и сетка скважин (4,5 x 4,5 м)). При этом кусковатость (диаметр среднего куска) отбитой руды уменьшится, что приведет к увеличению производительности экскаваторов, автосамосвалов и конусных дробилок крупного дробления. Также будут исключены выход негабарита и процесс вторичного дробления негабаритных кусков руды.

1. Техническая производительность экскаваторов теоретически увеличивается в 1,4 ÷ 1,5 раза (экспериментально — в 1,7 раза). Среднегодовая фактическая себестоимость экскавации составляет: $C_{г.эк} = 33,0$ руб/м³, при этом четкой обратной зависимости $C_{г.эк}$ от величины среднегодовой производительности экскаваторов и технологического персонала на экскавации не отмечено. Но повышение техниче-

ской производительности экскаваторов, безусловно, должно снижать себестоимость экскавации по всем статьям затрат. Поэтому, приняв величину роста производительности экскавации разупрочненных железистых кварцитов за 45% и, соответственно, коэффициент снижения затрат ($k_{p,pp} = 0,45$), с учетом среднегодового фактического значения коэффициента использования экскаваторного оборудования ($K_{и.о} = 0,5$) и коэффициента учета точности расчетов ($k_{т.р} = 2$), величина снижения удельных затрат на экскавацию ($C_{эк.рз}$) определится как:

$$C_{эк.рз} = C_{г.эк} \cdot K_{и.о} \cdot k_{p,pp} / k_{т.р} = 33 \cdot 0,5 \cdot 0,45 / 2 = 3,71 \text{ руб/м}^3 \quad (1).$$

2. При увеличении технической производительности экскаваторов в 1,5 раза время погрузки среднего по грузоподъемности автосамосвала сократится примерно на 1,85 минуты. При среднегодовой длине транспортного плеча ($L_{cp} = 3,16$ км) и средней скорости движения самосвала (20,3 км/ч) средняя длительность времени рейса, включая движение, маневры, задержки в пути, погрузку и разгрузку, сократится на 6,4%. Соответственно, увеличится производительность автосамосвалов, а коэффициент снижения затрат на автотранспорт составит: $k_{p,авт} = 0,064$. Среднегодовая фактическая себестоимость перевозок автосамосвалами ($Z_{ав} = 8,7$ руб/т·км) в пересчете на себестоимость автотранспорта железистых кварцитов плотностью ($\rho_{ж.к} = 3,4$ т/м³) при $L_{cp} = 3,17$ км: $C_{г.авт} = 93,47$ руб/м³. С учетом среднегодового фактического значения коэффициента использования автотранспорта ($K_{и.а} = 0,75$) и коэффициента учета точности расчетов ($k_{т.р.а} = 1,3$) величина снижения удельных затрат на экскавацию ($C_{авт.рз}$) определится зависимостью (1):

$$C_{авт.рз} = C_{г.авт} \cdot K_{и.а} \cdot k_{p,авт} / k_{т.р.а} = 93,47 \cdot 0,75 \cdot 0,064 / 1,3 = 3,45 \text{ руб/м}^3.$$

3. Принимаем, что параметры БВР для взрывного разупрочнения железистых кварцитов (см. выше) позволят сократить выход негабарита от среднегодового $H_{cp} = 1,1\%$ до 0. Расчетная себестоимость вторичного дробления негабаритных кусков руды механическим способом в карьере комбината составляет: $C_{пдр} = 148$ руб/м³ негабарита. Снижение себестоимости руды при ликвидации процесса вторичного дробления ($C_{пдр.рз}$) определится как:

$$C_{пдр.рз} = C_{пдр} \cdot H_{cp} = 148 \cdot 0,011 = 1,63 \text{ руб/м}^3.$$

4. При отбойке руды с повышенной взрывной нагрузкой производительность крупного дробления растет в среднем на 40%, а его энергоемкость падает на 42%. Руда из Лебединского карьера поступает на два комплекса крупного дробления, где перерабатывается конусными дробилками ККД-1500. Ограниченная приемная способность комплексов и недостаточный рост производительности дробилок не позволяют сократить один комплекс. Поэтому в себестоимости крупного дробления уменьшатся затраты только по статье «энергия» и расходы на запчасти. Приняв

коэффициент снижения энергоемкости дробления ($k_{э.др}$) за 0,42, при средней энергоемкости крупного дробления железистых кварцитов ($\varepsilon_{ж.к} = 0,9$ кВт·ч/т), плотности кварцитов ($\rho_{ж.к} = 3,4$ т/м³, с учетом расходов на запчасти ($k_{ап.др} = 1,45$) и стоимости электроэнергии на комбинате ($\Pi_{эл.э} = 3$ руб./кВт·ч), величина снижения удельных затрат на крупное дробление ($C_{к.др.рз}$) определится как:

$$C_{к.др.рз} = \varepsilon_{ж.к} \cdot k_{э.др} \cdot \rho_{ж.к} \cdot k_{ап.др} \cdot \Pi_{эл.э} = 0,9 \cdot 0,42 \cdot 3,4 \cdot 1,45 \cdot 3,0 = 5,59 \text{ руб/м}^3.$$

Повышение производительности и уменьшение энергоемкости измельчения руды в мельницах обогатительной фабрики предполагается обеспечить разупрочнением кварцитов при их отбойке скважинами с предлагаемыми параметрами БВР. В расчетах принята и рассматривается только квадратная сетка расположения скважин на уступах. При отбойке руды кольцевыми зарядами, где ЛНС скважин составляет: $W = 16,7$ dc, микронарушенность взорванной руды значительно возрастет в сравнении обычными параметрами (ЛНС скважин: $W = 27,8$ dc). Отбойка железистых кварцитов в карьере Михайловского ГОКа при повышении взрывных нагрузок (удельного расхода ВВ) в $1,3 \div 1,7$ раза с использованием расширенных скважин, где ЛНС скважин в среднем составляла: $W \approx 20$ dc, производительность измельчения в шаровых мельницах (после крупного, среднего и мелкого дробления) повысились на 9,8%, энергоемкость процесса уменьшилась на 8%.

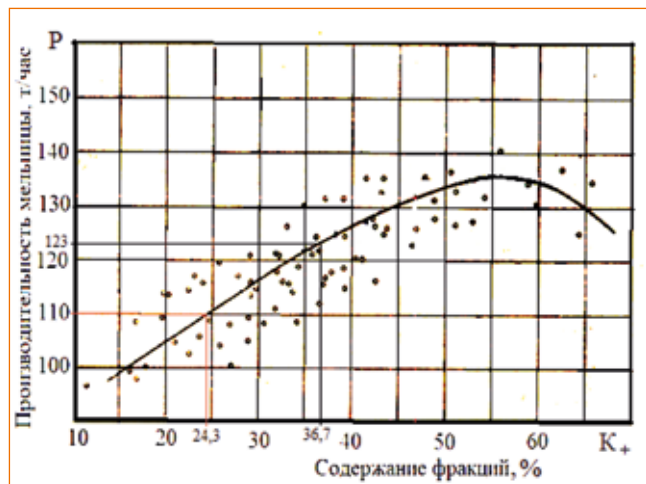
На обогатительной фабрике Лебединского комбината измельчение руды осуществляется во вторую или третью стадию, при этом вторая и третья стадии ведутся в мельницах рудно-галечного измельчения МРГ. Основная (первая) стадия измельчения руды после крупного дробления в ККД-1500 производится не в шаровых мельницах, как на ГОКе, а в мельницах мокрого самоизмельчения ММС. Используются мельницы двух размеров: ММС 90 x 30А (кроме новых) и ММС 70 x 23. Средняя их производительность — 284 и 123 т/ч, рабочая мощность электродвигателей — 3200 и 1300 кВт соответственно.

Исследованиями НИИКМА установлено, что производительность этих мельниц имеет максимумы при содержании в питающей руде кусков фракции +100 мм (K_{+1}): для ММС 90 x 30А — 38%; для ММС 70 x 23 — 53%, где куски размером более 100 мм являются измельчающим классом в мельницах [16, 17].

Кусковатость отбитой взрывом руды оценивается обычно величиной диаметра среднего куска (d_{cp}) всего развала взорванного уступа. При увеличении удельного расхода ВВ на отбойку в $1,3 \div 1,7$ раза диаметр среднего куска уменьшается на $35 \div 40\%$. В данном случае, если принять, что распределение фракций гранулометрического состава в развале взорванных уступов в карьере и руды, поступающей в мельницу после крупного дробления в ККД-1500, будет примерно идентично, значительно уменьшится диаметр (d_{cp}) измельчаемой руды. И это может существенно снизить производительности (P_m) мельниц. Поэтому необходимо оценить влия-

РИСУНОК 1 Зависимость производительности мельницы ММС-70/23 от содержания фракций +100 мм в питающей руде

FIGURE 1 The dependence of the productivity of the mill MMC-70/23 on the content of fractions +100 mm in the feed ore



Примечания/Notes. Производительность мельницы по руде (P), т/час / Mill productivity by ore (P), t/hour. Содержание фракций, % / Content of fractions, %.

Источник/Source. Разработано автором / Developed by the author.

ние предлагаемых разупрочняющих параметров БВР и, следовательно, уменьшения кусковатости поступающей в мельницы ММС руды на их производительность.

Анализ возможного снижения производительности мельниц ММС

Для вычисления возможной степени снижения производительности мельниц используется методика [18], которая базируется на уравнении Розина — Раммлера, удовлетворительно характеризующего гранулометрический состав крупнодробленой горной массы с широким диапазоном изменения размеров кусков:

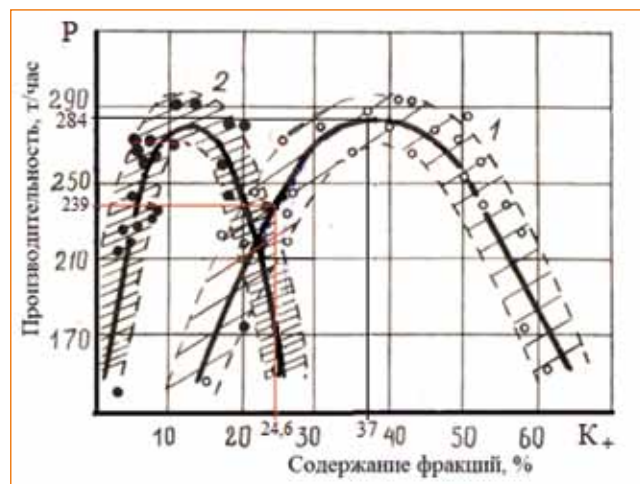
$$K_+ = e^{-\left(\frac{x}{x_0}\right)^n} \quad (2),$$

где K_+ — суммарный выход фракций сверху в долях единицы; e — основание натурального логарифма; x — размер фракции, от которой исчисляется выход (K_+); x_0 — параметр распределения, характеризующий крупность материала; n — параметр распределения, характеризующий рассеяние частиц по крупности и являющийся показателем кривизны суммарной графической характеристики гранулометрического состава.

Найдено приближенное решение, позволяющее получить связь параметра n в окрестностях единицы и x_0 с диаметром среднего куска d_{cp} :

РИСУНОК 2 Зависимость производительности мельницы ММС-90/30 от содержания фракций в питающей руде: 1 — (+100 мм); 2 — (+250 мм)

FIGURE 2 The dependence of the productivity of the mill MMC-90/30 on the content of fractions in the feed ore: 1 — (+100 mm); 2 — (+250 mm)



Примечания/Notes. Производительность мельницы по руде (P), т/час / Mill productivity by ore (P), t/hour. Содержание фракций, % / Content of fractions, %.

Источник/Source. Разработано автором / Developed by the author.

$$d_{cp} = x_0 \cdot k_c \quad (3),$$

где k_c — коэффициент связи.

Коэффициент связи определяется параметром (n) распределения [19]:

$$k_c = 1 - 0,5772(n - 1) / n^2 \quad (4).$$

Возможное снижение производительности мельниц при отбойке руды с разупрочняющими параметрами БВР устанавливается относительно фактической среднегодовой производительности мельниц: $P_9 = 284$ т/ч — ММС 90 x 30А; $P_7 = 123$ т/ч — ММС 70 x 23. Последовательность расчетов производи-

Взрывное разупрочнение железистых кварцитов при отбойке в карьере Лебединского ГОКа с применением мельниц ММС на первой стадии измельчения кварцитов неэффективно. Убытки в виде удельных затрат могут составить 11,41 руб/т добываемой руды

тельности мельниц при отбойке уступов с разупрочнением руды:

1) по величине производительности мельниц (P_7 и P_9) на графиках, представленных на **рис. 1 и 2**, определяется (K_+) среднее содержание в питающей мельницы руде фракций (+100 мм), фактическое значение: $K_{+ф} = 36,7\%$ — ММС 70 x 23; $K_{+ф} = 37,0\%$ — ММС 90 x 30 А;

2) на основании значений ($K_{+ф}$) рассчитывается фактический диаметр среднего куска ($d_{ср.ф}$), который составил: $d_{ср.ф} = 117,7$ мм — ММС 70 x 23; $d_{ср.ф} = 118,9$ мм — ММС 90 x 30 А;

3) определяется ожидаемый диаметр среднего куска при разупрочняющей отбойке руды ($d_{ср.ру}$) на основании данных (см. выше), что $d_{ср.ру}$ уступа, взорванного с увеличенной взрывной нагрузкой, уменьшается на 35–40% (принято 35%). Затем по значениям ($d_{ср.ру}$) рассчитываются показатели содержания фракций +100 мм ($K_{+ру}$) в разупрочненной руде: $d_{ср.ру} = 76,5$ мм, $K_{+ру} = 24,3\%$ — ММС 70 x 23; $d_{ср.ру} = 77,3$ мм, $K_{+ру} = 24,6\%$ — ММС 90 x 30 А;

4) на графиках, **рис. 1 и 2**, по найденным значениям ($K_{+ру}$) определяется ожидаемая производительность мельниц ($P_{ру}$), перерабатывающих кварциты, разупрочненные взрывом при отбойке: $P_{7ру} = 110$ т/ч — ММС 70 x 23; $P_{9ру} = 239$ т/ч — ММС 90 x 30 А.

Величина $d_{ср}$ при известных значениях K_+ и величина K_+ при найденных диаметрах среднего куска $d_{ср}$ рассчитываются по формулам (5) и (6), полученным преобразованием зависимости (2) с использованием формул (3) и (4):

$$d_{ср}^n = x^n \cdot k_c^n / -\ln K_+ \quad (5)$$

$$-\ln K_+ = x^n \cdot k_c^n / d_{ср}^n \quad (6)$$

где $x = 100$ мм; $n = 0,8$ (данные исследований авторов); $k_c = 1,18$ — по формуле (4).

Следовательно, производительность мельниц при отбойке руды с разупрочняющими параметрами БВР с увеличением взрывной нагрузки при отбойке руды ($P_{м.у}$) упадет на: $\pi_{м.у} = 18,7\%$ — ММС 70 x 23; $\pi_{м.у} = 15,9\%$ — ММС 90 x 30 А; $\pi_{м.у} = 16,7\%$ — средневзвешенное по типам мельниц.

Принимается, что при неизменных прочих условиях величина уменьшения производительности

мельниц точно соответствует величине роста энергоемкости измельчения. Тогда при переработке разупрочненной руды энергоемкость снизится на 8% (по данным работы) и одновременно увеличится на 16,7% ($\pi_{м.у} = 16,7\%$) — за счет сокращения K_{+100} в питающей руде. В итоге энергоемкость измельчения разупрочненной руды в мельницах ММС увеличится на: $\pi_{м.у.и} = 8,7\%$. При стоимости электроэнергии на комбинате ($\Pi_{эл.э}$) 3 руб/кВтч рост удельных затрат на измельчение кварцитов в мельницах ММС составит: $У_{ммс.рз} = 9,82$ руб/м³.

Результаты

В целом при взрывном разупрочнении железистых кварцитов в карьере Лебединского ГОКа, отбиваемых скважинами с предлагаемыми параметрами БВР, удельные затраты на процессы экскавации, автотранспортирования, вторичного дробления негабаритов в карьере и крупного дробления руды в дробилках ККД-1500 снизятся в сумме на 14,38 руб/м³. При этом удельные расходы на процессы бурения, зарядания и взрывания скважин, измельчения кварцитов в мельницах ММС увеличатся в сумме на 53,18 руб/м³. Рост общих удельных затрат на рудоподготовку может составить 38,8 руб/м³.

Кроме того, взрывное разупрочнение железистых кварцитов при отбойке в карьере, возможно, снизит суммарную производительность комплекса используемых мельниц ММС Лебединского ГОКа по руде на 8–9 млн т в год.

Заключение

Взрывное разупрочнение железистых кварцитов при отбойке в карьере Лебединского ГОКа с применением мельниц ММС на первой стадии измельчения кварцитов неэффективно. Убытки в виде удельных затрат могут составить 11,41 руб/т добываемой руды.

В настоящее время усредненный грансостав руды, питающий мельницы ММС, примерно соответствует требованиям для получения максимальной производительности ММС 90 x 30 А, но не соответствует мельницам ММС 70 x 23. Их производительность на 10,6% ниже максимальной.

Литература/ References

1. Ржевский В.В., Новик Г.И. Основы физики горных пород. Издание 2-е, переработанное. М.: Недра, 1973. 286 с. [Rzhevsky V.V., Novik G.I. Fundamentals of rock physics. 2nd edition, revised. Moscow: Nedra, 1973. 286 p. (In Russ.).]
2. Hagan T.N., Just G.D. Rock breakage by explosions. Theory, practice and optimization. Adv. Rock Mech. V. 2, part B, Washington, 1974.
3. Мосинец В.Н. Дробящее и сейсмическое действие взрыва в горных породах. М.: Недра, 1976. 271 с. [Mosinets V.N. Crushing and seismic effect of explosion in rocks. Moscow: Nedra, 1976. 271 p. (In Russ.).]
4. Зрайченко В.А. Влияние взрыва на механические характеристики железистых кварцитов. В кн.: Зрайченко В.А., ред. Повышение эффективности разработки и использования недр КМА. Воронеж: Издательство ВГУ, 1980: 60–65. [Zraichenko V.A. The effect of explosion on the mechanical characteristics of ferruginous quartzites. In: Zraichenko V.A., ed. Improving the efficiency of the development and use of the subsoil of the KMA. Voronezh: Publishing House VSU, 1980: 60–65. (In Russ.).]
5. Репин Н.Я. Зависимость прочностных свойств железистых кварцитов от режимов взрывного нагружения. В кн.: Репин Н.Я., Томаков В.И., Потапов А.И., ред. Научные основы создания высокопроизводительных комплексно-механизированных карьеров. М.: МГИ, 1981: 20–27. [Repin N. Ya. Dependence of the strength properties of ferruginous quartzites on the modes of explosive loading. In: Repin N. Ya., Tomakov V.I., Potapov A.I., ed. Scientific foundations of the construction of high-performance complex mechanized quarries. Moscow: Moscow State University, 1981: 20–27. (In Russ.).]

6. Мец Ю.С. Исследование влияния взрывных нагрузок различной интенсивности на сопротивляемость механическому разрушению крепких магнетитовых кварцитов. ФТПРПИ. 1982; 3: 58–61. [Metz Yu.S. Investigation of the effect of explosive loads of varying intensity on the resistance to mechanical destruction of strong magnetite quartzites. FTPrPI. 1982; 3: 58–61. (In Russ.)].
7. Баранов Е.Г. Пути интенсификации процессов отбойки, дробления и измельчения железных руд. Горный журнал. 1982; 8: 40–42. [Baranov E.G. Ways of intensification of processes of breaking, crushing and grinding of iron ores. Mining Journal. 1982; 8: 40–42. (In Russ.)].
8. Потапов А.И., Репин Н.Я. Использование энергии взрыва для повышения эффективности рудоподготовки и обогащения железных руд. В кн.: Потапов А.И., Репин Н.Я., ред. Развитие техники и технологии рудоподготовки в черной металлургии. М.: Недра, 1983: 7–14. [Potapov A.I., Repin N. Ya. The use of explosion energy to increase the efficiency of ore preparation and enrichment of iron ores. In: Potapov A.I., Repin N. Ya., ed. Development of equipment and technology of ore preparation in ferrous metallurgy. M.: Nedra, 1983: 7–14. (In Russ.)].
9. Булгакова А.П., Ряполов А.Н., Семунькин М.Б., Уваровский Ю.Л. Влияние взрывного нагружения на измельчение железистых кварцитов. Совершенствование техники и технологии горных работ: Сборник статей. Губкин: НИИКМА, 1988: 132–134. [Bulgakova A.P., Ryapolov A.N., Semunkin M.B., Uvarovsky Yu.L. The influence of explosive loading on the grinding of ferruginous quartzites. Improving the technique and technology of mining: Collection of articles. Gubkin: NIИKMA, 1988: 132–134. (In Russ.)].
10. Клейн А.И. Влияние взрывных нагрузок на дезинтеграцию и обогатимость кварцитов: автореферат диссертации на соискание ученой степени к. т. н. М., 1989. 17 с. [Klein A.I. The influence of explosive loads on the disintegration and enrichment of quartzites: abstract. dis. Candidate of Technical Sciences. Moscow, 1989. 17 p. (In Russ.)].
11. Гончаров С.А., Клюка О.Ф., Чурилов Н.Г. Стратегия ресурсосбережения при разрушении горных пород. Горный журнал. 2003; 4–5: 26–30. [Goncharov S.A., Klyuka O.F., Churilov N.G. Strategy of resource conservation in the destruction of rocks. Mining Journal. 2003; 4–5: 26–30. (In Russ.)].
12. Репин Н.Я. К вопросу использования энергии взрыва для повышения эффективности рудоподготовки и обогащения железистых кварцитов. Горный журнал. 2012; 4: 45–49. [Repin N. Ya. On the issue of using explosion energy to increase the efficiency of ore preparation and enrichment of ferruginous quartzites. Mining Journal. 2012; 4: 45–49. (In Russ.)].
13. Кусов Н.Ф., Кузнецов Ю.С. Исследование параметров детонации кольцевых зарядов из аммонита № 6ЖВ. Научные сообщения Института горного дела имени А.А. Скочинского. 1970; 80: 82–87. [Kusov N.F., Kuznetsov Yu.S. Investigation of detonation parameters of ring charges from ammonite № 6ZHV. Scientific communications of the Institute of Mining named after A.A. Skochinsky. 1970; 80: 82–87. (In Russ.)].
14. Якименко Н.Д. Оценка эффективности зарядов взрывчатых веществ различной формы. ФТПРПИ. 1977; 2: 54–57. [Yakimenko N.D. Evaluation of the effectiveness of explosive charges of various forms. FTPrPI. 1977; 2: 54–57. (In Russ.)].
15. Салганик В.А., Железняк С.С., Воротеляк Г.А. Метод повышения полезной работы взрыва на горнорудных предприятиях. Горный журнал. 1977; 2: 45–49. [Salganik V.A., Zheleznyak S.S., Vorotelyak G.A. Method of increasing the useful work of an explosion at mining enterprises. Mining Journal. 1977; 2: 45–49. (In Russ.)].
16. Семунькин М.Б. Влияние кусковатости руды на производительность мельниц самоизмельчения. Комплексное развитие КМА: Сборник трудов НИИКМА. Выпуск 11. Губкин, 1978: 84–89. [Semunkin M.B. The influence of lumpiness of ore on the productivity of self-grinding mills. Complex development of KMA: Sb. trud. NIИKMA. Issue 11. Gubkin, 1978: 84–89. (In Russ.)].
17. Семунькин М.Б. Повышение производительности мельниц самоизмельчения оптимизацией кусковатости взорванной руды. Совершенствование техники и технологии горных работ: Сборник статей. Губкин: НИИКМА, 1988: 28–33. [Semunkin M.B. Increasing the productivity of self-grinding mills optimizing the lumpiness of blasted ore. Improving the technique and technology of mining works: Collection of articles. Gubkin: NIИKMA, 1988: 28–33. (In Russ.)].
18. Королев Н.Д. Повышение производительности мельниц мокрого самоизмельчения на Лебединском ГОКе. Роль вузовской науки в обеспечении качества подготовки специалистов: сборник материалов межрегиональной научно-практической конференции в двух томах. Губкинский институт (филиал) ГОУ ВПО МГОУ. 2008; 2: 53–59. [Korolev N.D. Improving the productivity of wet self-grinding mills at the Lebedinsky GOK. The role of university science in ensuring the quality of training of specialists: collection of materials of the interregional scientific and practical conference in 2 volumes. Gubkin Institute (branch) GOU VPO Moscow State University. 2008; 2: 53–59. (In Russ.)].
19. Фаддеенков Н.Н. О практическом применении при взрывной отбойке закона Розина — Раммлера. ФТПРПИ. 1975; 1: 94–97. [Faddeenkov N.N. On the practical application of the Rozin — Rammeler law in explosive rebounding. FTPrPI. 1975; 1: 94–97. (In Russ.)].

Вклад авторов. Д.В. Ермолаев, Н.Д. Королев: разработка дизайна исследования, получение данных для анализа, обзор публикаций по теме статьи, статистический анализ полученных данных, написание текста рукописи.

Authors contributions. D.V. Ermolaev, N.D. Korolev: developing of research design, obtaining data for analysis, reviewing publications on the topic of the article, statistical analysis of the obtained data, article writing.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest. The author declares no conflict of interest.

Финансирование. Исследование проведено без спонсорской поддержки.

Financing. The study was performed without external funding.

Статья поступила: 25.01.2023. **Принята к публикации:** 03.03.2023.
Article received: 25.01.2023. **Accepted for publication:** 03.03.2023.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Ермолаев Денис Витальевич, к.э.н., доцент кафедры горного дела*. ORCID: 0000-0002-5865-4547.

Королев Николай Дмитриевич, к.т.н., доцент кафедры горного дела*.

* Губкинский филиал Национального исследовательского технологического университета «МИСИС». Адрес: 309186, г. Губкин, ул. Комсомольская, д. 16. Телефон: +7 (472) 415-51-83. E-mail: gf@misis.ru.

AUTHORS INFORMATION

Ermolaev Denis Vitalievich, Candidate of Economics, Associate Professor of the Department of Mining*.
ORCID: 0000-0002-5865-4547.

Korolev Nikolay Dmitrievich, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Mining*.

* Gubkin branch of the National Research Technological University «MISIS». Address: 16 Komsomolskaya str., Gubkin, 309186. Phone: +7 (472) 415-51-83. E-mail: gf@misis.ru.

УДК 621.879/.3
 UDC 621.879/.3



Особенности эксплуатации карьерных горных машин в условиях жаркого климата

Features of Operation of Quarry Mining Machines in a Hot Climate

АВТОР

И.А. Сайдаминов, д.т.н., профессор

AUTHOR

I.A. Saidaminov

Губкинский филиал Национального исследовательского технологического университета «МИСИС», г. Губкин, Россия

Gubkin branch of National Research Technological University «MISIS», Gubkin, Russia

РЕЗЮМЕ

SUMMARY

В настоящей работе приведены: классификация факторов воздействия зоны высокогорья на технико-экономические свойства карьерных горных машин; результаты исследования отказов экскаваторов, работающих в условиях жаркого климата; сравнительная оценка показателей долговечности экскаваторов в жарком и умеренном климате, а также зависимость барометрического давления от высоты над уровнем моря. По итогам исследований установлено значительное увеличение параметра потока отказов в летние месяцы. Простои одноковшовых экскаваторов в среднем составляют от 25 до 60% от их общего количества. При этом затраты на ремонт и обслуживание равны 24÷45% от суммы расходов на эксплуатацию машин.

This paper presents: classification of factors affecting the highland zone on the technical and economic properties of quarry mining machines; the results of a study of failures of excavators operating in hot climates; a comparative assessment of the durability of excavators in hot and temperate climates, as well as the dependence of barometric pressure on altitude above sea level. According to the research results, a significant increase in the failure rate parameter in the summer months and downtime of single-bucket excavators averages from 25 to 60% of the total number of downtime. At the same time, the costs of its repair and maintenance are equal to 24÷45% of the total cost of operating the machines.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

KEYWORDS

ГОРНЫЕ МАШИНЫ, ВЫСОКОГОРЬЯ, ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ, ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ ЭКСКАВАТОРЫ, ОТКАЗ, ЭКСПЛУАТАЦИЯ, ТЕМПЕРАТУРА, ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ

MINING MACHINES, HIGHLANDS, TECHNICAL AND ECONOMIC INDICATORS, HYDRAULIC EXCAVATORS, FAILURE, OPERATION, TEMPERATURE, HYDRAULIC SYSTEMS

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ

FOR CITATION

Сайдаминов И.А. Особенности эксплуатации карьерных горных машин в условиях жаркого климата. Технический оппонент. 2023; 1 (9): 45–48.

Saidaminov I.A. Features of operation of quarry mining machines in a hot climate. *Technicheskii opponant* = *Technical Opponent*. 2023; 1 (9): 45–48.

Введение

Технический уровень современных горных машин в значительной мере определяется техническим уровнем их гидрообъемных трансмиссий, а их надежность — надежностью достаточно сложных гидравлических систем, имеющих значительное количество различных взаимодействующих элементов [1].

Потенциальное свойство машин реализуется в конкретных условиях эксплуатации. В связи с этим знание эксплуатационных условий и их влияния на эксплуатационные характеристики машины позволяет в процессе ее эксплуатации целенаправленно воздействовать на показатели качества [2].

Результаты исследований

На рис. 1 приведено влияние природно-климатических и грунтовых факторов зоны высокогорья на

технико-экономические показатели гидравлических экскаваторов. Из схемы следует, что в реальных условиях на них воздействуют все климатические факторы. Определяющими среди них являются температура воздуха, его плотность и атмосферное давление.

Опыт эксплуатации серийно выпускаемых экскаваторов свидетельствует об их недостаточно надежной работе в условиях высокогорья и жаркого климата. Одна из причин этого заключается в том, что машины в основном создаются для зон умеренного климата (ГОСТ 16350–84 «Климат СССР»).

Наиболее распространенными на карьерах Таджикистана являются экскаваторы III–IV размерной группы фирмы Hyundai (Южная Корея, китайская сборка) R 320, R 375 и R 450 с вместимостью ковша от 1,2 (модель R 320) до 2,0 (R 450) м³. Их эксплуатация на равнинах и в предгорных районах республики, с одной стороны, подтвер-

ТАБЛИЦА 1 Результаты исследования отказов экскаваторов, работающих в условиях Таджикистана

TABLE 1 The results of the study of failures of excavators operating in Tajikistan

№ №	Наименование агрегатов экскаваторов и узлов гидравлической системы Name of excavator units and hydraulic system units	Марки экскаваторов Brands of excavators	
		R 320	R 450
Агрегаты экскаваторов / Excavator units			
1	Силовая установка / Power plant	10	9
2	Рабочее оборудование / Working equipment	18	19
3	Ходовое (гусеничное) оборудования / Chassis (tracked) equipment	11	14
4	Поворотная платформа / Rotary platform	9,5	8
5	Электрооборудование / Electrical equipment	3	10
6	Гидравлическая система / Hydraulic system	48,5	40
ИТОГО/TOTAL		100	100
Узлы гидравлической системы / Hydraulic system components			
1	Гидроцилиндр рукояти / Hydraulic cylinder of the handle	20	20,5
2	Гидроцилиндр стрелы / Boom hydraulic cylinder	28	22
3	Гидроцилиндр ковша / Bucket hydraulic cylinder	7	3,5
4	Гидрораспределитель / Hydraulic distributor	25	19
5	Гидромотор поворота и хода / Hydraulic motor for turning and running	3,5	3,5
6	Насос сдвоенный / Double pump	8,5	10
7	Центральный коллектор / Central collector	2,0	5,5
8	Трубопроводы и рукава высокого давления / Pipelines and high-pressure hoses	3,5	0,5
9	Калорифер/Heater	2,5	3,5
ИТОГО/TOTAL		100	100

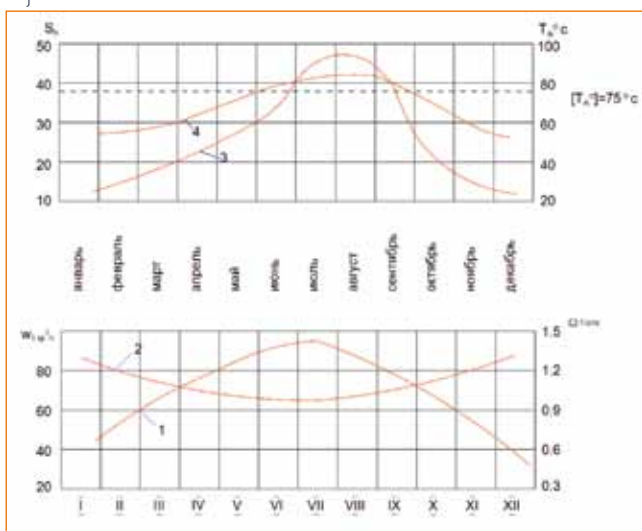
ТАБЛИЦА 2 Показатели долговечности экскаваторов R 320, R 450 в жарком (ЖК) и умеренном (УК) климате

TABLE 2 Durability indicators of excavators R 320, R 450 in hot (LCD) and temperate (UK) climates

Марка экскаватора Excavator brand	Наработка на отказ Time to failure		80-процентный ресурс 80 percent resource		Средний ресурс Average resource		Средний срок службы Average service life	
	УК UK	ЖК LCD	УК UK	ЖК LCD	УК UK	ЖК LCD	УК UK	ЖК LCD
R 320	246	138	4 822	3 486	5 841	4 458	4,77	4,1
R 450	173	158	4 132	3 408	5 193	4 198	4,41	3,8

РИСУНОК 1 Влияние природно-климатических и грунтовых факторов зоны высокогорья на технико-экономические показатели гидравлических экскаваторов: 1 — параметр потока отказов (ω , 1/отк); 2 — техническая производительность (W , м³/час); 3 — жесткость климата (S_p , баллы); 4 — температура рабочей жидкости ($T_{ж}$, °С)

FIGURE 1 Influence of climatic and soil factors of the highland zone on the technical and economic indicators of hydraulic excavators: 1 — failure flow parameter (ω , 1/otc); 2 — technical performance (W , m³/h); 3 — the hardness of the climate (S_p , points); 4 — the temperature of the working fluid (T_r , °C)



дила хорошие технико-экономические показатели работы (производительность, надежность, удобства управления и т. д.) при средних значениях температуры окружающего воздуха. Но с другой — показала, что в случае длительного воздействия экстремальных наружных температур они ухудшаются.

Периодический анализ отказов экскаваторов при эксплуатации в условиях высокогорья по-

Периодический анализ отказов экскаваторов при эксплуатации в условиях высокогорья позволил установить, что наименьшую надежность имеет гидравлическая система, а наибольшее количество отказов приходится на долю гидродвигателей — гидроцилиндров (46÷55%)

Значительными из обстоятельств, влияющих на надежность работы гидроприводов экскаваторов, оказываются климатические факторы горной местности. Определяющими среди них являются температура и давление воздуха

зволил установить, что наименьшую надежность имеет гидравлическая система, а наибольшее количество отказов приходится на долю гидродвигателей — гидроцилиндров (46÷55%) (табл. 1).

Исследованиями выявлено до 30 видов повреждений контактных эластомерных уплотнителей.

Основными повреждениями, характерными для гидроприводов карьерных горных машин, являются щелевая экструзия материала в зазоре между уплотняемыми поверхностями, абразивное изнашивание, термопластическая и химическая деструкция материала уплотнителя, электрическая гидравлическая эрозия, релаксация напряжения, усталостное напряжение и др.

В работах, направленных на исследование надежности гидроцилиндров рабочего оборудования мобильных машин, отмечаются следующие причины отказов: условия эксплуатации, несоблюдение технологии изготовления и сборки, конструктивные недостатки. Общеизвестно, что основной причиной отказов гидроцилиндров (до 60%) являются факторы эксплуатации. Значительными из обстоятельств, влияющих на надежность работы гидроприводов экскаваторов, оказываются климатические факторы горной местности [3]. Определяющими среди них являются температура и давление воздуха. Многолетние наблюдения показывают, что все эти факторы находятся в тесной корреляционной связи с основным параметром горной местности — высотой над уровнем моря. Для установления этих связей в настоящем исследовании использованы данные метеорологических наблюдений в регионах Таджикистана (за последнее 30 лет).

Гидроцилиндры рабочего оборудования в основном выходят из строя вследствие внешней и (или) внутренней разгерметизации рабочих полостей при повреждении контактных уплотнительных устройств, что составляет 44–76% от общего число отказов.

В табл. 2 приведена сравнительная оценка показателей долговечности экскаваторов, эксплуатируемых в условиях умеренного и жаркого климата. Из нее видно, что во втором случае они гораздо ниже.

Обобщение и анализ температурных данных позволили установить наличие связей между температурой воздуха и высотой местности над уровнем

моря (с коэффициентом корреляции 0,932), которые описываются выражением [4]:

$$T_n = T_o - K_T H,$$

где T_n — среднегодовая температура на высоте H ($^{\circ}\text{C}$); T_o — среднегодовая температура на уровне моря, зависящая от географической широты местности (для Душанбе $T_o = 28,6^{\circ}\text{C}$); K_m — постоянный коэффициент ($K_m = 0,0065$ град/м); H — высота под уровнем моря.

Аналогичная зависимость получена для изменения барометрического давления с высотой (с коэффициентом корреляции 0,903).

$$P_n = P_0 \left[1 - 0,12 \left(\frac{H}{1000} \right)^{0,9} \right],$$

где P_n — среднее барометрическое давление воздуха на высоте H (кПа); P_0 — на уровне моря (кПа); H — высота над уровнем моря.

Литература/ References

- Беленков Ю.А., Нейман В.Г., Селиванов М.П. Надежность объемных гидроприводов и их элементов. М.: Машиностроение, 1977. 167 с. [Belenkov Yu.A., Neiman V.G., Selivanov M.P. Reliability of volumetric hydraulic drives and their elements. Moscow: Mechanical Engineering, 1977. 167 p. (In Russ.)].
- Фейгин Л.А. Эксплуатация строительных машин и оборудования. М.: Стройиздат, 1976. 160 с. [Feigin L.A. Operation of construction machinery and equipment. Moscow: Stroyizdat, 1976. 160 p. (In Russ.)].
- Ковалевский В.Ф. Теплообменные устройства и тепловые расчеты гидропривода горных машин. М.: Недра, 1972. 224 с. [Kovalevsky V.F. Heat exchange devices and thermal calculations of hydraulic drive of mining machines. M.: Nedra, 1972, 224 p. (In Russ.)].
- Сайдаминов И.А., Мухидинзода К.Дж., Мирзоев К.М. Вязкостно-температурные характеристики жидкостей и влияние теплового режима гидрообъемных трансмиссий на время работы гусеничных машин. Материалы Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Проблемы функционирования систем транспорта», том 1. Тюмень: Тюменский индустриальный университет, 2019: 222–226. [Saidaminov I.A., Mukhidinzoda K.J., Mirzoev K.M. Viscosity-temperature characteristics of liquids and the influence of the thermal regime of gyro-volume transmissions on the operating time of tracked vehicles. Materials of the International Scientific and Practical Conference of students, postgraduates and young scientists “Problems of functioning of transport systems”, volume 1. Tyumen: Tyumen Industrial University, 2019: 222–226. (In Russ.)].
- Сайдаминов И.А. Обоснование и выбор параметров средств температурной адаптации гидрообъемных трансмиссий карьерного оборудования. Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук. М.: МГТУ, 2003. 308 с. [Saidaminov I.A. Justification and choice of parameters of means of temperature adaptation of hydraulic volume transmissions of quarry equipment. Dissertation for the degree of Doctor of Technical Sciences. Moscow: MGSU, 2003. 308 p. (In Russ.)].

Заклучение

Таким образом, по результатам исследований можно сделать следующие выводы:

1) температура окружающей среды во многом определяет тепловой режим работы узлов и агрегатов гидропривода, одноковшовых гидравлических экскаваторов;

2) статистическими исследованиями установлено значительное увеличение параметра потока отказов одноковшовых гидравлических экскаваторов в летние месяцы. Определена также связь между параметрами потока отказов, ω , и жесткостью погоды, S_n (рис. 1, линии 1 и 3);

3) вследствие отказа гидропривода простой одноковшовых экскаваторов в среднем составляют от 25 до 60% от их общего количества. При этом затраты на ремонт и обслуживание равны 24÷45% от суммы расходов на эксплуатацию машин [5].

Вклад автора. И.А. Сайдаминов: разработка дизайна исследования, получение данных для анализа, обзор публикаций по теме статьи, статистический анализ полученных данных, написание текста рукописи.

Authors contributions. I.A. Saidaminov: developing of research design, obtaining data for analysis, reviewing publications on the topic of the article, statistical analysis of the obtained data, article writing.

Конфликт интересов. Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest. The author declares no conflict of interest.

Финансирование. Исследование проведено без спонсорской поддержки.

Financing. The study was performed without external funding.

Статья поступила: 30.01.2023. **Принята к публикации:** 07.03.2023.
Article received: 30.01.2023. **Accepted for publication:** 07.03.2023.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ

Сайдаминов Исохон Абдулфайзович, д.т.н., профессор кафедры горного дела. Губкинский филиал «Национального исследовательского технологического университета «МИСИС». Адрес: 309186, г. Губкин, ул. Комсомольская, д. 16. Телефон: +7 (472) 415-51-83. E-mail: gf@MISIS.ru. ORCID: 0000-0003-1369-6804.

AUTHOR INFORMATION

Saidaminov Isokhon Abdulfayzovich, Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Mining. Gubkin branch of the National Research Technological University «MISIS». Address: 16 Komsomolskaya str., Gubkin, 309186. Phone: +7 (472) 415-51-83. E-mail: gf@MISIS.ru. ORCID: 0000-0003-1369-6804.

УДК 62-2
UDC 62-2

Оптимизация измельчительной способности мельницы Novorotor при диспергации природного мела



Optimization of the Grinding Capacity of the Novorotor Mill During the Dispersion of Natural Chalk

АВТОРЫ

О.Ф. Лебедев¹, к.Г.-м.н., доцент,
В.О. Мочалова²

AUTHORS

O.F. Lebedev¹,
V.O. Mochalova²

¹ Губкинский филиал Национального
исследовательского технологического университета
«МИСИС», г. Губкин, Россия

¹ Gubkin branch of National University of Science
and Technology «MISIS», Gubkin, Russia

² Губкинский филиал Белгородского государственного
технологического университета имени В.Г. Шухова,
г. Губкин, Россия

² Gubkin branch of Belgorod State Technological
University named after V.G. Shukhov, Gubkin, Russia

РЕЗЮМЕ

SUMMARY

В работе рассмотрено влияние толщины
молотков мельницы Novorotor на эффективность
измельчения природного мела. На основе анализа
степени износа этих молотков (в зависимости от
расположения) установлена величина их участия
в процессе диспергации. Кроме того, выявлена их
рекомендуемая толщина, позволяющая снизить
энергозатраты при повышении эффективности
измельчения мела.

The influence of the thickness of the NOVO-
RONOR mill hammers on the efficiency of grind-
ing natural chalk is considered. Based on the
analysis of the degree of wear of the hammers,
depending of their location, the value of their
participation in the dispersion process and the
recommended thickness of the hammers are
determined, which allows reducing energy
consumption while increasing the efficiency of
grinding chalk.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

KEYWORDS

ИЗМЕЛЬЧЕНИЕ ПРИРОДНОГО МЕЛА,
ДИСПЕРГАЦИЯ, МОЛОТКОВАЯ МЕЛЬНИЦА,
ТОЛЩИНА МОЛОТКОВ

GRINDING OF NATURAL CHALK, DISPERSION,
HAMMER MILL, THICKNESS OF HAMMERS

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ

FOR CITATION

Лебедев О.Ф., Мочалова В.О. Оптимизация
измельчительной способности мельницы Novorotor
при диспергации природного мела. *Технический
оппонент*. 2023; 1 (9): 49–52.

Lebedev O.F., Mochalova V.O. Optimization of
the grinding capacity of the Novorotor mill during
the dispersion of natural chalk. *Technicheskij
opponent = Technical Opponent*. 2023; 1 (9): 49–52.

Введение

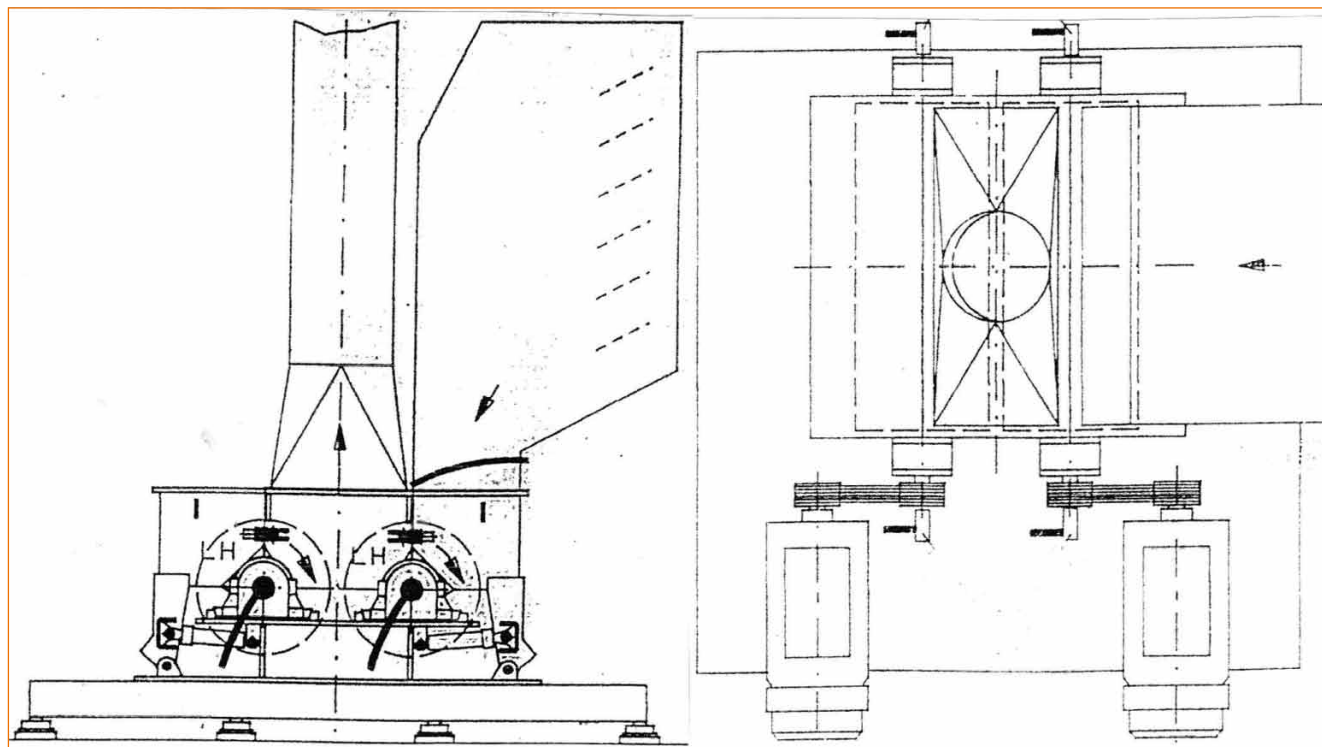
Современные технологии производства матери-
алов с карбонатными наполнителями основываются
на подготовке композиций из исходных ингреди-
ентов, в том числе и из природных, с определенным
гранулометрическим составом. Необходимую ди-
сперсность таких материалов обеспечивают цен-
тробежные воздушные классификаторы. Их эффек-
тивность зависит от конструктивных особенностей
[1]. А производительность по готовому продукту
при прочих равных условиях — от содержания
в исходном материале заданной фракции частиц.
Это определяется измельчительной способностью
диспергирующего агрегата.

Влияние толщины молотков мельницы на эффективность измельчения природного мела

Для тонкого измельчения природного мела
с одновременной сушкой на многих отечествен-
ных предприятиях (АО «Руслайм», АО «Крейдер»
и др.) применяется вентилируемая двухроторная
молотковая мельница Novorotor немецкой фирмы
HAZEMAG (рис. 1). Она состоит из стального кор-
пуса, защищенного изнутри листами брони. В нем
размещено два вала (ротора), каждый из которых

РИСУНОК 1 Двухроторная мельница Novorotor немецкой фирмы HAZEMAG. Источник: разработано фирмой HAZEMAG

FIGURE 1 Two-rotor mill Novorotor of the German company HAZEMAG. Source: developed HAZEMAG



Для прогнозирования выхода заданных фракций была разработана методика определения гранулометрического состава материала, диспергированного в мельнице. Данный способ учитывает наличие различных типов структурных связей в исходном меле

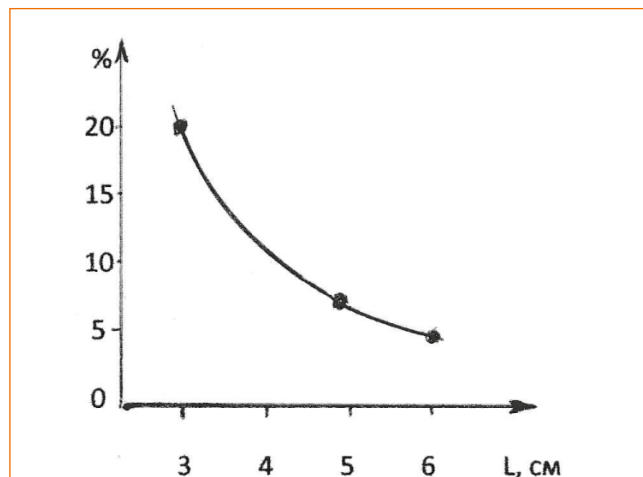
опирается на два самоустанавливающихся подшипника качения. Корпуса последних смонтированы на опорах, прикрепленных к корпусу мельницы. Ротор собран из отдельных дисков с промежуточными втулками. Между ними на осях шарнирно подвешены молотки, ограниченные с двух сторон дистанционными втулками. Внутри мельница разделена стенкой на две камеры, в каждой из которых находится половина первого и второго роторов. Их вращение осуществляется приводом с помощью ременной передачи. Скорость вращения ротора (1 600–1 900 об/мин) подбирается разностью диаметров шкивов при использовании электродвигателей

($N = 145 \text{ kW}$, $n = 1480 \text{ об/мин}$). Роторы мельницы вращаются по часовой стрелке, последовательно измельчая подаваемый в нее материал. Эффективность зависит от площади соприкосновения поверхности молотков с диспергируемым материалом. Так, толщина молотков мельницы, работающей на меловом заводе АО «Руслайм», составляет около 3 см, поэтому она может разрушать в природном меле в основном слабые коагуляционные связи, а кристаллизационные — лишь частично [2]. Для прогнозирования выхода заданных фракций была разработана методика определения гранулометрического состава материала, диспергированного в мельнице. Данный способ учитывает наличие различных типов структурных связей в исходном меле [3]. Методика предусматривает сначала замачивание и выдерживание в воде кусков мела до полного водонасыщения, затем растирание в фарфоровой ступке пестиком с резиновым наконечником и производство ситового анализа полученной массы. Долгосрочный опыт применения этого способа подтверждает высокую сходимость получаемых результатов с гранулометрическим составом измельченного продукта.

К высоким сортам тонкодисперсного мела относятся марки с содержанием фракций меньше 45 мкм почти 100%, а к супертонкому, полученному по сухой технологии, — с содержанием фракций менее 10 мкм 99%. В условиях завода АО «Руслайм» гранулометрический состав мела после мельницы составляет: 20% частиц более 45 мкм и 60% частиц менее 10 мкм. Были проведены испытания по из-

РИСУНОК 2 График зависимости содержания в измельченном меле частиц > 45 мкм от средней толщины молотков. Источник: разработано авторами

FIGURE 2 Graph of the dependence of the content of particles larger than 45 mkm in crushed chalk on the average thickness of the hammers. Source: developed by the authors

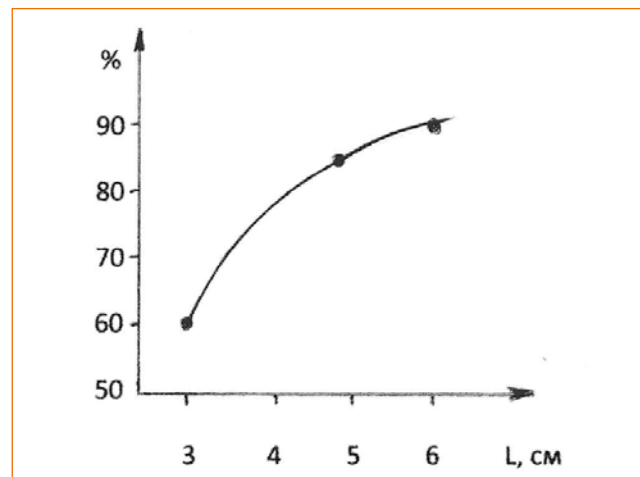


мельчению природного мела в мельнице Novorotor с увеличенной до 6 см толщиной молотков. Они показали, что такое решение позволило существенно улучшить гранулометрический состав диспергированного мела: 5% частиц более 45 мкм и 90% частиц менее 10 мкм. При этом толщина молотков была увеличена путем уменьшения толщины дистанционных колец. Исходя из установленного механизма измельчения материалов молотковыми дробилками за счет скользящих и центральных ударов молотков по кускам диспергируемого материала [4], можно утверждать, что увеличение толщины молотков приводит к значительному возрастанию центральных ударов, обуславливающих разрушение кристаллических структурных связей в кусках мела.

Эффективность диспергирования материала в мельнице существенно зависит и от изно-

РИСУНОК 3 График зависимости содержания в измельченном меле частиц < 10 мкм от средней толщины молотков. Источник: разработано авторами

FIGURE 3 Graph of the dependence of the content of particles larger than 10 mkm in crushed chalk on the average thickness of the hammers. Source: developed by the authors



шенности молотков. Предельным ее показателем считается такой, при котором происходит ухудшение гранулометрического состава диспергированного в мельнице мела до определенных пределов: увеличение остатка на сите 45 мкм на 5% и уменьшение содержания частиц менее 10 мкм на 10%. Поскольку вопрос износостойкости молотков определяет частоту трудоемких ремонтов по их замене, были проведены испытания различных марок стали для определения наиболее долговечной в условиях измельчения среднеабразивной породы. Подбор наиболее износостойкой марки стали для изготовления молотков позволил выявить самый оптимальный вариант — катаннолистовую сталь, которую производят на Волгоградском металлургическом заводе [5]. Ресурс молотков, созданных из этого сплава, обеспечивает переработку до 30 тыс. тонн сырья.

Износ молотков в зависимости от места их расположения на роторе мельницы происходит неравномерно. Наиболее изнашиваются те, которые очень интенсивно контактируют с материалом при измельчении. В условиях рассматриваемой мельницы наибольшему износу подвержены молотки, расположенные в центре ротора каждой камеры. А наименьшему — в периферических частях. При этом величина износа молотков в этих частях ротора отличается почти в 2 раза. То есть интенсивность соприкосновений материала с периферически расположенными молотками значительно ниже, чем с центральными. Следовательно, периферически расположенные молотки в меньшей степени участвуют в измельчении. Поэтому увеличение их толщины несильно отразится на гранулометрическом составе диспергированного материала.

Методика предусматривает сначала замачивание и выдерживание в воде кусков мела до полного водонасыщения, затем растирание в фарфоровой ступке пестиком с резиновым наконечником и производство ситового анализа полученной массы

Износ молотков в зависимости от места их расположения на роторе мельницы происходит неравномерно. Наиболее изнашиваются те, которые очень интенсивно контактируют с материалом при измельчении

Заключение

Таким образом, увеличение толщины молотков необходимо производить избирательно, в зависимости от степени их участия в диспергации материала. К примеру, если толщину двух молотков, расположенных по краям камеры с каждой стороны, оставить равной 3 см, то гранулометрический состав измельченного мела составит: 7% крупнее 45 мкм, 85% менее 10 мкм (рис. 2, 3) Это повлечет за собой снижение выхода супертонкого мела не более чем на 3,7%. Однако позволит при практически идентичном гранулометрическом составе измельченного материала увеличить устойчивость работы мельницы за счет снижения нагрузки на подшипники качения, экономить электроэнергию на запуск мельницы и дорогостоящую сталь на изготовление молотков.

Литература/References

1. Мочалова В.О., Лебедев О.Ф. Некоторые принципы выбора высокоэффективного классификатора для сепарации тонкодисперсного мела. Молодежь и научно-технический прогресс: Сборник докладов XII Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. Т. 1. Губкин, 18 апреля 2019 г. Старый Оскол: Ассистент плюс, 2019: 358–361. [Mochalova V.O., Lebedev O.F. Some principles of choosing a highly efficient classifier for the separation of fine chalk. Youth and scientific and technological progress: A collection of reports of the XII International Scientific and Practical Conference of Students, Postgraduates and Young Scientists. V. 1. Gubkin, April 18, 2019. Stary Oskol: Assistant Plus, 2019: 358–361. (In Russ.)].
2. Осипов В.И. Природа прочностных и деформационных свойств глинистых грунтов. М.: Издательство МГУ, 2019. 232 с. [Osipov V.I. Nature of strength and deformation properties of clay soils. Moscow: Publishing House of Moscow State University, 2019. 232 p. (In Russ.)].
3. Лебедев О.Ф., Иванов Н.С. Некоторые аспекты формирования требований к качеству сырья для производства тонкодисперсного мела. Проблемы производства и использования мела в промышленности и сельском хозяйстве. Белгород, 2001: 10–12. [Lebedev O.F., Ivanov N.S. Some aspects of the formation of requirements for the quality of raw materials for the production of fine chalk. Problems of chalk production and use in industry and agriculture. Belgorod, 2001: 10–12. (In Russ.)].
4. Ахмирзаев Э.Х., Лозовая С.Ю. Работоспособность и износостойкость бил молотковых дробилок. Молодежь и научно-технический прогресс: сборник докладов XII Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. Т. 1. Губкин, 18 апреля 2019 г. Старый Оскол: Ассистент плюс, 2019: 4–5. [Akhmirzaev E.H., Lozovaya S.Y. Efficiency and wear resistance of hammer crushers. Youth and scientific and technological progress: a collection of reports of the XII International Scientific and Practical Conference of Students, Postgraduates and Young Scientists. V. 1. Gubkin, April 18, 2019. Stary Oskol: Assistant Plus, 2019: 4–5. (In Russ.)].
5. Иванов Н.С., Кашин И.В. Эксплуатация импортного оборудования в условиях мелового производства. Проблемы производства и использования мела в промышленности и сельском хозяйстве. Белгород, 2001: 3–5. [Ivanov N.S., Kashin I.V. Operation of imported equipment in conditions of chalk production. Problems of chalk production and use in industry and agriculture. Belgorod, 2001: 3–5. (In Russ.)].

Вклад авторов. О.Ф. Лебедев, В.О. Мочалова: разработка дизайна исследования, получение данных для анализа, обзор публикаций по теме статьи, статистический анализ полученных данных, написание текста рукописи.

Authors contributions. O.F. Lebedev, V.O. Mochalova: developing of research design, obtaining data for analysis, reviewing publications on the topic of the article, statistical analysis of the obtained data, article writing.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Финансирование. Исследование проведено без спонсорской поддержки.

Financing. The study was performed without external funding.

Статья поступила: 27.01.2023. **Принята к публикации:** 06.03.2023. **Article received:** 27.01.2023. **Accepted for publication:** 06.03.2023.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Лебедев Олег Федорович, к.г.-м.н., доцент. Губкинский филиал Национального исследовательского технологического университета «МИСИС». Адрес: 309186, г. Губкин, ул. Комсомольская, д. 16. Телефон: +7 (472) 415-51-83. E-mail: gf@misis.ru. ORCID: 0000-0002-4038-2125.

Мочалова Валерия Олеговна, старший преподаватель.

Губкинский филиал Белгородского государственного технологического университета имени В.Г. Шухова. Адрес: 309186, г. Губкин, ул. Дзержинского, д. 15а. Телефон: +7 (47241) 7-61-05. E-mail: gfbgtu@bk.ru. ORCID: 0000-0001-7556-8766.

AUTHORS INFORMATION

Lebedev Oleg Fedorovich, Candidate of Geological and Mineralogical Sciences, Associate Professor. Gubkin branch of the National Research Technological University «MISIS». Address: 16 Komsomolskaya str., Gubkin, 309186. Phone: +7 (472) 415-51-83. E-mail: gf@misis.ru. ORCID: 0000-0002-4038-2125.

Mochalova Valeria Olegovna, Senior Lecturer. Gubkin branch of Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Address: 15a Dzerzhinskiy str., Gubkin, 309186. Phone: +7 (47241) 7-61-05. E-mail: gfbgtu@bk.ru. ORCID: 0000-0001-7556-8766.

Геохимические особенности техногенного загрязнения почв и растительного покрова территории КМА



Geochemical Features of Technogenic Pollution of Soils and Vegetation Cover of the Territory of the KMA

АВТОРЫ

AUTHORS

Т.А. Левина¹, к.б.н., доцент
Д.В. Ермолаев¹, к.э.н., доцент
Т.Ю. Серпуховитина², к.т.н.

T.A. Levina¹,
D.V. Ermolaev¹,
T.Y. Serpukhovitina²

¹ Губкинский филиал Национального исследовательского технологического университета «МИСИС», г. Губкин, Россия

¹ Gubkin branch of the National Research Technological University «MISIS», Gubkin, Russia

² Старооскольский филиал Российского государственного геолого-разведочного университета имени Серго Орджоникидзе, г. Старый Оскол, Россия

² Starooskolsky branch of the Sergo Ordzhonikidze Russian State Geological Exploration University, Stary Oskol, Russia

РЕЗЮМЕ

SUMMARY

Интенсивное развитие железорудной промышленности в бассейне Курской магнитной аномалии (КМА) наряду с укреплением сырьевой базы страны создает экологические проблемы. Открытый способ производства, при котором ежегодно горно-обогатительные комбинаты бассейна выбрасывают в атмосферу десятки тысяч тонн вредных веществ в виде пыли и газов, усугубляет ситуацию. Загрязнение окружающей среды, особенно тяжелыми металлами (ТМ), приводит к ухудшению санитарно-гигиенических условий проживания людей на прилегающей территории. Оно также негативно сказывается на здоровье человека, снижает урожайность и качество сельскохозяйственной продукции. Целью данной работы явилось определение влияния Лебединского горно-обогатительного комбината на прилегающие территории в связи с газопылевыми выбросами.

The intensive development of the iron ore industry in the Kursk magnetic anomaly basin, along with the strengthening of the country's raw material base, creates environmental problems. The open production method, in which the mining and processing plants of the basin annually emit tens of thousands of tons of harmful substances in the form of dust and gases into the atmosphere, exacerbates the problems of environmental pollution. Environmental pollution, especially heavy metals (HM), leads not only to the deterioration of sanitary and hygienic conditions of people living in the adjacent territory, but also negatively affects human health, reduces the yield and quality of agricultural products. The purpose of this work was to determine the influence of the Lebedinsky Mining and Processing Plant on the adjacent territories in connection with gas and dust emissions.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

KEYWORDS

ПОЧВА, ПЫЛЕВЫЕ ВЫБРОСЫ, ТЯЖЕЛЫЕ МЕТАЛЛЫ, ПДК

SOIL, DUST EMISSIONS, HEAVY METALS, MPC

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ

FOR CITATION

Левина Т.А., Ермолаев Д.В., Серпуховитина Т.Ю. Геохимические особенности техногенного загрязнения почв и растительного покрова территории КМА. *Технический оппонент*. 2023; 1 (9): 53–57.

Levina T.A., Ermolaev D.V., Serpukhovitina T.Y. Geochemical features of technogenic pollution of soils and vegetation cover of the territory of the KMA. *Technicheskiy opponent = Technical Opponent*. 2023; 1 (9): 53–57.

Введение

Уровень техногенного загрязнения почв и растительного покрова в зоне действия горно-обогатительных комбинатов (ГОК) в основном связан с газопылевыми выбросами при технологических процессах

производства, пылением хвостохранилищ, складов готовой продукции и отвалов пустых пород, выбросами вредных веществ технологического транспорта.

Основу техногенных выбросов ГОК составляют железосиликатная пыль, сернистый ангидрид, окись углерода и окислы азота. Пыль содержит множество

ТАБЛИЦА 1 Валовое содержание металлов в почвах (мг/кг сухой массы). Источник: разработано автором

TABLE 1 Gross content of metals in soils (mg/kg of dry weight). Source: developed by the author

Расстояние от источника загрязнения, км Distance from the source of pollution, km	Содержание химических элементов The content of chemical elements					
	Cu	Fe	Zn	Mn	Pb	Cd
6,0	19	30 700	59	522	18	0,33
6,5	23	33 500	60	499	22	0,49
7,5	22	32 900	63	553	9	0,28
8,0	18	28 000	58	585	18	0,21
9,0	12	29 200	58	467	11	0,33
16,0	26	28 700	61	519	23	0,19
ОДК УЕС	55	–	100	1 500	32	3
Фон Background	9	30 000	48	480	7	0,35

микроэлементов: железо, хром, кобальт, титан, ванадий, серу, цинк, никель и другие, которые в той или иной степени отрицательно воздействуют как на растительный, так и на животный мир, в том числе и на жизнедеятельность человека. Газопылевые выбросы являются источниками поступления в окружающую среду большого количества твердых веществ и химических элементов. Рассеивание техногенных выбросов в атмосфере, а также последующее выпадение их на поверхность путем гравитационного осаждения или с осадками приводит к формированию в почвенном покрове техногенных аномалий [1]. Выбросы вредных веществ осаждаются на почву, частично включаются в циклический обмен между поверхностью суши и приземным слоем атмосферы и таким образом перераспределяются дальше от источника выброса (на расстоянии до 40–50 километров, в соответствии с розой ветров). В результате формируется региональное загрязнение, распространяющееся на значительные площади [2]. И их размеры зависят от многих факторов, как от техногенных — производительности и длительности воздействия рассеивания вредных веществ (в частности, металлов), так и от природно-климатических.

При этом почва является индикатором загрязнения, так как она долгосрочно сохраняет информацию о среде и отражает стабильное многолетнее накопление загрязнителей. Соответственно, загрязняется растительный покров и агроландшафтов, и природных фитоценозов.

Старооскольско-Губкинский район Белгородской области считается ведущим горнопромышленным объектом Курской магнитной аномалии. Основными источниками загрязнения природных сред, включая земли сельскохозяйственного назначения, и населенных пунктов, являются Лебединский и Стойленский горно-обогатительные комбинаты, Оскольский электрометаллургический комбинат. В данном районе формируется особый ландшафт, который можно оха-

актеризовать как антропогенную геохимическую аномалию, где на смену природному пришел искусственный техногенный ландшафт, представленный отвалами вскрышных пород и хвостохранилищами отходов обогащения, что приводит к трансформации природных циклов миграции химических элементов.

В результате миграционных процессов элементы и их соединения из почвы попадают в природные воды, поглощаются растениями, поступают в пищевые цепи и, соответственно, в организм человека.

Цель исследования состояла в оценке экологического состояния почвы и растительности в зоне функционирования Лебединского горно-обогатительного комбината КМА. В рамках работы были поставлены задачи: оценить закономерности пространственного варьирования и установить характер статистического распределения содержания тяжелых металлов в почвах и растениях сельскохозяйственных культур техногенного ландшафта.

Район исследования расположен на северо-востоке Белгородской области. Основными почвами там являются черноземы — типичные и обыкновенные, выщелоченные и оподзоленные. Объектами исследований являются агроландшафты природной среды (почвенный покров и растительность), расположенные в Губкинском районе Белгородской области. Изучение содержания тяжелых металлов в почвах и растениях с учетом возможного загрязнения их промышленными отходами и пылегазовыми выбросами, а также поиски путей предотвращения накопления химических элементов в них и обеспечение условий для нормальной жизнедеятельности растений представляют важное звено в общей проблеме охраны окружающей среды.

Материалы и методы

В качестве объектов исследования выбраны: 1) почвенный покров, представленный преимущественно

ТАБЛИЦА 2 Содержание химических элементов в растениях сельскохозяйственных культур (мг/кг).
Источник: разработано автором

TABLE 2 Content of chemical elements in plants of agricultural crops (mg/kg). Source: developed by the author

Расстояние от источника загрязнения, км Distance from the source of pollution, km	Культура Cultivation	Содержание химических элементов The content of chemical elements				
		Cu	Fe	Zn	Pb	Mn
МДУ MDU		20–40	250	60–100	1–5	60–70
1,0	Ячмень (зерно) Barley (grain)	2,4	117	11,7	23,6	14,3
	Ячмень (солома) Barley (straw)	7,3	500	27,3	13,5	13,7
	Свекла кормовая (корнеплоды) Fodder beet (root crops)	5,9	310	31,1	2,8	44,9
2,0–7,0	Ячмень (зерно) Barley (grain)	13,1	123	13,8	9,5	13,8
	Ячмень (солома) Barley (straw)	7,3	252	27,3	3,2	15,2
	Свекла кормовая (корнеплоды) Fodder beet (root crops)	6,1	238	23,8	2,2	37,4
7,0–15,0	Ячмень (зерно) Barley (grain)	2,5	126	12,6	5,8	15,4
	Ячмень (солома) Barley (straw)	7,0	100	15,0	0,6	15,0
	Свекла кормовая (корнеплоды) Fodder beet (root crops)	4,5	154	6,6	0,8	28,5

типичными и выщелоченными черноземами; 2) сельскохозяйственные культуры (зерновые и овощные), попадающие в зону техногенного влияния.

Основные методы исследования: полевой отбор почвенных и растительных образцов на различном расстоянии от источника загрязнения и метод химического анализа. Содержание валовых форм тяжелых металлов определяли методом спектрометрии по методике ЦИНАО [3]. В образцах были выявлены концентрации таких элементов, как медь, железо, цинк, марганец, свинец, кадмий, хром, никель.

При определении влияния загрязняющих веществ в пылевых выбросах Лебединского ГОКа [4] и почвах прилегающих территорий мы ориентировались на ПДК и ОДК для веществ, установленных СанПиН 1.2.3685–21 и ГН 2.1.7.2511–09. Фоновое содержание тяжелых металлов в почвенных образцах было обнаружено на расстоянии 40 км к западу от источника загрязнения.

Результаты и обсуждение

Результаты статистической обработки мониторинговых данных по содержанию тяжелых металлов

в почвах, удаленных на разном расстоянии от источника загрязнения, представлены в табл. 1.

Пахотный слой зональных черноземов, испытывающих слабое техногенное воздействие, включает 4,3% железосодержащих минералов. Вокруг центра промышленного узла содержание железа в пахотном слое черноземных почв увеличивается в отдельных образцах до 6%. Это свидетельствует о некотором ожелезнении пахотного горизонта чернозема.

Согласно приведенным данным содержания тяжелых металлов в зоне влияния Лебединского ГОКа, зоны максимального загрязнения почв ТМ не совпадают с расположением источников пылевых выбросов комбината и с основными направлениями ветров данной территории.

Многолетний анализ показывает, что концентрации большинства ТМ в почвенном покрове не превышают фоновых по району и ориентировочно допустимых. Поэтому говорить о загрязнении территории тяжелыми металлами в результате пылевых выбросов исключительно горнодобывающего комплекса неправомерно.

Причинами отсутствия загрязнения почв ТМ в зоне влияния горнопромышленного комплекса могут

ТАБЛИЦА 3 Содержание химических элементов в плодовоовощных культурах (мг/кг). Источник: разработано автором

TABLE 3 The content of chemical elements in fruit and vegetable crops (mg/kg). Source: developed by the author

Расстояние от источника загрязнения 6 км и от автотрассы 1 км The distance from the source of pollution is 6 km and from the highway 1 km	Культура Cultivation	Содержание химических элементов The content of chemical elements				
		Cu	Fe	Zn	Pb	Mn
	Картофель Potato	0,43	4,42	1,22	0,229	0,883
	Морковь Carrot	0,521	5,43	0,87	0,179	1,601
	Лук репчатый Onion	0,68	5,05	0,84	0,179	44,9
	Огурцы Cucumbers	0,15	1,87	0,265	0,12	0,32
	Томаты Tomatoes	0,005	0,014	0,005	0,03	0,002
	Яблоки Apples	0,657	2,038	0,521	0,111	0,432
	ПДК / MPC	5,0	50,0	10,0	0,5	–

быть и другие обстоятельства. Так, одновременно с накоплением металлов в почвенном слое происходит их вынос в процессе поверхностной водной эрозии вод. При инфильтрации тяжелые металлы перемещаются в более глубокие слои почвы. Происходит вынос их с сельскохозяйственной продукцией.

Кроме того, ни один из элементов не образует интенсивного загрязнения вокруг предприятия, однако возможно выявить некоторые закономерности. Так, есть территория повышенного содержания свинца, которая проходит с северо-востока на юго-запад района исследования, вдоль федеральной автомобильной трассы с большим потоком автотранспорта.

Но на почвах, даже сильно загрязненных тяжелыми металлами, они не всегда попадают в растения. Прямой зависимости между уровнем содержания ТМ в почвенном слое и поглощения их растениями практически не существует. На пути проникновения тяжелых металлов в растения стоит ряд геохимических барьеров, и прежде всего почва. Уровень токсичности ТМ зависит от механического состава почвенного слоя, его кислотности, влажности, содержания гумуса, биологической активности.

Отсутствие зависимости между содержанием тяжелых металлов и выносом их растениями часто наблюдается на высокогумусированных почвах, так как их органическое вещество адсорбирует металлы, образуя комплексные соединения в виде хелатов и переводя металлы в менее доступную для растений форму. Региональной особенностью чернозема является большая окисленность. Т. е. он обладает повышенным окислительно-восстановительным потенциалом, что также способствует переводу микроэлементов в труднодоступные для растений формы.

Для определения тяжелых металлов в растениях различных культур были отобраны образцы зерна и соломы ярового ячменя и корнеплодов кормовой свеклы на агропредприятиях, а также образцы пло-

довоощных культур в населенных пунктах, расположенных в зоне влияния Лебединского ГОКа (в зависимости от расстояния от источника загрязнения). Результаты исследований приведены соответственно в табл. 2 и 3.

Из данных табл. 2 видно, что содержание тяжелых металлов в зерновой продукции не превышает максимально допустимый уровень по большинству элементов, за исключением свинца: в зерне ярового ячменя наблюдалось превышение концентрации этого элемента в урожае, полученном на расстоянии 1–7 км. Содержание железа в корнеплодах свеклы кормовой и в соломе кормового ячменя урожая, полученного на расстоянии до 7 км от Лебединского ГОКа, превышает МДУ в 1,5–2 раза. При удалении от источника загрязнения свыше 7 км концентрация тяжелых металлов в исследуемых сельскохозяйственных культурах не была выше МДУ.

Большинство химических элементов играют важную роль в жизнедеятельности растений. Однако при содержании их в концентрациях, превышающих предельно допустимые (ПДК), они становятся токсичными для растений и, соответственно, для животных и человека. Как видно из результатов исследования, приведенных в табл. 3, содержание микроэлементов (меди, железа, цинка, свинца, марганца) в плодовоовощных культурах не превышало ПДК.

Заключение

Таким образом, производство свеклы кормовой в 7-километровой зоне от источника загрязнения приводит к накоплению железа в корнеплодах и дальнейшей трансформации по трофическим цепям. Максимальное накопление данного элемента наблюдается в 2-километровой зоне. Высокое содержание свинца в зерновой продукции можно объяснить поступлением элемента не только через

почву, но и аэральным путем, связанным с выбросами автотранспорта.

Степень загрязнения плодовоовощных культур медью, железом, цинком, свинцом и марганцем не превышала по значениям ПДК микроэлементов в пищевых продуктах.

В результате промышленных выбросов горнодобывающих предприятий, а также при пылении хвостов обогащения в радиусе 2 км формируется техногенная геохимическая аномалия с повышенным содержанием железа, меди, цинка и свинца. Это связано с химическим составом сырья, техникой и технологией его производства. Однако их также называют «элементами жизни», подчеркивая возможность жизнедеятельности и развития живых

организмов только в присутствии данных минеральных элементов. Большое значение имеет оптимальное содержание микроэлементов в кормовых растениях, что способствует повышению иммунитета и продуктивности животных.

Поэтому необходимо совершенствовать систему санитарно-гигиенического мониторинга почвы и санитарно-гигиенического состояния растениеводческой продукции в условиях техногенного воздействия на природу.

Исследования имеют социальный эффект, связанный с сохранением чистоты окружающей среды, снижением затрат в сфере здравоохранения, выращиванием доброкачественной сельскохозяйственной продукции.

Литература/References

1. Левина Т.А., Лагачева А.А. Геохимические особенности техногенного загрязнения растительного покрова территории КМА. Современные проблемы горно-металлургического комплекса. Наука и производство: Материалы 18-й Всероссийской научно-практической конференции с международным участием (том II), 17 декабря 2021 г. Старый Оскол, 2022: 540–543. [Levina T.A., Lagacheva A.A. Geochemical features of technogenic pollution of the vegetation cover of the territory of the KMA. Modern problems of mining and metallurgical complex. Science and Production: Materials of the Eighteenth All-Russian Scientific and Practical Conference with International Participation (volume II), December 17, 2021. Stary Oskol, 2022: 540–543. (In Russ.)].
2. Левина Т.А., Серпуховитина Т.Ю. Роль мониторинговых исследований загрязнения почв тяжелыми металлами в оценке продуктивности сельскохозяйственных угодий. Тезисы докладов X Международной научной конференции молодых ученых «Молодые — наукам о Земле», 31 марта 2022 г. М.: Издательство РГГУ им. Серго Орджоникидзе, 2022; VII: 204–208. [Levina T.A., Serpukhovitina T. Yu. The role of monitoring studies of soil pollution by heavy metals in assessing the productivity of agricultural land. Abstracts of the X International Scientific Conference of young scientists «Young — Earth Sciences» March 31, 2022. Moscow: Sergo Ordzhonikidze Russian State University Publishing House, 2022; VII: 204–208. (In Russ.)].
3. Методические указания по определению тяжелых металлов в почвах сельхозугодий и продукции растениеводства. М.: ЦИНАО, 1992. 60 с. [Methodological guidelines for the determination of heavy metals in the soils of farmland and crop production. Moscow: TSINAO, 1992. 60 p. (In Russ.)].
4. Деревяшкин И.В., Тараненко М.Е., Казанцев А.А. Техническое решение адаптивной системы управления сушильным барабаном на обогатительной фабрике «Лебединский ГОК». Технический оппонент. 2022; 1 (8): 34–40. [Derevyashkin I.V., Taranenko M.E., Kazantsev A.A. Technical solution of adaptive control system for drying drum in ore-processing plant JSC Lebedinsky GOK. Technicheskiy opponnet = Technical Opponent. 2022; 1 (8): 34–40. (In Russ.)].

Вклад авторов. Т.А. Левина: разработка дизайна исследования, получение данных для анализа, обзор публикаций по теме статьи, статистический анализ полученных данных, написание текста рукописи; Д.В. Ермолаев: разработка дизайна исследования, обзор публикаций по теме статьи, написание текста рукописи; Т.Ю. Серпуховитина: получение данных для анализа, обзор публикаций по теме статьи.

Authors contributions. T.A. Levina: development of research design, obtaining data for analysis, review of publications on the topic of the article, statistical analysis of the data obtained, writing the text of the manuscript; D.V. Ermolaev: development of research design, review of publications on the topic of the article, writing the text of the manuscript; T.Y. Serpukhovitina: obtaining data for analysis, review of publications on the topic of the article.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Финансирование. Исследование проведено без спонсорской поддержки.

Financing. The study was performed without external funding.

Статья поступила: 10.02.2023. **Принята к публикации:** 23.03.2023. **Article received:** 10.02.2023. **Accepted for publication:** 23.03.2023.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Левина Татьяна Александровна, к.б.н., доцент кафедры горного дела*. ORCID: 0000-0003-3916-5243.

Ермолаев Денис Витальевич, к.э.н., доцент кафедры горного дела*. ORCID: 0000-0002-5865-4547.

Серпуховитина Татьяна Юрьевна, к.т.н., заместитель директора по науке и высшему образованию, Старооскольский филиал Российского государственного геолого-разведочного университета имени Серго Орджоникидзе. Адрес: 309530, г. Старый Оскол, ул. Ленина, д. 14/13. Телефон: +7 (4725) 22-52-74. E-mail: info@sofmgr.ru.

* Губкинский филиал Национального исследовательского технологического университета «МИСИС». Адрес: 309186, г. Губкин, ул. Комсомольская, д. 16. Телефон: +7 (472) 415-51-83. E-mail: gf@MISIS.ru.

AUTHORS INFORMATION

Levina Tatiana Aleksandrovna, PhD of Biological, Associate Professor of the Department of Mining*. ORCID: 0000-0003-3916-5243

Ermolaev Denis Vitalievich, PhD of Economics, Associate Professor of the Department of Mining*. ORCID: 0000-0002-5865-4547.

Serpukhovitina Tatiana Yuryevna, PhD of Technical, Deputy Director for Science and Higher Education. Starooskolsky branch of the Sergo Ordzhonikidze Russian State Geological Exploration University. Address: 14/13 Lenina str. Stary Oskol, 309530. Phone: +7 (4725) 22-52-74. 45. E-mail: info@sofmgr.ru.

* Gubkin branch of the National Research Technological University «MISIS». Address: 16 Komsomolskaya str., Gubkin, 309186. Phone: +7 (472) 415-51-83. E-mail: gf@MISIS.ru.



УДК 622.692.24
UDC 622.692.24

Мониторинг состояния недр и пожарная безопасность Щелковского подземного хранилища газа



Monitoring of the State of the Subsoil and Fire Safety of the Shchelkovsky Underground Gas Storage

АВТОРЫ

AUTHORS

В.П. Спиридонов¹, к.т.н., профессор,
И.Н. Ширяева^{1,2},
О.Ю. Маламут¹

V.P. Spiridonov¹,
I.N. Shiryayeva^{1,2},
O. Yu. Malamut¹

¹ Академия государственной противопожарной службы МЧС России, г. Москва, Россия

¹ Academy of the State Fire Service of the Ministry of Emergency Situations of Russia, Moscow, Russia

² Главное управление МЧС России по городу Москве, г. Москва, Россия

² The Main Directorate of the Ministry of Emergency Situations of Russia in Moscow, Moscow, Russia

РЕЗЮМЕ

SUMMARY

В статье рассмотрены геодинамические риски и прогнозирование возможных последствий на территории Щелковского подземного хранилища газа (ПХГ) в целях обеспечения промышленной и пожарной безопасности, а также охраны недр.

Geodynamic risks and forecasting of possible consequences on the territory of the Shchelkovsky UGS in order to ensure industrial, fire safety and protection of the subsoil are considered.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

KEYWORDS

ПОДЗЕМНОЕ ХРАНИЛИЩЕ ГАЗА, МОНИТОРИНГ СОСТОЯНИЯ НЕДР И ПОЖАРНОЙ ОПАСНОСТИ

UNDERGROUND GAS STORAGE, MONITORING OF THE STATE OF THE SUBSOIL AND FIRE DANGER

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ

FOR CITATION

Спиридонов В.П., Ширяева И.Н., Маламут О.Ю. Мониторинг состояния недр и пожарная безопасность Щелковского подземного хранилища газа. *Технический оппонент*. 2023; 1 (9): 58–63.

Spiridonov V.P., Shiryayeva I.N., Malamut O.Yu. Monitoring of the state of the subsoil and fire safety of the Shchelkovsky underground gas storage. *Technicheskii opponen*t = *Technical Opponent*. 2023; 1 (9): 58–63.

Введение

Щелковское ПХГ располагается в 25 км к северо-востоку от Москвы, на территории Московской области, в городе Щелково (рис. 1). В орографическом отношении район работ приурочен к северо-западной окраине Мещерской низменности.

Территория характеризуется равнинным рельефом. Абсолютные отметки колеблются от 135 до 155 м. Гидрографически район принадлежит бассейну реки Клязьмы, пересекающей северную часть площади с впадающими в нее многочисленными ручьями и мелкими речками, которые в летнее время часто пересыхают. В пределах площади расположено много озер. Наиболее крупные из них — Медвежьи, находящиеся в ее южной части.

В административном отношении площадь полигона относится к Щелковскому району Московской области. Здесь располагаются города Щелково, Фрязино, деревни Амерево, Жегалово, Медвежьи

Озера и другие населенные пункты. Промышленным центром является Щелково.

По всем имеющимся сейсмологическим сведениям, Московская область относится к сейсмически безопасным районам. По данным карты общего сейсмического районирования территории Российской Федерации — ОСР-97С, характеризующей максимально возможный сейсмический эффект, сейсмическая интенсивность в Щелковском районе Московской области не превышает пяти баллов (сейсмическая интенсивность в баллах шкалы MSK-64 с вероятностью 1%).

Территория Щелковского ПХГ условно можно поделить на три характерные зоны: участок с измененными инженерно-геологическими условиями из-за строительства и эксплуатации существующих зданий, сооружений и инженерных коммуникаций, расположенный в северной части подземного хранилища газа (г. Щелково); центральную и юго-западную части, занятыми лесными угодьями (Чкаловским лесничеством и Медвежьими озерами);

юго-восточную часть ПХГ, где находится Чкаловский военный аэродром 1-го класса (в 31 км к северо-востоку от Москвы).

Щелковскую площадь пересекает автомагистраль Москва — Щелково и участок железной дороги Москва — Монино. В районе множество грунтовых дорог.

Климат этих мест типичен для средней полосы России. Самый теплый месяц года — июль со средней температурой 18,5 °С. Средняя температура в январе — минус 9,5 °С. Зимняя и летняя погода мягкая, не отличается резкими температурными перепадами.

На рассматриваемой территории протекают разнообразные современные экзогенные геологические явления. Особенности их развития и распространения, сочетания различных процессов в пределах тех или иных частей района определяются большим числом природных факторов. Из них большое значение имеют характер современной увлажненности и теплообеспеченности территории, состав и состояние горных пород.

Интенсивная эксплуатация подземного газового хранилища сопровождается многоплановой активизацией экзогенных процессов, часто приводящей к аварийным ситуациям. Главным образом — в части нарушения грунтовых условий фундаментов оснований зданий и сооружений. Это определяет необходимость изучения физико-геологических процессов и явлений при выполнении работ по геодинамическому и деформационному мониторингу.

Щелковское поднятие фиксируется по всем стратиграфическим горизонтам девона и карбона. В современном структурном плане оно по кровле коллектора нижнещигровского горизонта представляет антиклиналь субмеридионального простирания. Размеры складки по замыкающей изогипсе минус 745 м составляют 6 × 3 км при амплитуде 22 м. Углы падения крыльев в западном направлении — 1,1 градуса, в восточном — 0,9 градуса, в юго-восточном и северо-западном — 0,5 градуса. Наиболее приподнятая часть структуры имеет отметку минус 723 м. Щелковское поднятие входит в состав Щелковско-Ивантеевской антиклинали. Последняя включает

Территория Щелковского ПХГ достаточно плотно застроена зданиями, сооружениями и объектами гражданского и промышленного назначения, которые могут быть подвержены воздействию негативного проявления деформационных процессов вследствие эксплуатации подземного хранилища газа

РИСУНОК 1 Схема расположения Щелковского ПХГ

PICTURE 1 Scheme of location of Schelkovskoye UGS facility



три поднятия: собственно Щелковское (наиболее крупное), Солнцевское и Набереженское.

Сопоставление данных о разломах на основании результатов работы предыдущих исследователей позволило составить схему расположения глубинных тектонических нарушений в пределах Щелковского ПХГ (рис. 2). Глубинные разломы, обновляясь при неотектонических подвижках, вызвали образование зон и участков повышенной трещиноватости пород, зон улучшенных емкостно-фильтрационных свойств коллекторов в пределах областей динамического воздействия тектонических нарушений.

Территория Щелковского ПХГ достаточно плотно застроена зданиями, сооружениями и объектами гражданского и промышленного назначения, которые могут быть подвержены воздействию негативного проявления деформационных процессов вследствие эксплуатации подземного хранилища газа. Поэтому можно сделать выводы о целесообразности создания геодинамического полигона для дальнейшего мониторинга.

Первостепенными задачами наблюдений являются:

- определение основных пространственно-временных характеристик деформационных процессов земной поверхности (горизонтальных смещений с помощью спутниковых систем);

- выявление вертикальных смещений методом геометрического нивелирования II класса.

Высокоточное геометрическое нивелирование выполняется методом геометрического нивелирования II класса повышенной точности. Его необходимо выполнять путем цифрового автоматического считывания с кодовых нивелирных реек. Для измерений должны применяться высокоточные цифровые нивелиры, такие как Trimble DiNi 03 (07), Topcon DL-101C, и им равноточные.

Подготовительным этапом производства спутниковых измерений является прогнозирование спутникового созвездия с использованием обновленного

РИСУНОК 2 Модель сдвижения горных пород и земной поверхности Щелковского ПХГ

FIGURE 2 Model of displacement of rocks and the earth's surface of the Schelkovskoye UGS facility

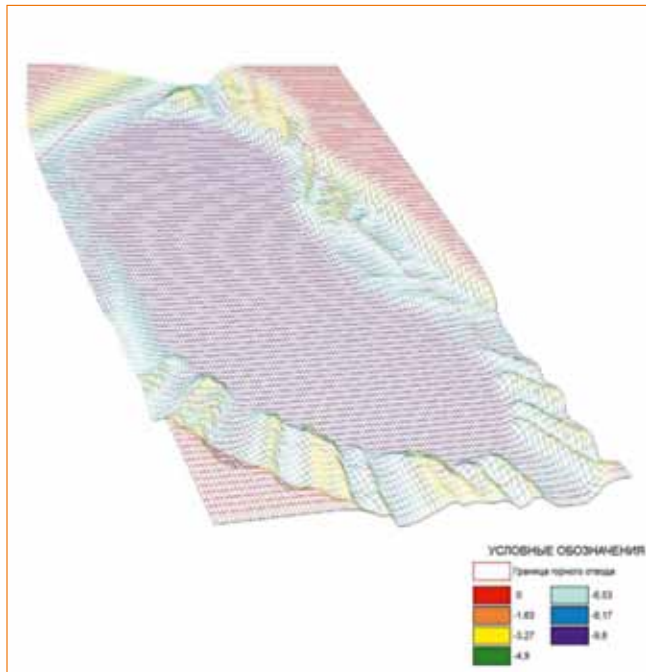
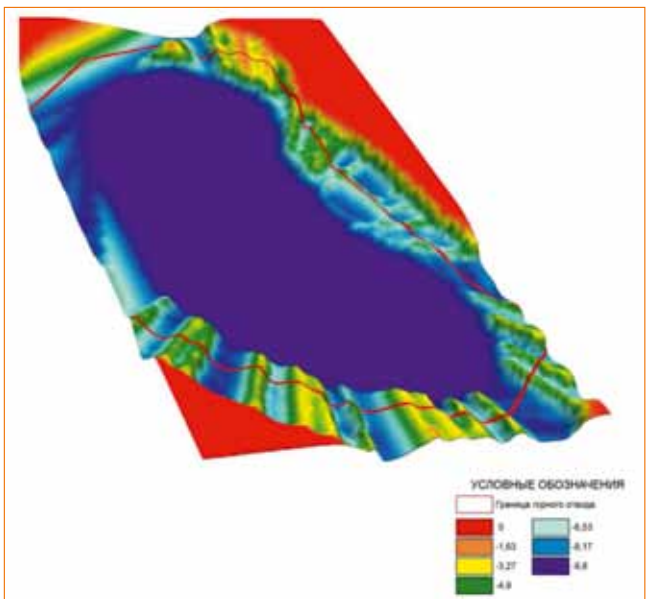


РИСУНОК 3 Результат расчетов возможных оседаний поверхности Щелковского ПХГ

FIGURE 3 The result of calculations of possible subsidence of the surface of the Schelkovskoye UGS facility



альманаха (данные эфемерид спутников) и выбора времени проведения спутниковых наблюдений, в течение которого значение позиционного фактора понижения точности (PDOP) считается оптимальным. Максимально допустимое значение PDOP — 7.

К точности измерений на таких полигонах предъявляются повышенные требования, поэтому в соответствии с нормативными документами определение планового положения пунктов выполнялось двухчастотной аппаратурой (GPS/ГЛОНАСС) и прокладкой нивелирных ходов по программе II класса для определения высотного положения.

Основа геомеханической модели сдвижения горных пород и интегральный контур ожидаемых оседаний изображены на **рис. 2**. Значения величин оседаний выражены в мм. Результат расчетов возможных оседаний приведен на **рис. 3**.

Проведенный всесторонний анализ многочисленных работ, посвященных механике горных пород при эксплуатации подземных газовых хранилищ, показал, что деформирование коллектора вследствие падения пластового давления или обводнения является первопричиной сдвижений горных пород и земной поверхности, активизации тектонических нарушений и разломов, техногенных сейсмических явлений. По этой причине правильное описание модели деформирования коллектора под нагрузкой имеет важнейшее значение для достоверного представления геомеханических и геодинамических процессов, происходящих при эксплуатации хранилища [1, 2, 3, 4, 5].

Опасность лесных и торфяных пожаров

По данным синоптиков, август 2022 года стал самым жарким за всю историю метеонаблюдений, побив рекорд 2010-го, который считался аномально теплым. Так, в Рязанской области первые недели бушевали лесные пожары, смог и запах гари распространялись в соседние регионы, включая Московскую область и Москву.

По информации РИА «Новости», количество возгораний в Подмосковье из-за аномальной жары

Проведенный всесторонний анализ многочисленных работ, посвященных механике горных пород при эксплуатации подземных газовых хранилищ, показал, что деформирование коллектора вследствие падения пластового давления или обводнения является первопричиной сдвижений горных пород и земной поверхности, активизации тектонических нарушений и разломов, техногенных сейсмических явлений

ТАБЛИЦА 1 Данные мониторинга пожарной опасности в лесах (за первый и второй кварталы 2022 года)

TABLE 1 Forest fire danger monitoring data (for the first and second quarters of 2022)

№	Наименование / Name	Факт / Fact
1	Количество лесных пожаров на землях лесного фонда / The number of forest fires on the lands of the forest fund	57 шт. / 57 pcs
2	Площадь, пройденная огнем, на землях лесного фонда / The area covered by fire on the lands of the forest fund	96,03 га / 96,03 ha

в августе 2022 года увеличилось с 16 до 189 по сравнению с аналогичным периодом 2021-го (табл. 1). Так, за август было ликвидировано 189 лесных пожаров на площади 140,88 гектара. Это 67% от общего количества возгораний, произошедших за 2022 год. Для сравнения: за аналогичный период 2021-го было ликвидировано всего 16 пожаров на площади 3,81 гектара. Благодаря своевременно обводненным торфяникам и ежегодно проводимым противопожарным мероприятиям 2010 год в регионе больше не повторится.

Суммарный ущерб, причиненный лесным пожаром, включает стоимость сгоревшей и поврежденной древесины на корню, ущерб от повреждения молодняков естественного и искусственного происхождения, урон, причиненный ресурсам побочного пользования, расходы на тушение, траты на расчистку горельников и проведение дополнительных выборочных и санитарных рубок в пострадавших насаждениях, ущерб от повреждения и уничтожения объектов в лесу, от снижения почвозащитных, санитарно-гигиенических, и других средообразующих функций леса, от загрязнения атмосферы продуктами горения, от гибели животных и растений, включая занесенных в Красную книгу России.

Основными поражающими факторами лесных пожаров являются: высокая температура, вызывающая возгорание всего, что находится в районе очага; задымление больших районов, оказывающее раздражающее действие на людей и животных

(в некоторых случаях вызывает отравление окисью углерода); ограничение видимости; устрашающее психологическое воздействие на людей.

Лесные и торфяные пожары характеризуются быстрым развитием и высокой скоростью распространения огневого фронта. Более того они создают обширные зоны загазованности и задымления с опасными для жизни людей концентрациями продуктов горения. При массовых возгораниях на торфяниках и в лесах на тех, кто находится на открытом воздухе и в сооружениях, будут действовать следующие поражающие факторы, опасные факторы пожара (далее — ОФП).

- непосредственное воздействие огня;
- высокая температура газовой среды;
- теплоизлучение от пламени;
- задымление и загазованность.

Очень важна оперативность прохождения информации о возникших очагах природных пожаров. Это является одной из функций оперативных дежурных смен органов повседневного управления единой государственной системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций Российской Федерации. Ситуация обязательно должна находиться на контроле регионального Центра управления в кризисных ситуациях.

Торфяной пожар выглядит обманчиво не сложным для ликвидации, пока он не развился до крупного. И зачастую уходит драгоценное время, за которое не было выделено достаточно средств для его устранения.

Опасность торфяных пожаров усугубляет то, что при них горит не только слой торфа, но и корни деревьев. Пламя распространяется со скоростью до нескольких метров в сутки. При выгорании почвы под деревьями последние беспорядочно падают. Глубина горения торфа ограничивается лишь уровнем грунтовых вод или подстилающим минеральным грунтом. Торфяной пожар не боится осадков за счет гидрофобности битумированных частиц торфа. При этом влага уходит в грунтовые воды мимо его частиц. Причем торф продолжает гореть — вплоть до полного выгорания месторождения.

В результате действия поражающих факторов происходит уничтожение и повреждение лесных массивов, создается угроза жизни людям, уничтожаются промышленные объекты и населенные пункты. Лесной пожар вызывает также уменьшение прироста древесины, ухудшает состав лесов, почвенные условия, усиливает ветровалы и буреломы, увеличивает количество сухостоя, ведет к массовому распространению вредных насекомых.

Основными поражающими факторами лесных пожаров являются: высокая температура, вызывающая возгорание всего, что находится в районе очага; задымление больших районов, оказывающее раздражающее действие на людей и животных (в некоторых случаях вызывает отравление окисью углерода); ограничение видимости; устрашающее психологическое воздействие на людей

Средняя температура горения лесных горючих материалов — 500–900 °С. Температура горения (тления) торфа — 500 °С (при влажности 10–30%), 300 °С (при влажности 65%).

Высота факела пламени определяется видом и силой пожара, скоростью ветра, шириной кромки и имеет следующие средние значения: для низового пожара — 0,05–3 м, для верхового — 3–15 м (над уровнем древостоя). Глубина прогорания торфа зависит от мощности его слоя и влажности и может составлять 0,25–3 м.

Гибель людей во время пожаров во многом обусловлена отсутствием противопожарных знаний и навыков у граждан. Они зачастую не знают не только элементарных правил пожарной безопасности, но даже номера телефона ближайшей пожарной части. Не говоря уже о действиях от начального момента развития пожара до прибытия подразделений пожарной охраны и о способах самоспасения в экстремальной ситуации [6].

Противопожарные мероприятия по защите лесных массивов

В Московской области используется четырехуровневая система мониторинга пожарной опасности в лесах: наземное и авиационное патрулирование, видеомониторинг и космический мониторинг с применением ИСДМ-Рослесхоз. В круглосуточном режиме работает региональная диспетчерская служба Комлесхоза Московской области. Кроме того, диспетчерская служба функционирует в каждом лесничестве. Для проведения патрулирования мест отдыха людей в лесополосах и на полях привлекаются представители территориальных подразделений МВД России, Комлесхоза, административно-технического надзора и общественных организаций, а также добровольные пожарные [7].

При разработке противопожарных мероприятий по защите лесных массивов от воздействия возгорания необходимо решить следующие задачи:

- 1) выполнить анализ классификации лесных пожаров, причин их возникновения; способов тушения и профилактики;
- 2) собрать исходные данные по объекту исследования;
- 3) выполнить анализ времени прибытия ближайших пожарных частей;
- 4) провести расчет теплового воздействия лесного пожара на ближайшие к кромке леса дома при наиболее неблагоприятном сценарии;
- 5) рассмотреть правовые основы работы на пожарах и координацию действий различных служб при их тушении;
- 6) разработать дополнительные противопожарные мероприятия;
- 7) выполнить экономическое обоснование предлагаемой меры.

Полученные результаты позволят разработать рекомендации по обеспечению безопасности ПХГ от лесных пожаров и безопасного расположения

Математическое моделирование лесных пожаров позволит выстроить более четкую систему их тушения и применения необходимых сил и средств при ликвидации возгораний любой сложности и интенсивности

других объектов городской застройки в данном районе с учетом параметров возможных возгораний в лесах.

Математическое моделирование лесных пожаров позволит выстроить более четкую систему их тушения и применения необходимых сил и средств при ликвидации возгораний любой сложности и интенсивности. Кроме того, этот метод поможет сделать защиту более эффективным и малозатратным способом, а также проанализировать ряд вариантов возникновения и устранения пожара без его участников [8, 9, 10].

Заключение

Скорости вертикальных смещений земной поверхности определяются на основании анализа и интерпретации данных измерений по циклам наблюдений.

Для обеспечения точности измерений необходимо совместить пункты геодезического полигона (грунтовые реперы) и гравиметрические площадки, а конечные пункты вынести за пределы не только границ горного отвода, но и контура ошибок наблюдений. Подобный подход позволяет с наибольшей эффективностью оценивать деформационные процессы, обусловленные исключительно режимом эксплуатации ПХГ.

Измерения на геодезическом полигоне необходимо осуществлять 2 раза в год на этапах отбора из него и закачки в него газа.

В основе расчетной модели лежит усовершенствованный инженерный метод прогноза оседаний земной поверхности при разработке нефтяных и газовых месторождений, предложенный в ряде научных работ. Данный способ многократно успешно опробован и имеет высокую степень сходимости с фактическими оседаниями.

Анализ лесных пожаров, пирологических характеристик, метеорологических и поражающих факторов пожаров, математическая модель расчета параметров распространения пламени дают возможность провести расчеты и увидеть, какие из рассмотренных факторов наиболее сильно влияют на распространение огня, а какие, наоборот, его будут сдерживать.

Полученные результаты помогут предпринять наиболее эффективные действия по пожарной защите и разработать рекомендации по обеспечению безопасного и менее затратного способа уберечь ПХГ с учетом параметров возможных возгораний.

Математическое моделирование пожаров позволяет также выстроить более четкую систему их тушения, применения необходимых сил и средств при ликвидации возгораний любой сложности и ин-

тенсивности, создать защиту более эффективным и малозатратным способом, проанализировать ряд вариантов возникновения и устранения пожара без его участников.

Литература/References

1. ПБ 08–621–03. Правила создания и эксплуатации подземных хранилищ газа в пористых пластах. [PB 08–621–03. Rules for the creation and operation of underground gas storage facilities in porous reservoirs. (In Russ.)].
2. Инструкция по производству маркшейдерских работ. РД 07–603–03 (утв. Постановлением Госгортехнадзора РФ от 06.06.2003 № 73). [Instructions for the production of surveying work. RD 07–603–03 (approved by the Decree of the Gosgorhtekhnadzor of the Russian Federation dated 06.06.2003 No. 73). (In Russ.)].
3. Маркшейдерская энциклопедия. Геодинамика. Геодинамическая опасность. Геодинамические последствия разработки месторождения нефти и газа. Геодинамический мониторинг. М.: Горная книга, 2006. 605 с. [Mining encyclopedia. Geodynamics. geodynamic danger. Geodynamic consequences of oil and gas field development. Geodynamic Monitoring. M.: Mountain Book, 2006. 605 p. (In Russ.)].
4. Гудков В.М., Спиридонов В.П. Критерии устойчивости горнопромышленных сооружений и зданий. Маркшейдерский вестник. 2004; 2: 68–71. [Gudkov V.M., Spiridonov V.P. Criteria for the stability of mining structures and buildings. Surveyor Bulletin. 2004; 2:68–71. (In Russ.)].
5. Кузьмин Ю.О., Жуков В.С. Современная геодинамика и вариации физических свойств горных пород. М.: МГУ, 2004. 280 с. [Kuzmin Yu.O., Zhukov V.S. Modern geodynamics and variations in the physical properties of rocks. Moscow: MGGU, 2004. 280 p. (In Russ.)].
6. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности. Федеральный закон № 123-ФЗ. [Technical regulation on fire safety requirements. Federal Law No. 123-FZ. (In Russ.)].
7. Приказ Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий (МЧС России) «Об утверждении Регламента обмена оперативной информацией в области защиты населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера и обеспечения
- пожарной безопасности в системе МЧС России» № 444 от 07.07.2021. [Order of the Ministry of the Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Disaster Relief (EMERCOM of Russia) "On approval of the Regulations for the exchange of operational information in the field of protecting the population and territories from natural and man-made emergencies and ensuring fire safety in the system of the EMERCOM of Russia" No. 444 dated 07/07/2021. (In Russ.)].
8. Пузач С.В., Ярошенко А.В., Кузнецов С.Л. Математическая модель распространения кромки природного пожара с учетом основных особенностей растительности, ландшафта местности и состояния атмосферы. Материалы 20-й научно-технической конференции «Системы безопасности», 2011. М.: Академия ГПС МЧС РФ, 2011: 195–197. [Puzach S.V., Yaroshenko A.V., Kuznetsov S.L. Mathematical model of the spread of the edge of a natural fire, taking into account the main features of vegetation, terrain and the state of the atmosphere. Proceedings of the 20th scientific and technical conference "Security Systems", 2011. Moscow: Academy of the State Fire Service of the Ministry of Emergency Situations of the Russian Federation, 2011: 195–197. (In Russ.)].
9. Галкин П.В., Спиридонов П.В., Копылов А.А., Баженов С.А. Обеспечение пожарной безопасности на топливно-энергетических объектах посредством инженерно-геодезического контроля. Маркшейдерия и недропользование. 2020; 5 (109): 17–22. [Galkin P.V., Spiridonov P.V., Kopylov A.A., Bazhenov S.A. Ensuring fire safety at fuel and energy facilities through engineering and geodetic control. Mine Surveying and Subsoil Use. 2020; 5 (109): 17–22. (In Russ.)].
10. Маламут О.Ю., Спиридонов П.В. Промышленная и пожарная безопасность при эксплуатации подземных хранилищ газа (ПХГ) на примере Калужского ПХГ. Маркшейдерия и недропользование. 2021; 5 (115): 48–54. [Malamut O.Yu., Spiridonov P.V. Industrial and fire safety in the operation of underground gas storage facilities (UGS) on the example of the Kaluga UGS. Mine Surveying and Subsoil Use. 2021; 5 (115): 48–54.

Вклад авторов. В.П. Спиридонов, И.Н. Ширяева, О.Ю. Маламут: разработка дизайна исследования, получение данных для анализа, обзор публикаций по теме статьи, статистический анализ полученных данных, написание текста рукописи.

Authors contributions. V.P. Spiridonov, I.N. Shiryayeva, O. Yu. Malamut: developing of research design, obtaining data for analysis, reviewing publications on the topic of the article, statistical analysis of the obtained data, article writing.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Финансирование. Исследование проведено без спонсорской поддержки.

Financing. The study was performed without external funding.

Статья поступила: 01.02.2023. **Принята к публикации:** 09.03.2023. **Article received:** 01.02.2023. **Accepted for publication:** 09.03.2023.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Спиридонов Валерий Петрович, к. т. н., профессор кафедры инженерной теплофизики и гидравлики*.

Ширяева Ирина Николаевна, магистрант Института управления и комплексной безопасности*. Главное управление МЧС России по г. Москве.

Маламут Ольга Юрьевна, преподаватель кафедры инженерной теплофизики и гидравлики*.

* Академия государственной противопожарной службы МЧС России. Адрес: 129301, г. Москва, ул. Бориса Галушкина, д. 4. Телефон: +7 (495) 617-27-27. E-mail: info@academygpps.ru.

AUTHORS INFORMATION

Spiridonov Valery Petrovich, Candidate of Technical Sciences, Professor of the Department of Engineering Thermophysics and Hydraulics*.

Shiryayeva Irina Nikolaevna, Graduate Student of the Institute of Management and Integrated Security*. The Main Directorate of the Ministry of Emergency Situations of Russia in Moscow.

Malamut Olga Yurievna, Lecturer of the Department of Engineering Thermophysics and Hydraulics*.

* Academy of the State Fire Service of the Ministry of Emergency Situations of Russia Address: Russia, 129301, Moscow, B. Galushkina str., 4. Phone: +7 (495) 617-27-27. E-mail: info@academygpps.ru.

УДК 621.879.3
UDC 621.879.3

Повышение ресурса ковша экскаватора ЭКГ-10

Bucket Resource Increase of the EKG-10 Excavator



АВТОРЫ

AUTHORS

Е.П. Терехин¹, к.т.н., доцент,
А.О. Кириллов²

E.P. Terekhin¹,
A.O. Kirillov²

¹ Губкинский филиал Национального исследовательского технологического университета «МИСИС», г. Губкин, Россия
² АО «Стойленский ГОК», г. Старый Оскол, Россия

¹ Gubkin Branch of the National Research Technological University «MISIS», Gubkin, Russia
² JSC «Stoilensky GOK», Stary Oskol, Russia

РЕЗЮМЕ

SUMMARY

В карьере АО «Стойленский ГОК» основным добычным оборудованием является экскаватор ЭКГ-10. Износ поверхности его ковша от абразивного воздействия крепких пород — одна из наиболее актуальных проблем в эксплуатации на сегодняшний день. Основная идея конструктивного предложения заключается в установке шестого зуба на переднюю стенку ковша. Это предполагает увеличение его срока службы за счет уменьшения межзубного пространства, защиты боковых стенок и дополнительного оребрения. Предложенная методика определения интенсивности изнашивания зубьев ковша при экскавации взорванных железистых кварцитов позволяет определить его ресурс в зависимости от материала передней стенки. Предполагаемый экономический эффект от внедрения предложения в рудоуправлении АО «Стойленский ГОК» на весь экскаваторный парк ЭКГ-10 превысит 16 млн руб. в год.

In the quarry of Stoilensky GOK JSC, the main mining equipment is the EKG-10 excavator. The wear of the excavator bucket surface from the abrasive impact of hard rocks is one of the most pressing problems in operation today. The main idea of the constructive proposal is to install the sixth tooth on the front wall of the bucket, which implies an increase in its service life by reducing the interdental space, protecting the side walls and additional fins. The proposed method for determining the wear intensity of the bucket teeth during the excavation of blasted ferruginous quartzites makes it possible to determine its resource depending on the material of the front wall. The estimated economic effect of the introduction of the proposal in the ore management of Stoilensky GOK JSC for the entire EKG-10 excavator fleet will exceed 16 million rubles per year.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

KEYWORDS

КОВШ ЭКСКАВАТОРА, АБРАЗИВНЫЙ ИЗНОС, ИНТЕНСИВНОСТЬ ИЗНАШИВАНИЯ ЗУБЬЕВ

EXCAVATOR BUCKET, ABRASIVE WEAR, TOOTH WEAR INTENSITY

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ

FOR CITATION

Терехин Е.П., Кириллов А.О. Повышение ресурса ковша экскаватора ЭКГ-10. Технический оппонент. 2023; 1 (9): 64–68.

Terekhin E.P., Kirillov A.O. Bucket resource increase of the EKG-10 excavator. *Technicheskii opponent* = *Technical Opponent*. 2023; 1 (9): 64–68.

Введение

В карьере Стойленского ГОКа работает 13 экскаваторов ЭКГ-10, которые являются основным добычным оборудованием вследствие высокой производительности и надежности, простоты в управлении и обслуживании. Несмотря на то что программой технического перевооружения комбината предусмотрен переход на новую карьерную технику повышенной единичной мощности (ЭКГ-15, ЭКГ-12,5), доля старых машин остается еще значительной. Отлаженная годами система обслуживания и ремонта ЭКГ-10 является малозатратной и низкотрудоемкой, что позволяет выполнять замену различных узлов и деталей в короткие сроки.

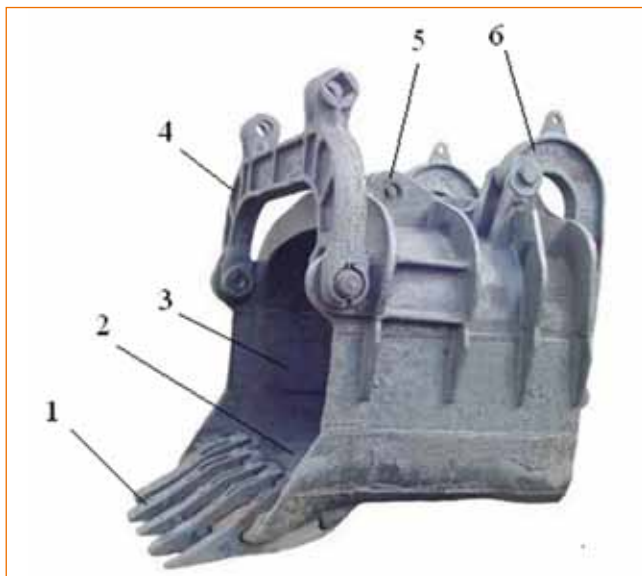
В структуре ремонтных затрат при эксплуатации карьерных канатно-блочных экскаваторов особую роль занимают замены канатов, зубьев ковша и ков-

шей в целом. Взаимодействие ковша (**рис. 1**) с твердой скальной породой влечет за собой интенсивный износ зубьев. А затем — его передней стенки. Интенсивность износа зубьев обуславливается высокой абразивностью горной массы, значительными давлениями на изнашиваемую поверхность и перепадами температур, что не компенсируется даже применением износостойких марок стали (сталь Гадфильда — 110Г13Л) при литье передней стенки и зубьев [1].

По данным рудоуправления Стойленского ГОКа, ковш экскаватора ЭКГ-10 (**рис. 2**) приходит в негодность при погрузке 3,5 млн т руды (или через 27–30 замен зубьев в среднем). После чего его демонтируют и выполняют капитальный ремонт с заменой передней стенки. Нарботка зубьев ковша составляет 130 тыс. т (или 10–12 рабочих смен в среднем), осуществляется замена всего комплекта из пяти зубьев. Большое вли-

РИСУНОК 1 Ковш экскаватора ЭКГ-10: 1 — зуб ковша; 2 — передняя стенка; 3 — боковая стенка; 4 — коромысло; 5 — задняя стенка; 6 — днище

FIGURE 1 EKG-10 excavator bucket: 1 — bucket tooth; 2 — front wall; 3 — side wall; 4 — ocker arm; 5 — rear wall; 6 — bottom



яние на ресурс зубьев, трудоемкость их замены и количество аварийных поломок оказывает их качество по геометрическим параметрам и материалу литья [2]. В целом износ поверхности ковша экскаватора от абразивного воздействия крепких пород является одной из наиболее актуальных проблем в эксплуатации на сегодняшний день.

Поиск технического решения

В существующей организации ТОиР на Стойленском ГОКе затраты на замену зубьев ковша, ковша целиком и канатов составляют существенную долю себестоимости экскавации горной массы. И для повышения коэффициента технической готовности экскаваторного парка имеется существенный потенциал [3]. Поэтому объектом исследования выбран процесс абразивного изнашивания горнодобывающего оборудования, а предметом — износ передней стенки и зубьев ковша ЭКГ-10.

Целью исследований является теоретическое обоснование усовершенствования конструкции передней стенки ковша для повышения ее долговечности.

Решаемые задачи:

- аналитический обзор технических решений по абразивному изнашиванию горнодобывающего оборудования;

- разработка конструкции передней стенки ковша экскаватора с повышенным ресурсом;

- теоретическое определение износостойкости передней стенки;

- обоснование экономической эффективности предлагаемого решения.

Специалисты Стойленского ГОКа в свое время занимались оптимизацией формы зуба ковша и повы-

РИСУНОК 2 Изношенный ковш экскаватора при погрузке железистых кварцитов

FIGURE 2 The worn bucket of the excavator when loading ferruginous quartzites



шением твердости его рабочих поверхностей за счет применения в традиционной технологии литья химико-термической обработки — борирования стали [4].

Разрабатываются различные методы усиления ковша экскаватора для увеличения износостойкости его составных частей. Для зубьев создаются специальные коронки, которые защищают основной зуб от износа [5]. Для увеличения износостойкости передней стенки применяются различные футеровки, а для боковых стенок ковша и для передней стенки в области межзубного пространства — защитные пластины [6].

Все это усложняет конструкцию и технологию ремонта, поэтому предлагается новое техническое решение данной проблемы. Его главным отличием является увеличение количества зубьев на ковше экскаватора ЭКГ-10. Сварно-литая конструкция из высокомарганцовистой стали в базовом варианте оснащена пятью съемными зубьями на передней стенке. Исследованиями профессора А.Н. Зеленина выявлено оптимальное соотношение межзубного расстояния к ширине зуба ($\approx 2,5-3$) для маловязких грунтов. А для взорванной скалы, где резания не происходит, это соотношение может быть уменьшено для защиты режущей кромки ковша.

Установка шестого зуба на стенку ковша позволит:

- сократить нагрузку на зубья;

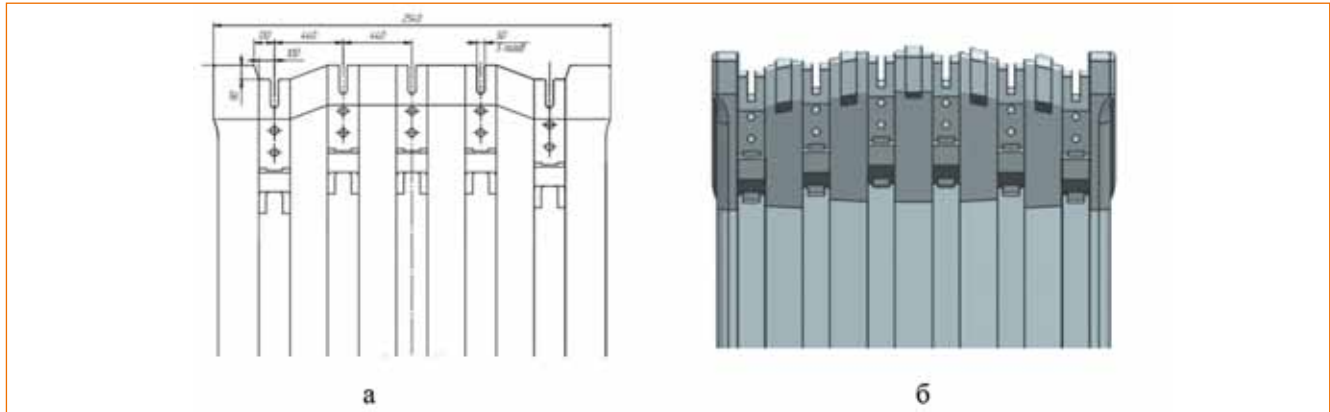
- уменьшить контакт боковой стенки с породой за счет перекрытия ее крайним зубом;

- увеличить наработку ковша из-за уменьшения межзубного пространства передней стенки, увеличения количества ребер жесткости, защиты углов.

Фактическое расстояние между зубьями у стандартной стенки равно 440 мм. Это позволяет разместить пять зубьев на режущей кромке ковша. Незначительно уменьшив межзубное пространство и отодвинув

РИСУНОК 3 Изменение конструкции передней стенки ковша: а — старая передняя стенка; б — новая передняя стенка

FIGURE 3 Changing the design of the front wall of the bucket: a — the old front wall; b — the new front wall



Примечания/Notes: а — а; б — б.

крайние зубья к боковым стенкам с учетом рекомендаций [7], можно разработать конструктивную модель усовершенствованной передней стенки (рис. 3). Такое конструктивное предложение предполагает увеличение срока службы ковша за счет сокращения межзубного пространства, защиты боковых стенок и дополнительного оребрения.

Теоретическое определение износостойкости или интенсивности абразивного изнашивания всегда являлось непростой задачей. А комплексные исследования проблемы износа рабочих органов горных машин в постсоветский период практически не проводились [8].

Экспериментальными работами М.М. Хруцова и М.А. Бабичева установлена зависимость интенсивности абразивного изнашивания от давления на площадку трения и твердости материала. Применяя эту корреляцию в некотором приближении к износу зубьев ковша при работе с абразивными породами, можно определить интенсивность их изнашивания i [9]. То есть отношение высоты изношенного слоя h к пути трения L в зависимости от номинального давления на зуб P и его твердости HB (с учетом коэффициента пропорциональности k):

$$i = \frac{h}{L} \approx k \frac{P}{HB}, \frac{\text{мм}}{\text{м}}.$$

Возникающее давление на зубья ковша ЭКГ-10 предлагается определять как отношение усилия копания F_k к суммарной площади износа зубьев ΣS_3 , рассчитанных по известным методикам:

$$P = \frac{F_k}{\Sigma S_3}, \text{ МПа}.$$

При этом считается, что изнашивание носит ударно-абразивный характер [10] при работе по крупнокусковым железистым кварцитам с равномерным воздействием на нижнюю, верхнюю и боковые части зуба [11]. Известно, что экскавация взорванных скальных пород приводит к повышению твердости высокомарганцевистой стали зубьев с 200 до 700 HB

РИСУНОК 4 Модель усовершенствованного ковша экскаватора ЭКГ-10

FIGURE 4 Model of the improved bucket of the EKG-10 excavator



в результате наклепа, но в расчетах принимается первоначальное значение [12].

Для производства передней стенки с шестью зубьями предлагается использовать сталь 13Mn2Cr, являющейся аналогом 110Г13Л, которая применяется за рубежом и показывает увеличение износостойкости, а значит, и наработки передней стенки за счет разницы в качестве литья и термической обработки металла. Рассчитанная по этому алгоритму интенсивность изнашивания зубьев ($i = 9 \cdot 10^{-4}$ мм/м) предлагаемой передней стенки с шестью зубьями меньше, чем у стандартного образца ($i = 12 \cdot 10^{-4}$ мм/м) с пятью зубьями. Это достигается снижением удельного давления на зуб и повышением его твердости.

Теоретическое определение интенсивности ударно-абразивного изнашивания зубьев ковша при экскавации взорванных железистых кварцитов, несмотря на большое количество допущений, соотносится с фактической наработкой экскаваторов ЭКГ-10 в карьере Стойленского ГОКа.

ТАБЛИЦА 1 Экономические показатели проекта

TABLE 1 Economic indicators of the project

Наименование параметра Name of the parameter	Стандартная конструкция передней стенки Standard front wall design	Усовершенствованная конструкция передней стенки Improved front wall design
Ресурсные показатели Resource indicators		
Количество смен до замены зубьев Number of shifts before tooth replacement	11	15
Наработка зубьев ковша, т Operating time of bucket teeth, t	131791	179715
Число ремонтов ковша в год Number of bucket repairs per year	2	1,5
Наработка ковша, т Bucket operating time, t	3558357	4852662
Расход зубьев в год, шт. Consumption of teeth per year, pcs.	270	240
Затраты на обслуживание ковша Bucket maintenance costs		
Стоимость зуба, руб. The cost of a tooth, rub.	21200	21200
Стоимость ремонта ковша, руб. The cost of bucket repair, rub.	1885521	2074073
Годовые ремонтные затраты на один экскаватор Annual repair costs per excavator		
Затраты на приобретение зубьев, руб. в год Costs for the purchase of teeth, rubles per year	5724000	5088000
Затраты на капитальный ремонт ковша, руб. в год The cost of major repairs of the bucket, rub. per year	3771042	3111110
Итого, руб. в год Total, rub. per year	9495042	8199110
Экономический эффект на один экскаватор, руб. в год Economic effect per excavator, rub. per year	1295932	
Экономический эффект на весь парк из 13 шт., руб. в год The economic effect on the entire fleet of 13 pieces, rub. per year	16847116	

Определение эффективности предложения

Для определения толщины изношенного слоя необходимо знать интенсивность износа и длину пути трения, которую можно получить из эксплуатационной производительности экскаватора и количества черпаний ковшем за смену. С учетом интенсивности изнашивания видно, что каждый зуб старой передней стенки за смену изнашивается на 4,5 мм, а новой — на 3,4 мм. Зуб ковша ЭКГ-10 при износе поверхности на 50 мм подлежит замене, что определяет его наработку для старой конструкции в 11 смен (или 132 тыс. т погрузенной руды) и для новой 15 смен (или 180 тыс. т).

Если износостойкость ковша при погрузке горной массы не превышает 3560 тыс. т (27–30 замен зубьев, как показывает практика), после чего выполняется его капитальный ремонт с заменой передней стенки, то ресурс усовершенствованного ковша может возрасти до 4850 тыс. т. Это снизит количества замен с двух до полутора в год. Таким образом, для ковша старой конструкции максимально допустимый износ возникает через полгода эксплуатации, а срок службы нового, с улучшенной передней стенкой (рис. 4), увеличивается.

Расчет годового экономического эффекта базировался на том, что, несмотря на увеличение количества зубьев, ресурс их стал выше. А удорожание стоимости ремонта ковша компенсируется его наработкой, как видно из табл. 1.

Заключение

По результатам исследований можно сделать следующие выводы:

- 1) традиционные методы усиления ковша экскаватора для увеличения износостойкости его составных частей, как правило, усложняют конструкцию, что сказывается на трудоемкости ремонта;
- 2) конструктивное предложение по установке шестого зуба на стенку ковша предполагает увеличение срока его службы за счет уменьшения межзубного пространства, защиты боковых стенок и дополнительного оребрения;
- 3) предложенная методика определения интенсивности изнашивания зубьев при экскавации взорванных железистых кварцитов хорошо соотносится с фактическими показателями ресурса экскаваторов ЭКГ-10 в карьере Стойленского ГОКа;

4) предполагаемый экономический эффект от внедрения предложения в рудоуправлении ГОКа на весь экскаваторный парк ЭКГ-10 превысит 16 млн

руб. в год. При этом для каждого экскаватора будет сэкономлена одна машино-смена на ремонте при замене ковша.

Литература/References

1. Разибаев А.Н., Жураев Д.Д., Хасанова Ш.И., Абдиев Б.К. Исследование износа зубьев ковшей карьерных экскаваторов. Научная работа. Республика Узбекистан: Навоийский государственный горный институт, 2019. 4 с. [Razibaev A.N., Zhuraev D.D., Khasanova Sh.I., Abdiev B.K. Wear study of bucket teeth of quarry excavators. Scientific work. Republic of Uzbekistan: Navoi State Mining Institute, 2019. 4 p. (In Russ.).]
2. Шибанов Д.А., Иванов С.Л., Емельянов А.А., Пумпур Е.В. Оценка показателей работоспособности карьерных экскаваторов в реальных условиях эксплуатации. Горный информационно-аналитический бюллетень. 2020; 10: 86–94. [Shibanov D.A., Ivanov S.L., Yemelyanov A.A., Pumpur E.V. Evaluation of working efficiency of open pit shovels in real operating conditions. Mining Inf. Anal. Bull. 2020; 10: 86–94. (In Russ.).]
3. Иванов С.Л., Иванова П.В., Кувшинкин С.Ю. Оценка наработки карьерных экскаваторов перспективного модельного ряда в реальных условиях эксплуатации. Записки Горного института. 2020; 242: 228. [Ivanov S.L., Ivanova P.V., Kuvshinkin S.Y. Promising model range career excavators operating time assessment in real operating conditions. Journal of Mining Institute. 2020; 242: 228. (In Russ.).]
4. Хромой М.В., Свиначук В.П., Свиначук П.В. Изнашивание вооружения ковша карьерного одноковшового экскаватора. Горные науки и технологии. 2010; 8: 106–113. [Khromoy M.V., Svinarchuk V.P., Svinarchuk P.V. Wear of the bucket armament of a single-bucket excavator. Mining Sciences and Technologies. 2010; 8: 106–113. (In Russ.).]
5. Дэлэг Д., Ванчинжав С., Пурэвдорж Н. Исследование самозатачивания зуба ковша экскаватора. Горный информационно-аналитический бюллетень. 2008; 1: 402–416. [Deleg D., Vanchinzhav S., Purevdorz N. Investigation of self-sharpening of the excavator bucket tooth. Mining Information and Analytical Bulletin. 2008; 1: 402–416. (In Russ.).]
6. Кубышкин И.П., Шарова А.А. Патент РФ № 2612766, 05.05.2015. Ковш карьерного экскаватора. Бюллетень № 8. 2017. [Kubushkin I.P., Sharova A.A. RF Patent № 2612766, 05.05.2015. Bucket of a quarry excavator. Bulletin № 8. 2017. (In Russ.).]
7. Шемякин С.А., Лещинский А.В. Расчет землеройных машин: Учебное пособие. Хабаровск: Издательство Тихоокеанского государственного университета, 2014. 55 с. [Shemyakin S.A., Leshchinsky A.V. Calculation of earthmoving machines: Textbook. Manual. Khabarovsk: Publishing House of the Pacific State University, 2014. 55 p. (In Russ.).]
8. Побегайло П.А., Крицкий Д.Ю., Гильманшина Т.Р. Износ элементов карьерных экскаваторов: анализ современного состояния проблемы. Горный информационно-аналитический бюллетень. 2021; 2: 64–74. [Pobegailo P.A., Kritsky D.Yu., Gilmanshina T.R. Wear of elements of quarry excavators: analysis of the current state of the problem. Mining Information and Analytical Bulletin. 2021; 2: 64–74. (In Russ.).]
9. Хрущов М.М., Бабичев М.А. Абразивное изнашивание. М.: Наука, 1970. 219 с. [Khrushchev M.M., Babichev M.A. Abrasive wear. Moscow: Nauka, 1970. 219 p. (In Russ.).]
10. Колокольцев В.М., Вдовин К.Н., Чернов В.П. и соавт. Исследование механизмов абразивного и ударно-абразивного изнашивания высокомарганцевой стали. Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2017; 2 (15): 54–62. [Kolokoltsev V.M., Vdovin K.N., Chernov V.P. et al. Study of abrasive and impact and abrasive wear mechanisms of high manganese steel. Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University. 2017; 2 (15): 54–62. (In Russ.).]
11. Болобов В.И., Ахмеров Э.В., Ракитин И.В. Влияние вида горной породы на закономерности изнашивания коронки зуба ковша экскаватора. Горный информационно-аналитический бюллетень. 2022; 6–2: 189–204. [Bolobov V.I., Akhmerov E.V., Rakitin I.V. Influence of the type of rock on the wear patterns of the tooth crown of the excavator bucket. Mining Information and Analytical Bulletin. 2022; 6–2: 189–204. (In Russ.).]
12. Болобов В.И., Бочков В.С., Мишин И.И., Неструев А.А. О влиянии режимов термомеханической обработки на износостойкость материалов быстроизнашиваемых элементов горно-обогатительного оборудования. Горный информационно-аналитический бюллетень. 2017; 1: 52–59. [Bolobov V.I., Bochkov V.S., Mishin I.I., Nevstruev A.A. On the influence of thermomechanical treatment modes on the wear resistance of materials of fast-wearing elements of mining and processing equipment. Mining Information and Analytical Bulletin. 2017; 1: 52–59 (In Russ.).]

Вклад авторов. Е.П. Терехин, А.О. Кириллов: разработка дизайна исследования, получение данных для анализа, обзор публикаций по теме статьи, статистический анализ полученных данных, написание текста рукописи.

Authors contributions. E.P. Teryekhin, A.O. Kirillov: development of research design, obtaining data for analysis, review of publications on the topic of the article, statistical analysis of the data obtained, paper writing.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Финансирование. Исследование проведено без спонсорской поддержки.

Financing. The study was performed without external funding.

Статья поступила: 03.02.2023. **Принята к публикации:** 14.03.2023. **Article received:** 03.02.2023. **Accepted for publication:** 14.03.2023.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Терехин Евгений Петрович, к.т.н., доцент кафедры горного дела. Губкинский филиал Национального исследовательского

технологического университета «МИСИС». Адрес: 309186, г. Губкин, ул. Комсомольская, д. 16 Телефон: +7 (472) 415-51-83. E-mail: gf@MISIS.ru. ORCID: 0000-0003-3955-947X.

Кириллов Андрей Олегович, механик по развитию ТОиР. АО «Стойленский ГОК». Адрес: 309504, Белгородской область, г. Старый Оскол, 4-й проезд Фабричной площадки. Телефон: +7 (4725) 41-65-62. E-mail: info.sgok@nlmk.com.

AUTHORS INFORMATION

Teryekhin Evgeny Petrovich, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Mining. Gubkin branch of the National Research Technological University «MISIS». Address: 16 Komsomolskaya str., Gubkin, 309186. Phone: +7 (472) 415-51-83. E-mail: gf@MISIS.ru. ORCID: 0000-0003-3955-947X.

Kirillov Andrey Olegovich, Mechanic for MRO development. JSC «Stoilensky GOK». Address: 309504, Belgorod region, Stary Oskol, 4th drive of Fabrichnaya Ploschadka. Phone: +7 (4725) 41-65-62. E-mail: info.sgok@nlmk.com.

УДК 622-1/-9
UDC 622-1/-9



Модернизация оборудования и создание графического изображения для обработки колес железнодорожного транспорта горных предприятий

Modernization of Equipment and Creation of a Graphic Image for the Processing of Wheels of Railway Transport of Mining Enterprises

АВТОР

А.Н. Блудов, к. т. н., доцент

AUTHOR

A.N. Bludov

Губкинский филиал Национального исследовательского технологического университета «МИСИС», г. Губкин, Россия

Gubkin branch of the National Research Technological University «MISIS», Gubkin, Russia

РЕЗЮМЕ

SUMMARY

Стояла задача выполнить восстановительный ремонт поверхностей катания колес железнодорожного транспорта. Оборудование, на котором производятся ремонтные работы и изготовление, нуждалось в оптимизации и модернизации. Данная проблема решилась путем установки на станки электродвигателей и фотоаппаратов, а также посредством адаптации числового программного управления к ним. В результате удалось добиться ускорения производства, его удешевления за счет уменьшения количества работников и увеличения качества обрабатываемой поверхности деталей. В итоге был создан легкорезализуемый в виде отдельной процедуры алгоритм, работа которого приспособлена к взаимодействию в составе станков с числовым программным управлением.

We were faced with a problem in the restoration of the surfaces of rolling wheels of railway transport, the equipment on which the repair and manufacture was carried out required optimization and modernization. We solved this problem by installing electric motors and cameras on the machines, and also adapted numerical control to them. As a result, we have accelerated production, made it cheaper by reducing the number of employees, and also increased the quality of the machined surface of parts. Based on the results of the work, we have created an algorithm that is easily implemented as a separate procedure, the operation of which is adapted to interaction as part of machine tools with numerical control.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

KEYWORDS

СТАНОК, ОПТИМИЗАЦИЯ, АЛГОРИТМ, ПРОГРАММА, ДВИГАТЕЛЬ

MACHINE, OPTIMIZATION, ALGORITHM, PROGRAM, ENGINE

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ

FOR CITATION

А.Н. Блудов. Модернизация оборудования и создание графического изображения для обработки колес железнодорожного транспорта горных предприятий. Технический оппонент. 2023; 1 (9): 69–72.

Bludov A.N. Modernization of equipment and creation of a graphic image for the processing of wheels of railway transport of mining enterprises. *Technicheskii opponant* = *Technical Opponent*. 2023; 1 (9): 69–72.

Введение

Один из способов повышения эффективности процессов механической обработки поверхностей катания — назначение оптимальных режимов и автоматизация процесса обработки изделия [1]. Обсудим модернизацию. Самый простой путь улучшения применяемого в службах ремонта металлообрабатывающего оборудования — установка управляемых приводов. А также это применение устройств с числовым программным управлением. Подобным вариантом модернизации достигается положительный эффект в том

случае, если оборудование используется в службе ремонта на предприятии и его улучшение позволяет использовать его как универсальное, что в настоящее время и реализуется на различных производствах. Системы управления применяются так же, как и системы с ручным управлением и цифровой индикацией. Это сокращает затраты на персонал, т. к. использование цифровой индикации ускоряет и упрощает позиционирование деталей и рабочих органов оборудования, что позволяет отказаться от услуг квалифицированного персонала и достигнуть экономии средств для оплаты труда.

Программная и аппаратная модернизация

Упрощение и уменьшение действий позиционирования рабочих органов металлообрабатывающего оборудования повышает производительность процесса обработки изделия [2], т.к. выполнение операций подвода и отвода инструмента сокращается. Уменьшение оперативного времени при ручной обработке на станках с цифровой индексацией — весомый аргумент в пользу оснащения оборудования стойкой ЧПУ. Однако при изготовлении профилей катания колес железнодорожного транспорта (даже при наличии стойки ЧПУ) квалификации персонала не хватает для корректного создания сложных поверхностей вручную. Необходима разработка программы управления, что требует дополнительных затрат. Т.к. нужен станочник с высокой квалификацией, обладающий навыками создания управляющих программ для оборудования, программной разработкой занимается инженер-технолог. И это тоже влечет дополнительные расходы. Кроме того, время изготовления необходимой программы управления увеличивается.

В случае если для создания или ремонта изделий применяется специализированное оборудование, то описанный выше способ модернизации уже не представляется эффективным, а установка дополнительных приводов и стоек управления может привести к ненужным затратам. И в итоге себестоимость конечной продукции увеличится.

Профиль колеса поездов представляет собой ломаную кривую, и его изготовление связано со значительными трудностями, заключающимися в полной организации движения режущего инструмента. Для обработки поверхностей катания колес железнодорожного транспорта используется профильное оборудование. Его модернизация заключается в том числе в установке приводов и систем управления ими. Но с целью уменьшения затрат на механическую обработку требуется оптимизация всей технологической системы, используемой в процессе получения профиля поверхности колеса.

Задачи модернизации производства должны решаться в два этапа, среди них:

- 1) установка специального или специализированного станка приводами с механизмами управления;
- 2) производство и настройка системы, позволяющей адаптироваться под требуемую поверхность.

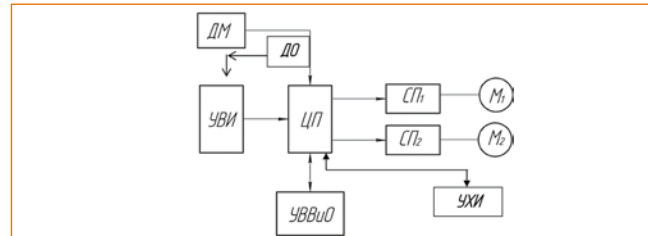
Исходя из этого можно рассмотреть программную и аппаратную реализацию модернизации. Один из аппаратных вариантов приведен на **рис. 1**.

Применение устройства ввода изображения (УВИ) означает использование адаптивной системы, которая обрабатывает согласно заданным геометрическим параметрам профиля. Задача, решаемая УВИ, — ввод в систему текущей геометрии профиля изделия и его передача в систему, способную произвести его анализ и идентификацию.

Если в технологическом процессе необходимы ограничения по мощности приводов оборудования, то для этого используется датчик мощности (ДМ). Реализация управления по контролю мощности неоднократно описывается в литературе и не представляет трудностей. Единственное нововведение — это непосредственное использование в качестве датчика магниторезистивного

РИСУНОК 1 Схема системы управления станком для проточки железнодорожных колес. Источник: разработано автором

FIGURE 1 Diagram of the machine control system for turning railway wheels. Source: developed by the author



элемента, обладающего лучшей помехозащищенностью в сравнении с трансформаторами тока [3] и обеспечивающего надежность и безопасность всей системы в целом. Устройство для ввода-вывода и отображения (УВВиО) применяется для ввода в систему настроек, параметров и данных технологического процесса и для вывода значений контролируемых параметров. Оно также отображает графические данные о получаемых процессах.

Если для управления системой используется персональный компьютер, то для ввода информации — консоль. Для обработки поступающих данных применяется центральный процессор (ЦП). Он управляет приводами поперечной (СП₁) и продольной (СП₂) подачи, которые осуществляют управление двигателями М₁ и М₂. Устройство для хранения информации (УХИ) предназначено для хранения данных о режимах обработки, программах и т.п. Для этого лучше всего использовать твердотельный носитель информации, к примеру флеш-накопитель или что-то подобное. Наличие крупногабаритного дорогостоящего оборудования, создающего вибрацию, не допускает использование устройств памяти с механическим приводом, т.к. это приведет к его поломке, а в последующем — к аварии оборудования. В статье, вышедшей в 2012 году, дана подобная схема, в ней, кроме отсутствия УХИ, нет датчика количества оборотов (ДО), установка которого дает возможность контроля скорости вращения шпинделя. В предложенном варианте не предполагается замена главного привода движения на управляемый, поскольку такие приводы имеют стоимость, не позволяющую окупиться. Предложенная на **рис. 1** схема содержит минимальное число элементов и достаточно проста (в виде готовых частей). Она может быть выполнена на базе двух сервоприводов с двигателями, панели оператора, программируемого контроллера, датчиков, цифровой камеры. А если заменить логистический контроллер, то схема будет управляться с компьютера. Максимальная стоимость подобного оборудования намного ниже цены на стойку ЧПУ.

Формирование и обработка графического изображения программ

Построение системы управления связано с определением ее необходимых параметров. Наиболее примени-

РИСУНОК 2 Схема получения изображения профиля колеса. Источник: разработано автором

FIGURE 2 The scheme of obtaining a wheel profile image. Source: developed by the author

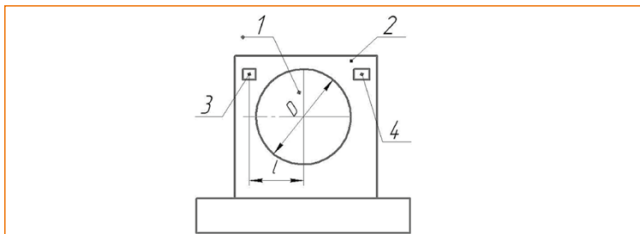


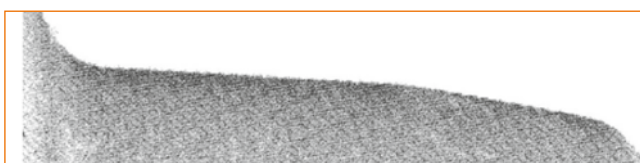
РИСУНОК 3 Полученный с цифровой камеры профиль колеса. Источник: разработано автором

FIGURE 3 Obtained from a digital camera, wheel profile. Source: developed by the author



РИСУНОК 4 Монохромный вариант изображения профиля железнодорожного колеса. Источник: разработано автором

FIGURE 4 Monochrome version of the profile image of the railway wheel. Source: developed by the author



мым для этой задачи является изготавливаемый профиль кривой железнодорожного колеса. Она определяется как разность между контуром профиля, хранящегося в системной памяти, и контуром наплавляемого колеса. Т. е. изображением контура профиля, созданного с помощью ввода его в память устройства. Так получается алгоритм ввода картинки [4]. Для этого применим схему съема изображения, представленную на **рис. 2**.

Обрабатываемое колесо (1) закреплено в токарном станке (2), причем его припуск имеет изменяемую величину. В зависимости от требуемого профиля, что понятно из **рис. 3**, на нужном расстоянии от него размещается цифровая камера (3), на которую проецируется изображение профиля колеса. Автором получено изображение профиля колеса, которое в дальнейшей обрабатывается системой (**рис. 3**). При этом использовался дополнительный источник света (4) (**рис. 2**). Он позволил получить четкость изображения согласно **рис. 3**.

Следующим этапом идет обработка цветного изображения. Она нужна для определения величины до-

пуска и разработки программы управления. Цветное изображение невозможно применить для формирования реального или восстанавливаемого профиля кривого колеса. Необходимо получение значения яркости пикселя. Поэтому следующим шагом является перевод цветного изображения в монохромное (не в черно-белое), поскольку его элементы (или пиксели) могут принимать либо минимальное значение яркости (0), либо максимальное (1). Этот вариант представлен на **рис. 4**. Для получения в системе информации о контуре требуется произвести анализ уже монохромного изображения, что проще выполнить для приведенного на **рис. 4** изображения.

Назначается произвольный минимальный размер профиля D_o , от которого начинается отсчет, а также обработка пикселей. В данном случае назовем это линией O_x , или нулевой линией. Затем назначается вторая линия отсчета — O_y . Следовательно, координата каждого пикселя будет считаться по формулам:

$$X_u = X_m - X_o,$$

$$Y_u = Y_m - Y_o,$$

где X_u, Y_u — значения координаты пикселя; X_m, Y_m — текущие координаты; X_o, Y_o — значения нулевых линий O_x и O_y .

Создание массива данных, описывающих профиль

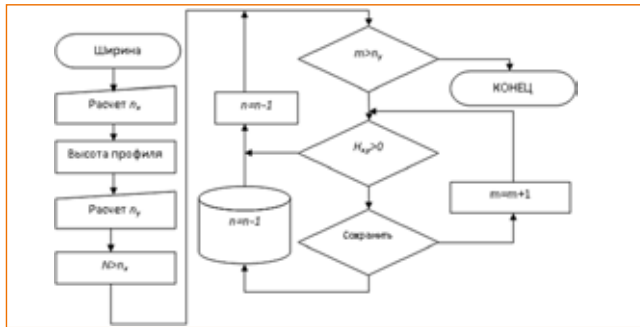
Узнаем о возможности создания изображения для матрицы цифровой камеры и, соответственно, определим предельную допустимую величину пикселя. Возьмем ширину обода железнодорожных колес максимальной из производимых международной трубно-колесной компанией «ИНТЕРПАИП». По каталогу это — $N_{max} = 160$ мм. Таким образом, отображаемая на матрице камеры цифрового фотоаппарата кривая профиля занимает в ширину количество пикселей, равное 160 мм. Или при пересчете масштаба один пиксель соответствует определенному линейному размеру. Исходя из ГОСТ 10791–2011, допустимая погрешность кривой профиля — менее 0,3 мм. Следовательно, максимальный размер пикселя не должен превышать 0,15 мм. Это является нормой для современных матриц. Определим максимальный размер пикселя в полученном на камеру изображении спомощью формулы:

$$B_{max} = H/n,$$

где H — максимальная ширина обода; n — количество пикселей по оси, за которую в данном примере возьмем J . Следовательно, $n = 640, 300, 960, 1024, 1152, 1200, 1280, 1440, 1536, 1600$. $B_{max} = 0,25, 0,2, 0,1667, 0,15625, 0,138, 0,133$ и т. д. Дальнейшие расчеты дают понять, что для порядка $1МП$ с обычным соотношением сторон выполняются требуемые условия. Задание при установке оборудования состоит в том, чтобы всего лишь подобрать правильным образом расстояние расположения камеры, а также ее оптику. Так, чтобы было больше $D/2$. При этом камера должна быть защищена от попадания посторонних предметов и загрязнения. Для доказательства произведенных расчетов была применена веб-камера

РИСУНОК 5 Блок-схема реализации алгоритма получения реального профиля. Источник: разработано автором

FIGURE 5 Block diagram of the implementation of the algorithm for obtaining a real profile. Source: developed by the author



с разрешением 2MP, что подтверждается качественным изображением кривой на рис. 3. Наилучшим способом ввода графического изображения является применение теневого метода [5]. В этом случае достигается наивысшая точность, но, к сожалению, изготовление матрицы с шириной более 160 мм и размером пикселя менее 0,01 мм экономически невыгодно. Хотя нужно отметить, что выпускаемый фирмой «АГМ Системы» измерительный комплекс, использующийся для определения геометрических параметров железнодорожных колес, применяет растровый катод на основе дальнометров. Однако использование таких комплексов для производства деталей невозможно. Профиль находится

с помощью сравнения яркости соседних по вертикали пикселей — к примеру, $X_1 = 0; X_2 = 0; X_3 = 0; X_4 = 1$. Это означает, что яркость пикселя с координатой X_1 равна 0, с $X_2 = 0$, с $X_3 = 0$, с $X_4 = 1$ и т.д. В таком случае, если при следующей координате изменяется яркость пикселя, есть возможность зафиксировать контур. Таким образом можно последовательно перебрать все пиксели по вертикали и выполнить рисунок истинного контура профиля для кривой поверхности детали. Следовательно, описание алгоритма выглядит следующим образом:

- 1) задаем ширину профиля и координаты точки цикла отсчета;
- 2) затем пересчитываем (в зависимости от размера пикселя), получаем число N_x ;
- 3) задаем начало отсчета по вертикали;
- 4) определяем качество пикселей по вертикали N_y ;
- 5) последовательно перебираем все вертикальные линии, цикл на вертикальных линиях, все пиксели, если яркость пикселя сменилась на противоположную, то запоминаем его координаты (X, Y).

Таким образом, последовательно в пиксельном виде создается массив данных, описывающих профиль. Алгоритм изображен на рис. 5.

Заключение

Последовательно в виде пикселей создается массив данных, который описывает профиль. Данный алгоритм легко реализуется в виде отдельной процедуры в системе управления оборудованием. Дальнейшая его работа возможна только в составе аппаратно-программного комплекса адаптивного управления станка для обработки железнодорожных колес.

Литература/References

1. Чепчуров М.С., Блудов А.Н. Восстановление поверхностей катания железнодорожного оборудования с использованием адаптивного управления. Ремонт, восстановление, модернизация. Наука и технологии. 2012; 8: 24–26. [Chepchurov M.S., Bludov A.N. Restoration of rolling surfaces of railway equipment using adaptive control. Repair, restoration, modernization. Science and Technology. 2012; 8: 24–26. (In Russ.)].
2. Саубанов М.Н., Дозорнов А.Ю. Особенности изготовления крупногабаритных и сложнопрофильных отливок из титановых сплавов. Технический оппонент. 2018; 1 (1): 34–39. [Saubanov M.N., Dozornov A. Yu. Peculiarities of manufacture of large-size and complex-profile castings from titanium alloys. Tekhnicheskiiy opponnet = Technical Opponent. 2018; 1 (1): 34–39. (In Russ.)].
3. Гринек А.В., Дуюн Т.А., Чепчуров М.С. Патент № 71431. Российская Федерация, МПК G01L5/16. Устройство для измерения мощности резания. № 2007133992/22; заяв. 11.09.2007, опубл. 10.03.2008. [Grinek A.V., Duin T.A., Chepchurov M.S. Patent № 71431. Russian Federation, IPC G01L5/16. A device for measuring cutting power. № 2007133992/22; application. 11.09.2007, publ. 10.03.2008. (In Russ.)].
4. Чепчуров М.С. Контроль и регистрация параметров механической обработки крупногабаритных деталей: Монография. Белгород: Издательство БГТУ, 2008. 232 с. [Chepchurov M.S. Control and registration of parameters of machining of large-sized parts: Monograf. Belgorod: Publishing House of BSTU, 2008. 232 p. (In Russ.)].
5. Yokoya N., Yamamoto K., Funakubo N. Fractal-based analysis and interpolation of 3D natural surface shapes and their application to Terrain modeling. Computer Vision, Graphics, and Image Processing. 1989; 3 (46): 284–302.

Вклад автора. А.Н. Блудов: разработка дизайна исследования, получение данных для анализа, обзор публикаций по теме статьи, статистический анализ полученных данных, написание текста рукописи.

Authors contribution. A.N. Bludov: developing of research design, obtaining data for analysis, reviewing publications on the topic of the article, statistical analysis of the obtained data, article writing.

Конфликт интересов. Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest. The author declares no conflict of interest.

Финансирование. Исследование проведено без спонсорской поддержки.

Financing. The study was performed without external funding.

Статья поступила: 07.02.2023. **Принята к публикации:** 16.03.2023.
Article received: 07.02.2023. **Accepted for publication:** 16.03.2023.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ

Блудов Александр Николаевич, к. т. н., доцент. Губкинский филиал Национального исследовательского технологического университета «МИСИС». Адрес: 309186, г. Губкин, ул. Комсомольская, д. 16. Телефон: +7 (472) 415-51-83. E-mail: gf@MISIS.ru. ORCID: 0000-0002-3462-3121.

AUTHOR INFORMATION

Bludov Alexander Nikolaevich, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor. Gubkin branch of the National Research Technological University «MISIS». Address: 16 Komsomolskaya str., Gubkin, 309186. Phone: +7 (472) 415-51-83. E-mail: gf@MISIS.ru.

УДК 622.331
UDC 622.331

Исследование глубины залегания ^{137}Cs и влагоемкости торфа



Investigation of the Depth of Occurrence of ^{137}Cs and the Moisture Capacity of Peat

АВТОРЫ

AUTHORS

В.В. Жучков, к.т.н., доцент,
В.П. Спиридонов, к.т.н., профессор,
А.А. Копылов, к.социол.н., доцент

Академия государственной противопожарной службы МЧС России, г. Москва, Россия

V.V. Zhuchkov,
V.P. Spiridonov,
A.A. Kopylov

Academy of the State Fire Service of the Ministry of Emergency Situations of Russia, Moscow, Russia

РЕЗЮМЕ

SUMMARY

В статье рассмотрен вопрос опасного проявления природных процессов и явлений на объектах торфяной отрасли, приводящего к чрезвычайным ситуациям и пожарам. Дана оценка морфологического строения почв Брянской области. Основой исследований является экологический мониторинг.

The article considers the issue of dangerous manifestations of natural processes and phenomena at peat industry facilities resulting in emergencies and fires. An assessment of the morphological structure of the soils of the Bryansk region is given. The basis of research is environmental monitoring.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

KEYWORDS

РАДИОАКТИВНОЕ ЗАГРЯЗНЕНИЕ, ВЛАГОЕМКОСТЬ ТОРФА, ГЛУБИНА ЗАЛЕГАНИЯ ^{137}CS , ХАРАКТЕРИСТИКА ТОРФЯНЫХ ЗАЛЕЖЕЙ, ПОЖАРОТУШЕНИЕ ТОРФЯНИКА

RADIOACTIVE CONTAMINATION, PEAT MOISTURE CAPACITY, DEPTH OF OCCURRENCE ^{137}CS , CHARACTERISTICS OF PEAT DEPOSITS, PEAT FIRE EXTINGUISHING

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ

FOR CITATION

Жучков В.В., Спиридонов В.П., Копылов А.А. Исследование глубины залегания ^{137}Cs и влагоемкости торфа. *Технический оппонент.* 2023; 1 (9): 73–80.

Zhuchkov V.V., Spiridonov V.P., Kopylov A.A. Investigation of the depth of occurrence of ^{137}Cs and the moisture capacity of peat. *Technicheskij opponant = Technical Opponent.* 2023; 1 (9): 73–80.

Введение

Исследование морфологического строения почв в основных торфяных залежах юго-запада Брянской области позволяет изучить историю их формирования и эволюции. Кроме того, получить обоснованные представления о составе и химизме протекающих процессов, о режимах, под воздействием которых развивается почвообразование. Обладая этими знаниями, можно прогнозировать поведение ионов, в том числе радиоактивных, в почве [1, 2].

Отбор проб производили в Клинцовском и Новозыбковском районах.

Топиловский ключевой почвенный участок (КПУ) расположен в переходном болоте, водосборную территорию вокруг которого используют под интенсивную пашню. Растительность представлена сфагновыми мхами, осоками, пушицей, сильноугнетенной березой. Почва болотная верховая пере-

гнойно-торфяная переходная. Степень разложения торфа — 40–50%. Грунтовые воды согласно исследованию 1999 года — с глубины 40 см (по данным от 2019-го — 1 м 75 см).

Вепринский КПУ расположен в переходном болоте, водосборная территория вокруг которого покрыта лесом. Растительность представлена сфагновыми мхами, осоками, пушицей, багульником, тростником, багульником, угнетенными березой и сосной. Почва болотная верховая перегнойно-торфяная переходная. Степень разложения торфа — 30–50%. Грунтовые воды согласно исследованию 1999 года — с глубины 25 см (по данным 2019-го — 1 м 80 см).

Красногорский КПУ расположен в переходном болоте, водосборная территория покрыта лесом. Растительность представлена сфагновыми мхами, осоками, пушицей, багульником, голубикой, черникой, клюквой, брусникой, сосной, березой. Почва болотная верховая торфяно-глеевая. Степень разложения торфа — 20–30%. Грунтовые воды согласно исследованию

дованию 1999 года — с глубины 30 см (по данным 2019-го — уровень не изменился).

Методология исследований

Экологический мониторинг является основой исследований. Методы — определение влагоемкости и водопоглощаемости, математический анализ, эксперимент по оценке увлажненности торфяных залежей, дозиметрия и спектрометрия.

Каждый мониторинговый КПУ занимает площадь 25–30 м² и состоит из одной — трех опорных почвенных площадок (ОПП), расположенных в непосредственной близости на одном и том же типе болотной фации в естественных экосистемах.

В зоне радиоактивного загрязнения Брянской области в 1990 году Е.В. Просьянников и В.Б. Осипов заложили Топиловский ключевой почвенный участок в Топиловском болоте (около села Старый Вышков Новозыбковского района). В 1999 году с участием диссертанта Г.В. Чекина были заложены еще два мониторинговых КПУ: Вепринский (около деревни Веприн Клинцовского района) и Красногорский (на территории Красногорского района) [3, 4].

В ходе подготовки к осуществлению экспериментальной части совместно с к.с.-х.н. Г.В. Чекиным продолжились начатые исследования с углублением двух основных направлений: изучения влагоемкости торфа и глубины залегания ¹³⁷Cs.

На каждой исследуемой площадке закладывали основной полнопрофильный разрез. Для лабораторных исследований на каждом КПУ отбирали образцы с нарушенным сложением в 3–4-кратной повторности. Из этих монолитов затем послойно вырезали индивидуальные образцы с нарушенным сложением через 2 см до глубины 20 см. Далее — через каждые 5 см. Из индивидуальных образцов составляли смешанный для каждого слоя. Почвенные пробы подготавливали для лабораторных исследований по общепринятым методикам [5].

В лабораториях Брянской государственной сельскохозяйственной академии (БГСХА) в образцах почв определяли:

- степень разложения торфа;
- его объемный вес;
- рН солевой вытяжки потенциометрически;
- гидролитическую кислотность по З.В. Логвиновой [6].

Мощность амбиентного эквивалента дозы γ -излучения на поверхности почв измеряли дозиметром-радиометром ДКС-96 с помощью блоков детектирования БДПГ-96 и БДПГ-96м. Индивидуальный дозиметрический контроль осуществляли дозиметрами ДКГ-05д.

В почве содержание ¹³⁷Cs определяли:

- в 1992 году — в специализированной лаборатории ВНИИ сельскохозяйственной радиологии и агроэкологии методом полупроводниковой γ -спектрометрии на приборе IN-1200 с германиевым детектором фирмы Ortek (В.Б. Осипов);
- в 1999 году — в специализированной лаборатории кафедры почвоведения, агрохимии и сель-

РИСУНОК 1 Динамика распределения валового ¹³⁷Cs в почве Топиловского КПУ в разные годы

FIGURE 1 Dynamics of gross ¹³⁷Cs distribution in the soil of Topilovsky key soil area in different years

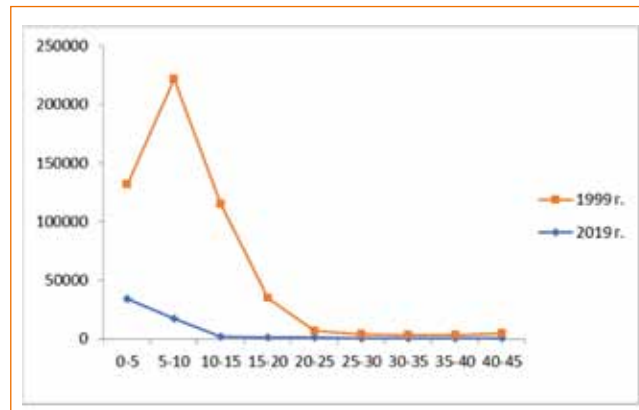


РИСУНОК 2 Динамика распределения валового ¹³⁷Cs в почве Вепринского КПУ в разные годы

FIGURE 2 Dynamics of gross ¹³⁷Cs distribution in the soil of the Veprinsky key soil area in different years

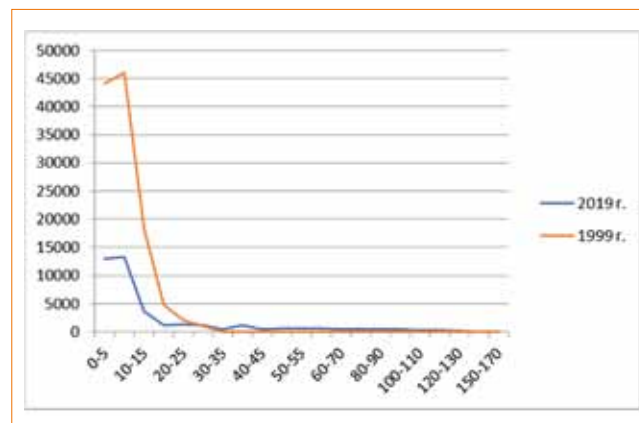


РИСУНОК 3 Динамика распределения валового ¹³⁷Cs в почве Красногорского КПУ в разные годы

FIGURE 3 Dynamics of gross ¹³⁷Cs distribution in the soil of Krasnogorsk key soil area in different years

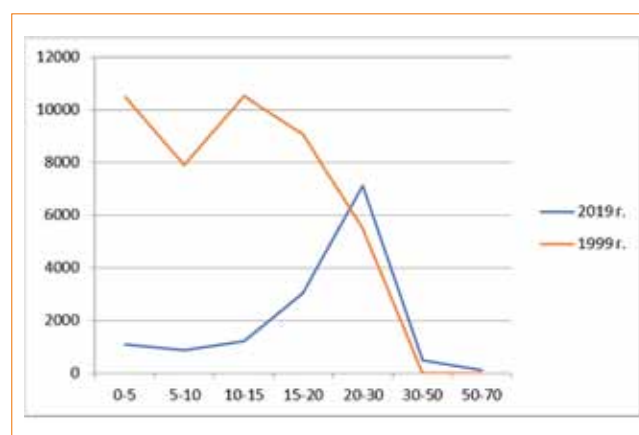
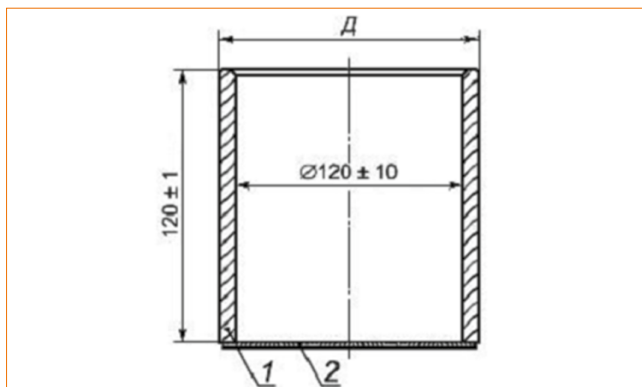


РИСУНОК 4 Цилиндр. 1 — цилиндр, 2 — сетка

FIGURE 4 Cylinder. 1 — cylinder, 2 — grid



хозрадиологии БГСХА сцинтилляционным методом на приборе РУБ-01П6 с блоком детектирования БДКГ-03П (Г.В. Чекин);

- в 2019 году — в испытательной лаборатории центра коллективного пользования приборным и научным оборудованием Брянского государственного аграрного университета гамма-спектрометром сцинтилляционным «Прогресс-гамма» (Г.В. Чекин, Р.Л. Луговой).

При расчете относительного распределения радионуклидов по фракциям за валовое содержание принимали его удельную активность в почве до обработки десорбентами. Для проверки материального баланса это значение сравнивали с суммарным содержанием ^{137}Cs во всех вытяжках и остатке после всех обработок. Расхождения между измеряемыми величинами не превышали 20%.

Динамика распределения валового ^{137}Cs в разные годы в почве КПУ представлена на **рис. 1, 2 и 3**.

В летний период 2019 года в юго-западных районах Брянской области были отобраны образцы торфа с типичной для региона залежи. Мощность торфа (осокового и древесно-осокового) — 1,5 м. Образцы естественного сложения отбирали со стенки разреза с глубин 20 и 70 см в трехкратной повторности высечкой цилиндрами объемом 500 см³. Одновременно из этих же слоев брали образцы для определения полевой влажности торфа.

Согласно ГОСТ 24160–2014, влагоемкость и водопоглощаемость определяют двумя методами: типовым и ускоренным. Первый применяют при научных исследованиях для характеристики динамики поглощения влаги торфом. Ускоренный метод используют для оперативного контроля показателя влагоемкости.

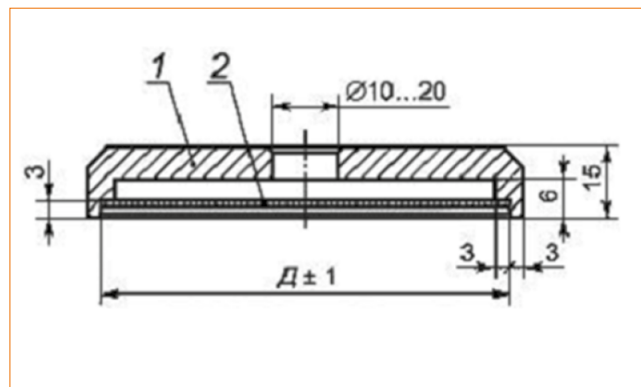
В целях получения полных данных для проведения исследования применяли типовой метод. Он заключается в определении влагоемкости и водопоглощаемости путем свободного намочения торфа в воде за определенное время.

Для проведения испытания применяли:

- цилиндр (2 шт.) для образца торфа высотой 120 (±1) мм и внутренним диаметром 120 (±10) мм, изготовленный из нержавеющей материала, с дном из одинарной сетки по ГОСТ 3826, с размерами ячеек в свету — от 0,2 до 0,4 мм (**рис. 4**);

РИСУНОК 5 Крышка. 1 — крышка, 2 — сетка

FIGURE 5 Cover. 1 — lid, 2 — grid



- крышки для цилиндров с массой от 1,0 до 1,5 кг из нержавеющей материала, снабженные той же сеткой, что и цилиндр (**рис. 5**);

- подставки для цилиндров, обеспечивающие свободное стекание воды через сетчатое дно цилиндра без подпора;

- ложку для отбора проб;

- весы лабораторные 4-го класса точности по ГОСТ OIML R 76–1 (с гирями по ГОСТ OIML R 111–1), обеспечивающие погрешность взвешивания не более 0,5 г;

- поддон по размеру чашки (платформы) весов для ее предохранения от влаги;

- сосуд произвольной формы шириной не менее 250 мм и высотой не менее 250 мм. Уровень воды в сосуде должен находиться выше крышек цилиндров не менее чем на 50 мм;

- решетку (из сетки по ГОСТ 3826 или ГОСТ 6613) по размеру сосуда для установки цилиндров с торфом. Размеры ячеек решетки в свету — не менее 25 x 25 мм;

- термометр технический ртутный с ценой деления шкалы 1 °С или 2 °С по ГОСТ 13646;

- противень.

Пробу торфа, отобранную по ГОСТ 5396 и ГОСТ 11304, методом квартования сократили до массы не менее 4 кг. Перемешивали и делили на две части, одну из которых использовали для определения массовой доли влаги исходной пробы по ГОСТ 11305.

Оставшуюся часть пробы помещали на противень. Далее разравнивали ровным слоем и делили на девять равных квадратов. Из каждого ложкой брали одинаковые порции для наполнения цилиндров.

Перед испытанием в сосуд клали металлическую сетку и заливали водой с температурой 15–25 °С.

Порядок проведения испытания:

- погрузили цилиндры на 3–5 секунд в сосуд с водой, вынули, через 3 минуты взвесили, поддон от капель воды не вытирали;

- цилиндры заполнили торфом до верхнего края, без уплотнения, взвесили;

- вытерли поддон на весах от капель воды;

- закрыли цилиндры с торфом крышками и поместили в сосуд с водой таким образом, чтобы слой воды над сосудом был не менее 50 мм;

ТАБЛИЦА 1 Измерение массы торфа после насыщения водой

TABLE 1 Measuring the weight of peat after water saturation

№ No	m торфа, кг Peat m, kg	m торфа с тарой после насыщения водой Peat with tare weight after water saturation			m тары Tare m	m торфа после насыщения водой Peat weight after water saturation		
		2 дня 2 days	3 дня 3 days	30 дней 30 days		2 дня 2 days	3 дня 3 days	30 дней 30 days
1/1	0,189	0,445	0,444	0,463	0,170	0,275	0,274	0,293
1/2	0,204	0,441	0,444	0,460	0,173	0,268	0,271	0,287
1/3	0,279	0,515	0,516	0,532	0,166	0,349	0,350	0,366
Среднее Mean	0,224	0,467	0,468	0,485	0,170	0,297	0,298	0,315
Кв. окл.						0,045	0,045	0,044
2/1	0,372	0,591	0,59	0,597	0,173	0,418	0,417	0,424
2/2	0,410	0,608	0,608	0,617	0,171	0,437	0,437	0,446
2/3	0,401	0,626	0,634	0,642	0,186	0,440	0,448	0,456
Среднее Mean	0,394	0,608	0,611	0,619	0,177	0,432	0,434	0,442

— массу торфа определяли после 1, 2, 4, 8, 24, 48 и 72 часов от начала намокания до тех пор, пока различие в массе не стало превышать 2 г.

Влагоемкость торфа (B_e) в килограммах воды на 1 кг сухого торфа вычисляется по формуле 1:

$$B_e = \frac{M_k}{M_n} \cdot \frac{100}{100 - W} - 1 \quad (1)$$

где M_k — масса торфа после намокания, кг;

M_n — масса сухого торфа до намокания, кг;

W — массовая доля влаги исходной пробы торфа, %.

Вычисление результатов испытания производят до второго десятичного знака, а окончательные результаты округляют до первого десятичного знака.

Водопоглощаемость (B_n) в процентах от массы торфа исходной влажности рассчитывается по формуле 2:

$$B_n = \left(\frac{M_k - M_n}{M_n} \right) \cdot 100 \quad (2)$$

Вычисление результатов водопоглощаемости проводят до 1%, а окончательные результаты округляют до 5%.

Влажность образцов устанавливали с помощью анализатора «Эвалас-2М». Полную влагоемкость

определяли на 2, 3 и 30-й день насыщения водой. Полученные результаты представлены в табл. 1, 2 и 3.

В момент отбора проб уровень грунтовых вод был ниже слоя торфа.

Насыщение образцов торфа водой для определения полной влагоемкости показало, что данный процесс в статичных условиях эксперимента в основном завершается в первые двое суток, слабо изменяясь в дальнейшем.

Влагоемкость торфа — это его способность удерживать определенное количество воды после избыточного увлажнения. Эта величина зависит от индивидуальных характеристик слоя. Более близкий к поверхности (осоковый) торф показал меньшую влагоемкость (2,4 кг на 1 кг торфа) по сравнению с более разложившимся нижележащим (древесно-осоковым) — 3,52 кг на 1 кг торфа.

В момент отбора проб уровень грунтовых вод был ниже слоя торфа.

Насыщение образцов торфа водой с целью определения полной влагоемкости показало, что данный процесс в статичных условиях эксперимента в основном завершается в первые двое суток, слабо изменяясь в дальнейшем. Более близкий к поверхности (осоковый) торф показал меньшую влагоемкость (2,4 кг на 1 кг торфа) по сравнению с более разложившимся нижележащим (древесно-осоковым) — 3,52 кг на 1 кг торфа.

Водопоглощаемость торфа — его способность поглощать определенное количество воды. Этот по-

ТАБЛИЦА 2 Определение влагоемкости и водопоглощаемости образцов торфа

TABLE 2 Determination of moisture capacity and water absorption of peat samples

W, %	Влагоемкость (V_e), кг воды на 1 кг торфа Moisture capacity, kg of water per 1 kg of peat			Водопоглощаемость, % от массы исх. торфа Water absorption, % by initial peat weight		
	2 дня 2 days	3 дня 3 days	30 дней 30 days	2 дня 2 days	3 дня 3 days	30 дней 30 days
61,68	2,34	2,33	2,33	45,5	44,97	55,0
64,66	2,40	2,43	2,43	31,4	32,84	40,7
66,64	2,50	2,51	2,51	25,1	25,45	31,2
64,33	2,39	2,40	2,40	32,7	33,18	40,8
	0,08	0,09	0,09	10,45	9,86	12,00
73,93	3,19	3,18	3,18	12,4	12,10	14,0
78,87	3,98	3,98	3,98	6,6	6,59	8,8
75,74	3,43	3,49	3,49	9,7	11,72	13,7
76,18	3,50	3,52	3,52	9,5	10,06	12,1

ТАБЛИЦА 3 Обобщенные результаты определения влагоемкости и водопоглощаемости отобранных образцов торфа

TABLE 3 Generalized results of moisture capacity and water absorption of selected peat samples

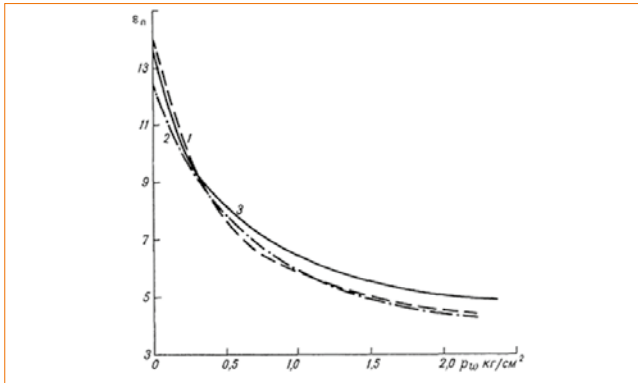
Глубина, см Depth, cm	W, %	Влагоемкость, кг воды на 1 кг торфа Moisture capacity, kg of water per 1 kg of peat			Водопоглощаемость, % от массы исходного торфа Water absorption, % by initial peat weight		
		2 дня 2 days	3 дня 3 days	30 дней 30 days	2 дня 2 days	3 дня 3 days	30 дней 30 days
20	64,33	2,39	2,40	2,40	32,7	33,18	40,8
70	76,18	3,50	3,52	3,52	9,5	10,06	12,1

казатель зависит от естественной влажности торфа в данный момент времени. При указанной влажности он составил: для осокового торфа — 32,7–40,8%, для древесно-осокового — 9,5–12,1%. Т. е. более глубоко-расположенные слои закономерно имеют большую влажность по сравнению с находящимися ближе к поверхности.

Учитывая определенную плотность данного типа торфа (440 кг/м³) и естественную влажность, до насыщения водой на каждый кубический метр торфа необходимо около 380 кг воды (без учета поверхностного стекания). В реальных условиях эта цифра может значительно возрасти за счет низкой эффективности проникновения воды в залежь и ее поглощения.

РИСУНОК 6 Компрессионные кривые. 1 — осоковый торф; 2 — осоково-сфагновый; 3 — пушицево-сфагновый

FIGURE 6 Compression curves. 1 — sedge peat; 2 — sedge-sphagnum; 3 — fuzzy-sphagnum



Определение влагонасыщения торфяных залежей

Влажность торфа в естественных и в осушенных болотных массивах может изменяться в весьма широких пределах. А с изменением влагосодержания меняются и все основные свойства торфа. Это способность выделять и поглощать воду, т.е. водоотдача и аккумуляция, водопроводимость ниже уровня грунтовых вод (коэффициент фильтрации), капиллярная влагонепроводимость в зоне аэрации (выше уровней грунтовых вод), механическая прочность (или способность сопротивления внешним нагрузкам), компрессионные характеристики торфа.

Для любого постоянного уровня грунтовых вод статическое (или равновесное) распределение влажности по высоте слоя аэрации над уровнем грунтовых вод крайне неравномерное — как вследствие уменьшения уплотненности твердого скелета и увеличения общей пористости и размеров пор при переходе от торфяных горизонтов к живому растительному покрову, так и по причине различной высоты капиллярного поднятия влаги в порах разных размеров.

К.Е. Иванов в своем издании «Водообмен в водных ландшафтах» (1975) приводит способ определения влажности, влагоемкости и влагонасыщения торфа в условиях естественного залегания:

Влагоемкость торфа в единичном слое, залегающем на любой заданной глубине, изменяется с изменением положения уровня грунтовых вод:

$$\tau_g = \epsilon_0 - \alpha(\gamma_m - \gamma_g)\Delta z - \alpha\gamma_g(1 - \eta - \Delta)z + \alpha\gamma_g(z - h) \quad (3)$$

где, τ_g — влагоемкость при данном давлении;

ϵ_0 — постоянная безразмерная величина, зависящая от степени разложения и ботанического состава торфа;

α — коэффициент уплотнения грунта, отношение фиксированной плотности (440 кг/м^3) к максимальной (800 кг/м^3) согласно таблице плотностей: $\alpha = 0,55$;

γ_m — удельный вес твердой фазы в плотном теле, $\gamma_m = 1,6$;

γ_g — удельный вес воды, $\gamma_g = 1$;

Δ — средняя плотность сухого вещества в слое: $\Delta = 440 \text{ кг/м}^3 = 0,44 \text{ г/см}^3$;

z — высота слоя торфяной залежи от уровня грунтовых вод до поверхности растительного покрова при измерении выше грунтовых вод: $z = h = 1,8 \text{ м}$;

ϵ_0 — постоянная безразмерная величина, зависящая от степени разложения и ботанического состава торфа.

Зависимость давления на твердую фазу грунта от полной пористости ϵ (или порозности ϵ_n) при одном сжатии выражается экспериментально получаемыми компрессионными кривыми (рис. 6) и может быть записана в виде:

$$\epsilon_0 = \epsilon + \alpha p_w \quad (4)$$

где, p_w — давление на твердый скелет торфа (при отсутствии дополнительной нагрузки): $p_w = 0,1 \text{ Мпа} = 1,01 \text{ кг/см}^2$.

Отложив данные на кривой 1, получили значение: $\epsilon_n = 6,1$.

Зная, что $\epsilon_n = \epsilon$, подставим значение в уравнение:

$$\epsilon_0 = 6,1 + 0,55 \cdot 1,01 = 6,65$$

$$\tau_g = 6,1 - 0,55 \cdot (1,6 - 1) \cdot 0,44 \cdot 1,8 - 0,55 \cdot 1 \cdot (1 - 0 - 0,44)z + 0,55 \cdot (1,8 - 1,8) = 5,531$$

Нормальной влагоемкостью в слое торфа на глубине z назовем такую, при которой консолидация твердого скелета идет под влиянием только собственного веса частиц твердой фазы. Обозначая нормальную влагоемкость, на основании (3) имеем:

$$\tau_{g,n} = \epsilon_0 - \alpha(\gamma_m - \gamma_g)\Delta z = 6,1 - 0,55 \cdot (1,6 - 1) \cdot 0,44 \cdot 1,8 = 5,839 \quad (5)$$

Для характеристики относительной обводненности или влагонасыщенности болотных массивов, отдельных участков и слоев торфа используется понятие коэффициента водонасыщенности торфяной залежи, представляющего собой отношение влагоемкости при данном давлении к нормальной влагоемкости:

$$\beta = \frac{\tau_b}{\tau_{b,n}} = \frac{5,531}{5,839} = 0,94 \quad (6)$$

При $\beta = 1$ данный слой торфяной залежи имеет нормальное влагонасыщение, при $\beta > 1$ он переобводнен, при $\beta < 1$ влагонасыщенность его ниже нормальной.

ТАБЛИЦА 4 Количество воды, необходимое для обводнения участков залежи торфа

TABLE 4 Quantity of water required for watering of the peat deposit areas

Объем торфа, м ³ Peat volume, m ³	Количество воды на увлажнение, л Quantity of water for moistening, l	Время на увлажнение при подаче с поверхности, ч Humidification time at moisture supply from the surface, h	Количество ПАВ на увлажнение, л. На примере 2% раствора НЧК, ПО-1Д, л Amount of surfactant per humidification, l. By the example of 2% neutralized black contact solution, foam-1D, l	Время на увлажнение при подаче с поверхности, ч Humidification time at moisture supply from the surface, h
1	380	48	7,6	24
2	760		15,2	
3	1 140		22,8	
4	1 520		30,4	
5	1 900		38	
6	2 280		45,6	
7	2 660		53,2	
8	3 040		60,8	
9	3 420		68,4	

В нашем случае расчетный метод определения влагонасыщенности торфяной залежи подтвердил недостаточное влагонасыщение участков.

Относительно данной классификации можно проследить динамику в сторону осушения или обводнения торфяной залежи при изменении ряда характеристик. В нашем случае получена цифра 0,94, что говорит о недостаточной влагонасыщенности.

Данная формула была разработана для аграрных целей, но можно ее использовать для контроля динамики влагонасыщенности торфа, пусть и в приближенном аспекте. Точно знать нужно одно: изменения показателя обводненности (ниже 0,94 — согласно формуле) наступает при увеличении глубины залегания грунтовых вод. Как следствие — снижение естественной влажности торфа, что потом приведет к увеличению пожароопасной обстановки [7].

Математическая зависимость для определения количества воды на увлажнение и пожаротушение торфяника (с учетом нахождения первого водоносного горизонта выше минерального слоя)

Согласно проведенным исследованиям, можно выстроить зависимость для обводнения участков залежи или торфяника целиком (табл. 4).

Зная, что первый водоносный горизонт начинается с глубины 1,8–2 м, следующую зависимость можно представить в табл. 5.

ТАБЛИЦА 5 Количество воды, необходимое на увлажнение при средней мощности торфяной залежи 2 м

TABLE 5 Quantity of water required for humidifying at the average thickness of the peat deposit of 2 m

Площадь, га Area, ha	Количество воды на увлажнение, м ³ Quantity of water for humidifying, m ³	Количество ПАВ на увлажнение, л, на примере 2% раствора НЧК, ПО-1Д, м ³ Quantity of surfactant for humidifying, l, by the example of 2% neutralized black contact solution, foam-1D, l, m ³
0,1	76	1,5
0,5	380	7,5
1	760	15
10	7 600	150
50	38 000	750
100	76 000	1 500
500	380 000	7 500
1 000	760 000	15 000
10 000	7 600 000	150 000

Заключение

Отношение весового количества воды к весу общей массы торфа, определенное в процентах, является его относительной влажностью. Она будет тем выше, чем больше пористость торфа и чем меньше разложились растительные остатки. Пористость торфа и сохранность в нем растительных тканей связаны со степенью его разложения. То есть чем сильнее он разложился, тем он плотнее и тем меньше в нем растительных клеток, способных впитывать и удерживать воду. Поэтому значения влажности и степень разложения одного и того же вида торфа находятся в обратной зависимости друг от друга.

Как показал проведенный эксперимент, в основных торфяных залежах юго-запада Брянской

области наиболее часто встречаются осоковый и древесно-осоковый тип торфа со степенью разложения 30–40%. Согласно исследованиям 1999 года, относительная влажность образцов находилась в максимальных пределах (93–92% соответственно). За прошедшие 20 лет видна отрицательная динамика увлажненности торфов: к 2019 году влажность снизилась до 70%.

В случае сохранения снижения относительной увлажненности на изученных торфяниках в ближайшие годы можно наблюдать уменьшение до 50%. Это является критической отметкой, приводящей к самовозгоранию торфа. Такое может вызвать резкое увеличение пожарной опасности, дестабилизацию физических характеристик торфа и, как следствие, системы движения ^{137}Cs в нем.

Литература/References

1. Гришин А.М. Теплофизика лесных пожаров. Томск: Издательство ТГУ, 1994. 218 с. [Grishin A.M. Thermophysics of forest fires. Tomsk: Publishing House of TSU, 1994. 218 p. (In Russ.)].
2. ГОСТ 24160–2014. Торф. Методы определения влагоемкости и водопоглощаемости. М.: Стандартиформ, 2016. [GOST 24160–2014. Peat. Methods of determination of moisture capacity and water absorptiveness. Moscow: Standartinform, 2016. (In Russ.)].
3. Чекин Г.В. Поведение ^{137}Cs в почвах экосистем переходных болот. Диссертация на соискание ученой степени к. с.- х. н. Брянск, 2002: 3–10, 30–45. [Chekin G.V. ^{137}Cs behavior in soils of ecosystems of transitional swamps. Thesis for the degree of Candidate of Agricultural Sciences. Bryansk, 2002: 3–10, 30–45. (In Russ.)].
4. Исаева Л.К., Соловьев С.В., Власов А.Г. Исследование свойств торфа при разработке профилактических мер и способов тушения торфяных пожаров. Вестник государственной противопожарной службы. 2004: 52–60. [Isaeva L.K., Soloviev S.V., Vlasov A.G. Investigation of peat properties in the development of preventive measures and methods of extinguishing peat fires. Bulletin of the State Fire Service. 2004: 52–60. (In Russ.)].
5. Долгов А.А., Цомаева Д.С. Прогноз развития чрезвычайных ситуаций и их последствия. ВНИИ ГОЧС: вчера, сегодня, завтра. 35 лет на службе безопасности жизнедеятельности. В кн.: Акимов В.А., ред. Научные статьи. М.: ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ), 2011. 320 с. [Dolgov A.A., Tsomaeva D.S. Prognosis of emergency situations and their consequences. Institute of GOChS: yesterday, today, tomorrow. 35 years in the life safety service. In book: Akimov V.A., ed. Scientific articles. Moscow: FSBI Institute of GOChS (FC), 2011. 320 p. (In Russ.)].
6. Хорошавин Л.Б., Медведев О.А., Беляков В.А. и соавт. Торф: возгорание торфа, тушение торфяников и торфокомпозиты. М.: ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ), 2013. 256 с. [Khoroshavin L.B., Medvedev O.A., Belyakov V.A. et al. Peat: peat ignition, extinguishing peat bogs and peat composites. Moscow: FGBU VNIИ GOCHS (FC), 2013. 256 p. (In Russ.)].
7. Самовозгорание торфа. Горная энциклопедия. URL: <http://www.mining-enc.ru/s/samovozgoranietorfa>. [Spontaneous combustion of peat. Mountain Encyclopedia. URL: <http://www.mining-enc.ru/s/samovozgoranietorfa>. (In Russ.)].

Вклад авторов. В.В. Жучков, В.П. Спиридонов, А.А. Копылов: разработка дизайна исследования, получение данных для анализа, обзор публикаций по теме статьи, статистический анализ полученных данных, написание текста рукописи.

Authors contributions. V.V. Zhuchkov, V.P. Spiridonov, A.A. Kopylov: developing of research design, obtaining data for analysis, reviewing publications on the topic of the article, statistical analysis of the obtained data, article writing.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Финансирование. Исследование проведено без спонсорской поддержки.

Financing. The study was performed without external funding.

Статья поступила: 09.02.2023. **Принята к публикации:** 21.03.2023.
Article received: 09.02.2023. **Accepted for publication:** 21.03.2023.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Жучков Вячеславович Виталий, к. т. н., доцент кафедры инженерной теплофизики и гидравлики*.

Спиридонов Валерий Петрович, к. т. н., профессор кафедры инженерной теплофизики и гидравлики*.

Копылов Андрей Александрович, к. социол. н., полковник внутренней службы, доцент кафедры инженерной теплофизики и гидравлики*.

* Академия государственной противопожарной службы МЧС России. Адрес: 129301, г. Москва, ул. Бориса Галушкина, д. 4. Телефон: +7 (495) 617-27-27. E-mail: info@academygps.ru.

AUTHORS INFORMATION

Zhuchkov Vitaly Vyacheslavovich, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Engineering Thermophysics and Hydraulics*.

Spiridonov Valery Petrovich, Candidate of Technical Sciences, Professor of the Department of Engineering Thermophysics and Hydraulics*.

Kopylov Andrey Aleksandrovich, Candidate of Sociological Sciences, Colonel of the Internal Service, Associate Professor of the Department of Engineering Thermophysics and Hydraulics*.

* Academy of the State Fire Service of the Ministry of Emergency Situations of Russia Address: Russia, 129301, Moscow, B. Galushkina str., 4. Phone: +7 (495) 617-27-27. E-mail: info@academygps.ru.