

ISSN 1609-9192 (print) • ISSN 2587-9138 (online)

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ЖУРНАЛ

30 ЛЕТ

# Горная

## ПРОМЫШЛЕННОСТЬ

RUSSIAN MINING INDUSTRY JOURNAL

№ 3 / 2024



16+

РЕКЛАМА

# BELAZ

## ЭКСКАВАТОР ВХ20012

ЕМКОСТЬ КОВША 12 КУБИЧЕСКИХ МЕТРОВ

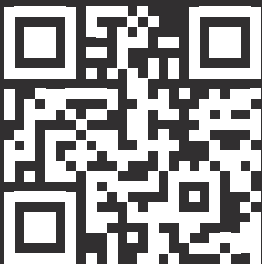
**200 ТОНН**



**ОГК Групп**

Объединённая  
горно-сервисная  
компания

**ВЕДУЩИЙ ПОСТАВЩИК  
СЕРВИСНЫХ УСЛУГ  
В ГОРНОЙ ОТРАСЛИ**



[www.ogkgroup.ru](http://www.ogkgroup.ru)





# Содержание

- 6** Д.Р. Гурков  
**Горнопромышленный комплекс Республики Карелия**
- 10** **Экскаватор BELAZ BX20012: идеальная пара для 90- и 130-тонных самосвалов**
- 14** **MAGSTRONG – движение вперед**
- 16** **Первый автогрейдер Кировец К-714 от Петербургского тракторного завода**  
*Интервью с Сергеем Серебряковым, генеральным директором ПАО «Кировский завод»*
- 20** **РудХим: точность, эффективность и безопасность БВР**  
А.С. Ракипов
- 22** **Инжиниринговые решения для развития труднодоступных регионов России**
- 26** **К 150-летию Александра Александровича Скочинского**
- 27** **Ковдор – заполярный город горняков и железной руды**
- 30** **EXPO 2024: прорыв в выставочной индустрии России**
- 34** **Mining & Metals Central Asia 2024**  
*Интервью с Юлией Палагутиной, руководителем выставки Mining & Metals Central Asia*
- 36** **Кузбасская сага «Новые времена – Новые герои»**
- 40** К.Н. Маренич, С.А. Руссиян, А.И. Денисова  
**Посткоммутационное импульсное закорачивание фаз как фактор повышения безопасности эксплуатации шахтной участковой электрической сети напряжения 3,3 кВ**
- 45** А.А. Пецык, М.В. Секретов, С.Г. Губанов  
**Сравнительный прочностной анализ алмазных сегментов канатных камнерезных станков**
- Оригинальные статьи**
- 48** Р.И. Исмагилов, А.Г. Журавлев, В.О. Фурин  
**Проектирование современных российских дробильно-перегрузочных установок для комплексов циклично-поточной технологии**
- 56** И.В. Зырянов, М.В. Корняков, К.А. Непомнящих, А.И. Труфанов, В.А. Храмовских, А.Н. Шевченко  
**Сетевая платформа автоматизации прогнозирования отказов карьерных самосвалов**
- 64** К.Ю. Анистратов, О.В. Наговицын, Г.О. Наговицын, М.О. Васильева  
**Формирование цифровой модели угольного месторождения в горно-геологической информационной системе МАЙНФРЭЙМ**
- 70** Т.С. Сахапова, Д.М. Круть, Е.Д. Обидина, М.Д. Данилов  
**Матрица бизнес-выгод как инструмент исследования потенциала цифровизации на примере мини-завода для производства невзрывчатых компонентов эмульсионных взрывчатых веществ**
- 77** В.И. Голик, А.В. Титова  
**Перспективы увеличения минеральной базы цветной металлургии**
- 85** Д.С. Юсов, П.В. Иванова, С.Л. Иванов  
**Систематизация рабочих органов машин глубокого фрезерования**  
А.А. Тедикова, М.Д. Климоченков, И.А. Мельниченко, М.А. Красноцветов, С.С. Ус, И.И. Кутлыев, М.В. Щёкина
- 90** **История зарождения и развития геоинформатики как науки**  
Чжо Зай Яа, А.А. Семикин, Д.Г. Сандакова, А.А. Дехтяренко, В.А. Якимов
- 100** **Совершенствование реагентных режимов флотации руд сложного вещественного состава**  
О.Г. Журавлева, С.А. Жукова
- 105** **Исследование пространственно-временных закономерностей развития сейсмичности в подработанной толще массива на Расвумчоррском руднике**  
М.В. Рыльникова, Д.Н. Олейник, А.М. Файсханов
- 112** **Научно-методический подход к разработке проектов опытно-промышленных испытаний открытой разработки месторождений**  
В.В. Антошин, А.И. Маневич, А.А. Гаврилова, А.А. Камаев
- 118** **Перспективы использования баз спутниковых данных эмиссии парниковых газов при мониторинге объектов добывающей промышленности**  
А.А. Камаев, А.И. Маневич, В.В. Антошин
- 122** **Геологическое дешифрирование данных дистанционного зондирования Земли на примере месторождения Колмозерское Мурманской области**  
Р.Ш. Насыров, А.В. Третьяк, С.С. Неугомонов, А.М. Мажитов
- 126** **Разработка технологии проведения и крепления горной выработки в зоне тектонически-ослабленных пород**  
М.П. Куликова, Г.Ф. Балакина
- 131** **Возможности и проблемы энергогенерации в Республике Тыва**  
Е.В. Пояркова, А.С. Махновская
- 135** **Производство и применение оксида магния в Российской Федерации**  
А.М. Балашов
- 139** **Вопросы внедрения аналитических систем больших данных и других достижений цифровизации для повышения эффективности бизнеса горнодобывающих компаний**  
Е.И. Шешукова, Д.А. Шибанов, С.Л. Иванов, Е.С. Недашковская
- 143** **Оценка нагрузок приводов рабочего оборудования карьерного экскаватора (часть 1)**  
Е.М. Евтушенко, А.В. Великосельский, О.А. Лапаева
- 149** **Методический подход и методы развития угледобывающих предприятий**

# Contents

- D.R. Gurkov  
**6 Mining industry in the Republic of Karelia**
- 10 BELAZ BX20012 hydraulic excavator: a perfect match for 90 ton and 130 ton dump trucks**
- 14 MAGSTRONG: moving forward**
- 16 First Kirovets K-714 motor grader by St. Petersburg Tractor Plant**  
*Interview with Sergey Serebryakov, General Director of Kirovsky Zavod*
- 20 The RudChem Company: accuracy, efficiency and safety of drilling and blasting operations**  
Rakipov A.S.
- 22 Engineering solutions to develop hard-to-reach regions of the Russian Federation**
- 26 In honor of the 150th anniversary of Alexander Skochinsky**
- 27 Kovdor: a Polar city of miners and iron ore**
- 30 EXPO 2024: a breakthrough in the Russian exhibition industry**
- 34 Mining & Metals Central Asia 2024**  
*Interview with Yulia Palagutina, Head of Mining & Metals Central Asia Exhibition*
- 36 The Kuzbass Saga: new times - new heroes**  
K.N. Marenich, S.A. Russijan, A.I. Denisova
- 40 Post-commutation pulse phase shorting as a factor in improving the safety of operation of a 3.3 kV mine site electric network**  
A.A. Petsyk, M.V. Sekretov, S.G. Gubanov
- 45 A comparative strength analysis of diamond cable segments for stone cutting machines**
- Original papers**
- 48 Designing modern Russian crushing and transfer units for conveyor ore transportation systems**  
R.I. Ismagilov, A.G. Zhuravlev, V.O. Furin
- 56 Network platform for automation of pit dump truck failure prediction**  
I.V. Zyryanov, M.V. Korniyakov, K.A. Nepomnyashchikh, A.I. Trufanov, V.A. Khramovskikh, A.N. Shevchenko
- 64 Designing a digital model of a coal deposit in the MINEFRAME mining and geological information system**  
K.Y. Anistratov, O.V. Nagovitsyn, G.O. Nagovitsyn, M.O. Vasileva
- 70 Matrix of business benefits as a tool to study the digitalization potential using a mini-plant to prepare non-explosive components of emulsion explosives**  
T.S. Sakhapova, D.M. Krut, E.D. Obidina, M.D. Danilov
- 77 Prospects for increasing the mineral base of the non-ferrous metallurgy**  
V.I. Golik, A.V. Titova
- 85 Systematization of end effectors of deep milling machines for peat extraction**  
D.S. Yusov, P.V. Ivanova, S.L. Ivanov
- 90 The history of origin and development of geoinformatics as a science**  
Z.Y. Kyaw, A.A. Semikin, D.G. Sandakova, A.A. Dekhtyarenko, V.A. Yakimov
- 100 Enhancement of reagent regimes for complex ores flotation**  
O.G. Zhuravleva, S.A. Zhukova
- 105 Studies of the spatial and temporal patterns of seismic activity development in the undermined rock mass at the Rasvumchorr Mine**  
M.V. Rylnikova, D.N. Oleinik, A.M. Fayskhanov
- 112 Scientific and methodological approach to the development of pilot testing projects for open-pit mining**  
V.V. Antoshin, A.I. Manevich, A.A. Gavrilova, A.A. Kamaev
- 118 Perspectives of using satellite databases of greenhouse gas emissions in monitoring of mining facilities**  
A.A. Kamaev, A.I. Manevich, V.V. Antoshin
- 122 Geological interpretation of remote sensing data using the case of the Kolmozerskoye field in the Murmansk region**  
R.Sh. Nasyrov, A.V. Tretyak, S.S. Neugomonov, A.M. Mazhitov
- 126 Developing a technology of driving and supporting mine workings in tectonically weakened rock zones**  
M.P. Kulikova, G.F. Balakina
- 131 Possibilities and challenges of energy generation in the Republic of Tyva**  
E.V. Poyarkova, A.S. Makhnovskaya
- 135 Production and utilization of magnesium oxide in the Russian Federation**  
A.M. Balashov
- 139 Issues related to implementation of big data analytical systems and other digitalization achievements to improve the business efficiency of mining companies**  
E.I. Sheshukova, D.A. Shibanov, S.L. Ivanov, E.S. Nedashkovskaya
- 143 Assessment of loads acting on the working attachment of a mine shovel (Part 1)**  
E.M. Evtushenko, A.V. Velikoselskiy, O.A. Lapaeva
- 149 A methodological approach and methods of developing the coal producing companies**
- Advertising index:**
- ЕРТ-Групп, ООО . . . . . твердая наклейка  
НМЗ «Искра», АО . . . . . 9  
Магаданский механический завод, АО . . . . . 21  
НПК «Механобр-техника», АО . . . . . 29  
МУФТА ПРО, ООО . . . . . 9  
Промсинтез, АО . . . . . 13  
Север Минералс, АО . . . . . 25  
УралАктив, ООО . . . . . 29  
Эутит-Базальт, ООО . . . . . 39
- On the cover:**  
БЕЛАЗ (ООО «АВТОТЕХНИМАШ»); АО «ОГК Групп»;  
LGMG («Русбизнесавто»); SHANTUI («СтройИмпортТехника»)

**Главный редактор:**

**Валерий Афонасьевич Язев**, д-р экон. наук; профессор, Президент НП «Горнопромышленники России»,  
Председатель Российского национального комитета Мирового нефтяного совета, Москва, Российская Федерация

**РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ:**

**Трубецкой Климент Николаевич**, Главный научный сотрудник  
ИПКОН РАН, академик РАН, д-р техн. наук, Москва, РФ

**Яновский Анатолий Борисович**, д-р экон. наук, канд. техн. наук,  
Москва, РФ

**Иванов Михаил Игоревич**, Заместитель Министра промышленности  
и торговли Российской Федерации, Москва, РФ

**Бортников Николай Стефанович**, Научный руководитель Института  
геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и гео-  
химии РАН, академик РАН, Москва, РФ

**Захаров Валерий Николаевич**, Директор ИПКОН РАН, академик РАН,  
д-р техн. наук, Москва, РФ

**Осипов Виктор Иванович**, Научный руководитель Института геоэко-  
логии им. А.Е. Сергеева РАН, академик РАН, Москва, РФ

**Нигматулин Роберт Искандерович**, Научный руководитель ИО РАН  
имени П. П. Ширшова, академик РАН, Москва, РФ

**Барях Александр Абрамович**, Директор Пермского федеральный  
исследовательский центра Уро РАН, академик РАН, Пермь, РФ

**Будзуляк Богдан Владимирович**, Президент НП «Саморегулируемая  
организация Объединение строителей газового и нефтяного комплек-  
сов», проф., д-р техн. наук, Москва, РФ

**Исмагилов Ринат Иршатович**, Директор горного дивизиона ООО  
УК «МЕТАЛЛОИНВЕСТ», Москва, РФ

**Парамонов Сергей Викторович**, Первый заместитель директора АО  
«УК «Кузбассразрезуголь», Кемерово, РФ

**Хисамов Раис Салихович**, д-р геол.-минерал. наук, г. Альметьевск, РФ

**Милетенко Николай Васильевич**, советник генерального директора  
Вероссийского научно-исследовательского геологического института  
им. А.П. Карпинского, ученый секретарь Научно-технического совета  
Минприроды России, д-р геол.-минерал. наук, Москва, РФ

**Машковцев Григорий Анатольевич**, ФГБУ «ВИМС», д-р геол.-минерал.  
наук, профессор, Москва, РФ

**Анистратов Константин Юрьевич**, Главный научный сотрудник  
Горный институт Кольского научного центра РАН, д-р техн. наук,  
г. Апатиты Мурманской обл., РФ

**Владимиров Дмитрий Ярославович**, канд. техн. наук, Группа компаний  
«Цифра», заместитель генерального директора по работе с горной  
промышленностью и органами власти, Москва, РФ

**Дмитриевский Анатолий Николаевич**, Академик РАН, д-р геол.-  
минерал. наук, профессор, научный руководитель института ИПНГ  
РАН, Москва, РФ

**Зелинская Елена Валентиновна**, д-р техн. наук, профессор кафедры  
«Обогащение полезных ископаемых и охрана окружающей среды им.  
С.Б. Леонова» Институт недропользования ИРНТИУ, г. Иркутск, РФ

**Зырянов Игорь Владимирович**, д-р техн. наук, профессор,  
Политехнический институт (филиал) СВФУ в г. Мирном, Республика  
Саха (Якутия), РФ

**Кириченко Юрий Васильевич**, д-р техн. наук; профессор Горный  
институт НИТУ «МИСиС», Москва, РФ

**Клишин Владимир Иванович**, чл.-корр. РАН; д-р техн. наук; профес-  
сор, Институт угля ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр  
угля и углехимии Сибирского отделения Российской академии наук»,  
директор, г. Кемерово, РФ

**Колесниченко Игорь Евгеньевич**, д-р техн. наук; профессор, Южно-  
Российский государственный политехнический университет (НПИ)  
имени М.И. Платова, г. Шахты, РФ

**Корнилков Сергей Викторович**, д-р техн. наук; профессор, Институт  
горного дела Уральского отделения РАН, Екатеринбург, РФ

**Крюков Валерий Анатольевич**, д-р экон. наук; профессор, академик  
РАН, директор ФГБНУ «Институт экономики и организации промыш-  
ленного производства Сибирского Отделения РАН», Новосибирск, РФ

**Лукичев Сергей Вячеславович**, д-р техн. наук, профессор, Горный  
институт Кольского научного центра РАН, директор, РФ, г. Апатиты, РФ

**Орехова Наталья Николаевна**, д-р техн. наук, профессор каф. ГМД и  
ОПИ ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск, РФ

**Плакиткин Юрий Анатольевич**, д-р экон. наук; профессор, Институт  
энергетических исследований Российской академии наук (ИНЭИ РАН),  
Заместитель директора по научной работе, Москва, РФ

**Рожков Анатолий Алексеевич**, д-р экон. наук; проф., директор по науке  
АО «Росинформуголь», Москва, РФ

**Рыльникова Марина Владимировна**, д-р техн. наук, проф., главный  
научный сотрудник ИПКОН РАН, Москва, РФ

**Титова Ася Владимировна**, д-р техн. наук, профессор, ФГБНУ «Госу-  
дарственный геологический музей им. В.И. Вернадского Российской  
академии наук», Заместитель директора по развитию, Москва, РФ

**Чеботарев Александр Григорьевич**, д-р мед. наук, профессор, ФГБНУ  
«Научно-исследовательский институт медицины труда имени акаде-  
мика Н.Ф. Измерова», Главный научный сотрудник, Москва, РФ

**Шадрунова Ирина Владимировна**, д-р техн. наук, зав. отделом горной  
экологии, ИПКОН РАН, Москва, РФ

**Великанов Владимир Семенович**, д-р техн. наук, профессор кафедры  
подъемно-транспортных машин и роботов, ФГАОВ ВО «УрФУ имени  
первого Президента России Б.Н. Ельцина», Екатеринбург, РФ

**Карстен Дребенштедт**, профессор, Заведующий Кафедры открытых  
горных работ, Технический университет «Фрайбергская горная акаде-  
мия», Фрайберг, Германия

**Го Лицзе**, д-р техн. наук, профессор, заместитель директора, Пекинский  
институт горного дела и металлургии, Научно-исследовательский  
институт горного дела, Международная исследовательская группа по  
направлению «Зеленое горное дело», Пекин, Китай

**Б. Бат-Очир**, профессор; Ассоциация Горных Проектировщиков  
Монголии, Исполнительный Директор, Улан-Батор, Монголия

**Рыспанов Нурлан Бектасович**, Президент Национальной Академии  
Горных Наук Республики Казахстан, Президент Горнопромышленного  
союза Казахстана, д-р техн. наук, Республика Казахстан

**Галиев Сейтгали Жолдасович**, д-р техн. наук, профессор, чл.-корр.  
НАН РК, академик НАН РК, ТОО «Научно-исследовательский  
технический центр Евразийской Группы» (ERG), директор горного  
подразделения, Республика Казахстан

Журнал зарегистрирован 09.10.2019 г. Роскомнадзором реестровая запись ПИ № ФС77-76915

Издатель и учредитель: ООО Научно-Производственная компания «Гемос Лимитед»

Адрес: 119049, г. Москва, проспект Ленинский, д. 6 стр. 3 этаж 5, ком. 24.

ISSN 1609-9192 (print); 2587-9138 (online)

Адрес редакции: 119049, Москва, Ленинский проспект, д. 2А, офис 728. Телефон редакции: +7 (499) 237-03-11;

e-mail: info@mining-media.ru, сайт: <https://mining-media.ru>

Тираж 5000 экз.

Подписной индекс 72557 по каталогу «Почта России». Цена свободная.

Над выпуском работали:

Е.В. Анистратова, Г.А. Демина, Л.В. Павлова, Л.А. Горочнина, А.А. Раизин, Н.В. Матвиевская, Е.В. Белякова.

Отпечатано в типографии ООО «Роликс».

Адрес: 117105, Москва, Нагорный пр., д. 7, стр. 5. Телефон: +7 (495) 661-46-22

Дата выхода в свет: 10.07.2024

# *Russian Mining Industry Journal*

*is a peer-reviewed scientific and technical journal*

## Chief Editor:

**Valeriy A. Yazev**, Doctor of Sciences (Economics), Professor, President of the Non-profit Partnership for Mining Industries, Chairman of the Russian National Committee of the World Petroleum Council, Moscow, Russian Federation

## EDITORIAL BOARD:

**Kliment N. Trubetskoy**, Chief Scientific Officer, Research Institute of Comprehensive Exploitation of Mineral Resources (IPKON) of RAS, Academician of RAS, Moscow, Russia

**Anatoliy B. Yanovskiy**, Doctor of Science (Economics), Moscow, Russia

**Mikhail I. Ivanov**, Deputy Minister, Ministry of Industry and Trade of the Russia, Russia

**Nikolay S. Bortnikov**, Head of Research, Institute of Geology of Ore Deposits, Petrography, Mineralogy and Geochemistry of RAS (IGEM RAS), Academician of RAS, Moscow, Russia

**Valeriy N. Zakharov**, Director, Research Institute of Comprehensive Exploitation of Mineral Resources (IPKON), Academician of RAS, Moscow, Russia

**Victor I. Osipov**, Head of Research, Sergeev Institute of Environmental Geoscience of RAS (IEG RAS) Academician of RAS, Moscow, Russia

**Robert I. Nigmatulin**, Head of Research, Shirshov Institute of Oceanology of RAS, Academician of RAS, Moscow, Russia

**Alexander A. Baryakh**, Director, Perm Federal Research Centre of Ural Branch of the RAS, Academician of the RAS, Perm, Russia

**Bogdan V. Budzulyak**, President, Noncommercial partnership «Self-Regulated Organization Association of Gas and Oil Complex Builders», Doctor of Engineering, Moscow, Russia

**Rinat I. Ismagilov**, Director of the Mining Division, «Metalloinvest Management Company», LLC, Russia

**Sergey V. Paramonov**, Director of 'UK Kuzbasrazrezugol' JSC, Kemerovo

**Rais S. Khisamov**, Doctor of geol.-miner. sciences, Russia

**Nikolay V. Militenko**, General Director's Advisor, A.P. Karpinsky Russian Geological Research Institute, Scientific Secretary of the Scientific and Technical Council of the Ministry of Natural Resources, Doctor of Mining and Metallurgical Sciences, Moscow, Russia

**Grigoriy A. Mashkovtsev**, Director General, Federal State Budgetary Institution «All-Russian Scientific-research Institute of Mineral Resources named after N.M.Fedorovsky» (FSBI VIMS), Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, Moscow, Russia

**Konstantin Yu. Anistratov**, Chief Researcher, Mining Institute KRC of the RAS, Doctor of Engineering, Apatity, Russia

**Dmitriy Ya. Vladimirov**, Cand. of Sciences in Technology, Deputy General Director for work with the mining industry and government, Zyfra Group, Moscow, Russia

**Anatoly N. Dmitrievsky**, academician of the RAS, Doctor of geol.-miner. sciences, Professor; Scientific Director of the Institute of oil and gas, Moscow, Russia

**Elena V. Zelinskaya**, Doctor of Engineering, Professor of the Mineral Processing and Environmental Department named S. B. Leonov, Institute of Subsoil Use, IRNITU, Irkutsk, Russia

**Igor V. Zyrjanov**, Doctor of Engineering, Professor, Mirny Polytechnic Institute (branch) of North-Eastern Federal University, Mirny, Republic of Sakha (Yakutia), Russia

**Yuriy V. Kirichenko**, Doctor of Engineering, Professor; Mining Institute of the MISIS National Research Technological University, Moscow, Russia

**Vladimir I. Klishin**, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences; Doctor of Engineering, Professor; Institute of Coal of Federal Research Centre for Coal and Coal Chemistry of Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Director, Kemerovo, Russia

**Igor Ye. Kolesnichenko**, Doctor of Engineering, Professor; Platov South-Russian State Polytechnic University (NPI), Shakhty, Russia

**Sergey V. Kornilkov**, Doctor of Engineering, Professor; Institute of Mining of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Yekarinburg, Russia

**Valeriy A. Kryukov**, Academician, Doctor of Sciences (Economics), Prof., The Institute of Economics and Industrial Engineering, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russia

**Sergey V. Lukichev**, Doctor of Engineering, Professor; Mining Institute of the Kola Research Centre of the Russian Academy of Sciences, Director, Apatity, Russia

**Nataliya N. Orekhova**, Doctor of Engineering, Professor; Magnitogorsk State Technical University named after G.I. Nosov, Magnitogorsk, Russia

**Yuriy A. Plakitkin**, Doctor of Science, Economics, Professor; The Energy Research Institute of the Russian Academy of Sciences, Deputy Director for Science, Moscow, Russia

**Anatoliy A. Rozhkov**, Doctor of Science, Economics, Professor; Director for Science of JSC «Rosinformugol», Moscow, Russia

**Marina V. Rylnikova**, Doctor of Engineering, Professor, Chief Scientific Officer; IPKON of RAS, Moscow, Russia

**Asya V. Titova**, Doctor of Engineering, Professor; Vernadskiy State Geological Museum of the Russian Academy of Sciences, Deputy Director for Development, Moscow, Russia

**Irina V. Shadrinova**, Doctor of Engineering, Chair of Mining Ecology Department; IPKON of RAS, Moscow, Russia

**Alexander G. Chebotarev**, Doctor of Medicine, Professor; Izmerov Research Institute of Occupational Health, Chief Scientific Officer, Moscow, Russia

**Vladimir S. Velikanov**, Dr. Sci. (Eng.), Professor, Department of Hoisting and Hauling Machines and Robots, Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin, Yekaterinburg, Russia

**Carsten Drebenstedt**, professor, Chair Surface Mining of the Freiberg University of Mining and Technology (Technische Universität Bergakademie Freiberg, TUBAF), Freiberg, Germany

**Guo Lijie**, Deputy Director, Professor, Ph.D., Beijing Institute of Mining and Metallurgy Research Institute of Mining Engineering, International Research Group on Green Mining Engineering field, Beijing, China

**B. Bat-Ochir**, Professor, Executive Director, Mining Designers association of Mongolia, Ulaanbaatar, Mongolia

**Nurlan B. Ryspanov**, President, National Academy of Mining Sciences of Kazakhstan; President, Mining Union of Kazakhstan, Doctor of Engineering, Kazakhstan

**Seitgali Galiev**, Director of the Mining Department ERG «Research and Development Engineering Center», Kazakhstan

ISSN 1609-9192 (print)  
2587-9138 (online)

16+

Published by: Scientific & Industrial company  
"Gemos Limited", LLC

Publication Frequency: bimonthly (6 issues per year)

web-site: <https://mining-media.ru>

Address: Leninskiy Prospect, 2a, office 728,  
Moscow, Russian Federation, 119049

e-mail: [info@mining-media.ru](mailto:info@mining-media.ru)

Phone: +7 (499) 237-03-11

Printing House: Roliks, Moscow  
+7 (495) 661-46-22

Subscription: the magazine is distributed by  
subscription and free of charge.

Appearance: 10.07.2024

## Editorial

Director General,  
Publisher

**Elena V. Anistratova**  
[eanistratova@mining-media.ru](mailto:eanistratova@mining-media.ru)

Deputy Chief Editor

**Aleksey A. Raizin**  
[at@mining-media.ru](mailto:at@mining-media.ru)

Managing Editor

**Galina A. Demina**  
[info@mining-media.ru](mailto:info@mining-media.ru)

Advertiser

**Nataliya V. Matvievskaya**  
[pr@mining-media.ru](mailto:pr@mining-media.ru)

Events

**Elena V. Belyakova**  
[event@mining-media.ru](mailto:event@mining-media.ru)

Design, layout

**Larisa V. Pavlova**

# ГОРНОПРОМЫШЛЕННЫЙ КОМПЛЕКС РЕСПУБЛИКИ КАРЕЛИЯ



По материалам пленарного доклада на Международной конференции «Future of Mining – будущее горной промышленности», МВЦ «Крокус ЭСПО» г. Москва, 29 мая 2024 г.



**Д.Р. Гурков,**  
Министр промышленности  
и торговли Республики Карелия

**Г**орная промышленность имеет огромное значение для экономики России. Горнодобывающий сектор представлен компаниями, занимающимися добычей и первичной переработкой природных ископаемых, и является звеном в выстраивании многих производственных процессов. От результатов работы сектора напрямую зависит очень много смежных отраслей – металлургической, химической, энергогенерирующей, строительной.

Промышленный сектор экономики Республики Карелия формирует около 40% валового регионального продукта республики. В свою очередь, благодаря богатейшему природно-ресурсному потенциалу Карелии горнопромышленный комплекс занял ведущую позицию в структуре промышленности региона.

По итогам 2023 г. индекс промышленного производства составил 100,7%, по виду экономической деятельности «Добыча полезных ископаемых» – 100,8% к уровню 2022 г. Суммарная доля предприятий в сфере добычи полезных ископаемых в общем объеме отгруженных товаров промышленного производства в денежном выражении составила 36%.

Объем производства гранита, песчаника и прочего камня для памятников и строительства составил 39,3 млн т. Объем производства гранул, крошки, порошка, гальки и гравия – 2,8 млн м<sup>3</sup> (108% к уровню 2022 г.).

В 2023 г. горнодобывающими предприятиями республики было произведено 69,2 тыс. м<sup>3</sup> блоков.

Республика Карелия уверенно занимает второе место после Свердловской области по объемам отгрузки щебня по железной дороге. По итогам 2023 г. достигнутое значение показателя составило 14 млн т. Основные направления поставок продукции: Московская область, Москва, Вологодская область, Владимирская область, Нижегородская область.

В 2023 г. объем производства щебня на двух предприятиях Республики Карелия превысил уровень 3 млн м<sup>3</sup>, пять предприятий переправили отметку в 1 млн м<sup>3</sup>.

Кроме того, согласно данным статистических исследований за период 2019–2023 гг. карельские горнодобывающие



предприятия входят в число ведущих производителей гранита в России.

Республика Карелия располагает обширной минерально-сырьевой базой. В регионе зарегистрировано более тысячи месторождений 35 видов полезных ископаемых. В результате проведенных поисково-оценочных работ в 2023 г. открыто 22 новых месторождения общераспространенных полезных ископаемых с приростом запасов 280 млн м<sup>3</sup>.

Карельский гранит и габбро-диабаз отличаются высокой прочностью, долговечностью, устойчивостью к атмосферным воздействиям, морозостойкостью и прекрасным внешним видом.

Прочность габбро-диабаз настолько высока, что позволяет применять его в любых областях строительства, в том числе для строительства железных дорог и аэродромов.

Благодаря уникальным свойствам карельского камня в 2024 г. был заключен первый межрегиональный офсетный контракт на поставку щебня из Карелии в Москву, в рамках которого уже ведется строительство нового комплекса по производству щебня и его транспортировке железнодорожным транспортом с общим объемом инвестиций более 3 млрд руб.

Инвестиционный интерес к освоению месторождений общераспространенных полезных ископаемых остается высоким.

На разных стадиях реализации находятся более 10 проектов предприятий в области добычи полезных ископаемых, признанных инвестиционными и предполагающих создание более 600 рабочих мест. Общий объем инвестиций по итогам реализации проектов превысит 15 млрд руб.

В рамках реализации проектов предприятия модернизируют существующее производственное оборудование и вводят новые мощности для производства продукции, приобретают грузовые тешлоходы.

Помимо общераспространенных полезных ископаемых, в республике есть благородные металлы (золото и металлы платиновой группы), а также алмазы, графит.

На территории Республики Карелия Госбалансом запасов учтено 8 месторождений золота (из них пять относятся к собственно золоторудным, три – к комплексным). Балансовые запасы золота составляют более 63 тыс. кг золота (забалансовые – 11 тыс. кг золота). Запасы платиновых учтены в объеме более 150 тыс. кг.

По результатам оценки прогнозных ресурсов полезных ископаемых, учитывающих возможность обнаружения и потенциальную возможность открытия месторождений, объемы запасов алмазов в Республике Карелия составляют более 200 млн карат.

Еще один уникальный минерал – шунгит. Основные запасы шунгита находятся на территории Заонежья – северном побережье Онежского озера. Природные запасы минерала оцениваются в 35 млн т.

Сейчас шунгит – это не только сувенирные пирамидки и фильтры для очистки воды. Уникальный камень из Заонежья уже стал основой для многих промышленных инноваций: в металлургии, производстве полимеров, сельском хозяйстве.

В Карелии находится единственное в мире месторождение малинового кварцита. Малиновый кварцит используется для производства брусчатки, блоков для изготовления





декоративных облицовочных и ритуальных изделий, а также камня для ландшафтных работ. Карельский камень необычного красноватого оттенка можно встретить по всему миру. Так, например, малиновый кварцит можно увидеть на памятнике Николаю I, установленному перед Исаакиевским собором в Санкт-Петербурге, в надгробии на Могиле Неизвестного Солдата в Александровском саду, в облицовке станции метро «Бауманская» в Москве.

На территории Арктической зоны Российской Федерации расположено месторождение молибдена «Лобаш». Прогнозные ресурсы месторождения представлены в количестве более 120 тыс. т молибдена.

В настоящее время молибден востребован и широко применяется в современной промышленности как в качестве легирующей добавки к различным сплавам в черной металлургии, так и в качестве конструкционного материала в аэрокосмической и атомной технике.

Кроме того, на территории Арктической зоны расположен ведущий комбинат по добыче и переработке железистых кварцитов в высококачественное сырье АО «Карельский окатыш».

Флагман отрасли производит около 20% всех российских железорудных окатышей. По объемам производства предприятия занимает третье место в России, незначительно уступая горно-обогатительным комбинатам в Белгородской и Свердловской областях. В 2023 г. объем выпуска железорудных окатышей составил 10,38 млн т или 102,8% к уровню 2022 г.

В 2021 г. предприятие получило статус резидента Арктической зоны Российской Федерации с проектом по строительству и эксплуатации циклично-поточной технологии в центральном карьере.

Суть проекта заключается в увеличении эффективности работы предприятия и поддержании конкурентоспособности продукции за счет роста объемов добычи и оптимизации затрат на транспортировку горной массы.

Комплекс будет состоять из трех линий – рудной, вскрышной и для засоренной руды. Предусмотрены мероприятия по строительству и эксплуатации комплекса дробления и разделения в карьере, конвейерных систем отвалобразователя, перегрузочного склада руды и комплекса энергосбережения.

Мощность инвестиционного проекта 70 млн т горной массы, перемещаемой конвейерным транспортом, –

это 100% объема горной массы согласно плану ведения горных работ до 2042 г.

Экологическая составляющая проекта заключается в сокращении выбросов в атмосферу выхлопных газов от большегрузной техники.

По итогам 2023 г. объем инвестиций по проекту составил порядка 12 млрд руб.

Говоря о развитии рынка горного оборудования и решении вопроса импортозамещения, в Республике Карелия развивается производство запасных частей и расходных материалов для конвейерного оборудования, в том числе для камнеобрабатывающих станков.

В 2019 г. карельское предприятие ООО «Сверус» запустило собственное производство конвейерных роликов. Сегодня организация, решая задачу импортозамещения, производит готовые комплексы оборудования для горнодобывающей, дорожно-строительной и камнеобрабатывающей сфер деятельности, а также запасные части для них.

Уже сейчас покупателями продукции Сверуса являются АО «Карельский окатыш», ПАО «Северсталь», АО «ВАД», предприятия Ленобласти, Краснодарского края, Дальнего Востока, Казахстана и другие. В планах у предприятия открытие цеха площадью более двух тысяч квадратных метров и расширение производственных мощностей.

По инициативе Минпромторга Карелии в республике начата работа по созданию Центра компетенций, в котором будет организован ремонт импортного оборудования на базе российских предприятий.

В рамках программы импортозамещения Центр сможет обеспечить координацию запросов промышленников на изготовление запчастей для техники. В настоящее время решаются вопросы поиска производственной площадки, покупки станков, необходимого оборудования и программного обеспечения.

Непрерывное развитие горнопромышленной отрасли вносит неоценимый вклад в благополучие страны, позволяя развиваться другим отраслям экономики. В свою очередь, Правительство Республики Карелия содействует созданию благоприятных условий для развития горнопромышленного комплекса региона при обеспечении эффективного и рационального использования недр.

*Фото предоставлены пресс-службой  
Министерства промышленности и торговли Республики Карелия*



**МУФТА  
ПРО**

**ООО «МУФТА ПРО»**  
+7 (499) 394 66 60  
muftapro@gmail.com  
muftapro.ru / muftapro.com

# Системы быстрой заправки

## Мы предлагаем:

- Краны топливозаправочные
- Заправочные и вентиляционные клапаны
- Счетчики и насосы
- Заправки (АЗС) и топливозаправщики со скоростью заправки до 1500 л/мин
- Эксплуатация от -60 С до +50 С



РЕКЛАМА 16+



РЕКЛАМА 16+

## Дорогие горняки и металлурги!

*Поздравляем вас с профессиональным праздником – Днем металлурга!  
Горно-металлургический комплекс по праву считается одной из ключевых,  
базовых отраслей отечественной экономики, а труд горняков и металлургов,  
требующий высокой квалификации и ответственного отношения к делу,  
пользуется заслуженным уважением.  
Процветания и успехов!*

*С уважением,  
коллектив АО «НМЗ "Искра"»*

Лицензия № РВ-00-008712 от 15.05.2008г.



# Экскаватор BELAZ ВХ20012: идеальная пара для 90- и 130-тонных самосвалов



Историческим событием для компании «БЕЛАЗ» является создание совершенно нового для завода типа карьерного транспорта – гидравлического экскаватора на гусеничном ходу BELAZ ВХ20012

**П**роjekt по созданию мощного карьерного гидравлического экскаватора в условиях внешних вызовов является знаковым достижением белорусско-российского партнерства на пути развития промышленной кооперации и импортозамещения. Ключевыми компонентами экскаватора БЕЛАЗ являются собственные разработки компании и наших надежных партнеров.

Опытный образец карьерного экскаватора BELAZ ВХ20012 класса 200 тонн оснащен 12-кубовым ковшом типа «прямая лопата» и спроектирован с учетом современного инженерного подхода. Своим функционалом и надежной конструкцией, эксплуатационными характеристиками и высокой степенью безопасности он получился под стать лучшим мировым аналогам.

Визуально для новой машины-тяжеловеса высотой с двухэтажный дом (7,1 м) и шириной почти 7,3 м характерны выразительный современный дизайн и оригинальное цветографическое решение, исполненное в четырех цветах: желтом – в качестве основного и в трех дополнительных – сером, белом и черном.

Экскаватор BELAZ ВХ20012 – машина больших возможностей и высокой производительности, конструкции которой изготовлены из высокопрочной стали, чтобы обеспечить высокий запас прочности и долговечности компонентов и рабочего оборудования.

Эффективный дизельный двигатель имеет высокие рабочие параметры и выдает мощность 1167 л.с. Конструк-

торы завода «БЕЛАЗ», заботясь о «здоровом сердце» машины, предусмотрели предпусковой подогреватель, обеспечивающий качественный прогрев холодного двигателя и его безопасный запуск при низкой температуре. Объем бака дизельного топлива достаточно для обеспечения непрерывной работы техники в течение всей смены.

Выемочно-погрузочный великан БЕЛАЗ с гидравлическим приводом элементов рабочего оборудования имеет 12-кубовый ковш, который отличается высокими показателями резания грунта и обеспечивает одну из самых высоких полезных нагрузок в своем классе. Машина обладает вырывным усилием, развиваемым гидроцилиндром ковша, – 770 кН, напорным усилием – 810 кН, напорным усилием на уровне земли – 960 кН.

За счет таких высоких значений усилий ковша и рукояти экскаватора ВХ20012 достигаются короткие рабочие циклы, а следовательно, и высокая производительность, и низкие эксплуатационные затраты. Максимальная глубина копания экскаватора составляет 3,2 м, высота достигает 14,5 м при радиусе копания 13,3 м. Длина рабочего участка с горизонтальным перемещением ковша – 4,2 м, а минимальный радиус копания – 7,8 м.

Специально сконструированная в кооперации с нашими белорусскими партнерами гусеничная ходовая часть с усиленной прочностью гусениц и натяжителя позволяет 200-тонной машине уверенно чувствовать себя даже на неподготовленных грунтах со сложным рельефом, обеспечивая



высокое тяговое усилие, проходимость и устойчивость. Положение центра тяжести машины благодаря правильному расположению массивных узлов и рассчитанной массе противовеса позволяет предотвратить опрокидывание экскаватора в ходе погрузочно-разгрузочных работ.

По расчетам конструкторов экскаватор BELAZ BX20012 может эффективно использоваться для разработки как неразрыхлённых, так и разрыхлённых горных пород, и грунта плотностью 1,78 т/м<sup>3</sup>. При этом машина способна перемещаться с максимальной скоростью 2,8 км/ч и преодолевать уклоны до 65%. В технике применены маслоохлаждаемые многодисковые тормоза с пружинным включением и гидравлическим отключением.

В целом мощная новинка с индексом BX20012 будет адаптирована к работе в самых тяжелых условиях эксплуатации как в жару, так и в лютые морозы, в диапазоне температур от -40 °С до +40 °С в горных районах на высоте до 2400 м над уровнем моря.

В экскаваторе БЕЛАЗ реализован широкий спектр решений, направлен-

ных на то, чтобы оператор мог чувствовать себя безопасно и комфортно, а его производительность оставалась на высоте в течение всей рабочей смены. Конструкторы тщательно проработали вопросы эргономики, температурного режима, шумо- и пылеизоляции.





Благодаря удобно расположенному откидному трапу для подъема на поворотную платформу обеспечен безопасный доступ в машину и выход из нее. Экскаватор снабжен полностью герметичной, тихой, эргономичной кабиной, оборудованной современной умной «начинкой». Продуманное размещение бортовой системы управления в салоне, простые и удобные рычаги управления, дисплеи с большими сенсорными экранами, отображающие всю информацию о важных параметрах работы, система видеозаписи, комфортабельное регулируемое кресло с амортизацией, мощная система отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха – всё это способствует рациональному расходу сил оператора по безопасному позиционированию машины и быстрой загрузке карьерных самосвалов.

В ходе проектирования первого экскаватора БЕЛАЗ большое внимание также было уделено удобству и эффективности его обслуживания. Длительные межсервисные интервалы и удобное расположение точек обслуживания облегчат работу сервисной службы, сократят время нахождения машины на техобслуживании и в целом снизят эксплуатационные расходы.

Реализация этого инновационного проекта позволит нашей компании делать для потребителей готовые пакетные предложения «экскаватор + самосвалы». Для обеспечения заявленной производительности и эффективности работ экскаватор BELAZ BX20012 рассчитан на использование в паре с карьерными самосвалами от 90 до 130 тонн – это самосвалы серий БЕЛАЗ-7558 и БЕЛАЗ-7513. Для полной загрузки одного 90-тонника, например, будет достаточно 4–5 ковшей экскаватора, а для 130-тонника – 5–6 ковшей в зависимости от загружаемой породы.

Свободная от импорта продукция завода «БЕЛАЗ» – достойная альтернатива зарубежным аналогам, которая обеспечивает удовлетворение спроса на карьерную технику ключевого для нашей компании рынка Российской Федерации.



@belaz\_russia

По материалам журнала  
«BELAZ GLOBAL»





**ПРОМСИНТЕЗ**

промышленные взрывчатые вещества

**ВЗРЫВНОЕ  
СОВЕРШЕНСТВО  
ДЛЯ УСПЕХА  
В ГОРНОМ  
ДЕЛЕ**

РЕКЛАМА

16+

АО «Промсинтез», Россия, 446100, Самарская область, г. Чапаевск, ул. Куйбышева, 1  
+7 846 392 1155, info@psintez.su, www.promsintez.su



# MAGSTRONG

## ДВИЖЕНИЕ ВПЕРЕД

**Торговый знак MAGSTRONG был зарегистрирован в Государственном реестре товарных знаков Российской Федерации в 2016 г. За 7 лет работы профессиональной команды специалистов ПАО «ММК» новый бренд стал узнаваемым практически среди всех производителей оборудования и техники в России и странах ближнего зарубежья.**

**В** современных условиях каждый производитель, стремясь повысить конкурентоспособность своей продукции, повсеместно увеличивает спектр применения высокопрочных сталей в своем производстве, в связи с чем потребности рынка в высокопрочных сталях постоянно растут. За последние несколько лет понятие «импортозамещение» резко трансформировалось из лозунга в конкретику, поднимая ответственность отечественной металлургии в вопросе обеспечения государственной безопасности на самый высокий уровень.

ПАО «ММК» в течение многих лет выпускает импортозамещающую продукцию, в частности, расширяет линейку сталей MAGSTRONG, которая уже включает в себя 21 марку на любой «вкус и цвет» и для любых, в том числе и самых

сложных задач, стоящих перед отечественными машиностроителями. Помимо марочного, идет расширение сортамента и в части геометрических размеров.

Исторически ММК за свое более чем 90-летнее существование успешно и своевременно отвечал на самые разные вызовы. И сегодня специалисты ПАО «ММК» успешно решают очередные поставленные перед ними российским рынком задачи. Период 2022–2023 гг. металлурги Магнитки провели в скрупулёзной работе над освоением сортамента высокопрочных марок стали, который ранее был представлен на рынке исключительно иностранными производителями и не имеет российских аналогов. Это горячекатаный прокат с пределом текучести 550–1500 МПа в толщинах менее 8 мм. Под данные задачи ПАО «ММК» уже реализовало

и продолжает реализовывать целый ряд инвестиционных проектов. И теперь представляет контрагентам новый сортament:

- износостойкий прокат MAGSTRONG H450 толщиной от 4,0 до 7,99 мм – применим во всех конструкциях, механизмах и агрегатах, где высочайшие требования к износостойкости материала и облегчению веса. Данная сталь востребована в производстве карьерной, дорожной, муниципальной техники, в производстве оборудования, которое используется при добыче и переработке полезных ископаемых, в вагостроении, сельскохозяйственной технике, судостроении и определяет их эксплуатационные преимущества и увеличенный жизненный цикл;

- износостойкий прокат MAGSTRONG AGRO22, AGRO33 и AGRO37 в горячекатаном состоянии теперь производится в толщине от 2,5 до 20 мм и может поставляться как в виде листа, так и в виде ленты, а холоднокатаный прокат теперь производится в рулонах и штрипсах толщиной 1,5–3 мм. Уникальность данных марок в том, что в состоянии поставки они обладают достаточно низким уровнем механических свойств, что позволяет их формовать, гнуть, штамповать, придавать сложную форму изделиям на имеющемся у большинства предприятий оборудовании, после чего в результате итоговой закалки уже готового изделия целиком или его локальных участков достигаются свойства по пределу текучести в диапазоне 1000–1500 МПа, и изделия приобретают характеристики предельно высокой сопротивляемости механическому износу и ударным нагрузкам. Данные марки широко востребованы в сегментах производства сельскохозяйственной техники, садового инвентаря, изделий сложной формы для любого типа оборудования и механизмов, где требуются высокие износостойкие и прочностные характеристики;

- конструкционная марка MAGSTRONG S700MC теперь производится в горячекатаных листах в толщинах от 3 до 15 мм. Данная марка является «рабочей лошадкой» среди конструкционных сталей, заменившая собой традиционные советские марки 09Г2С и 10ХСНД и позволившая увеличить прочностные характеристики готовых изделий, существенно уменьшив при этом их вес. Имеет широчайшее применение в производстве карьерной, дорожной, прицепной, навесной, муниципальной и сельскохозяйственной техники, в производстве оборудования, которое используется в горнодобывающей отрасли, в вагостроении, судостроении и пр.

Ширина листа имеет важное значение для большинства наших клиентов, поскольку напрямую влияет на снижение их собственных производственных издержек и увеличивает производительность за счет оптимальных раскроев. В этой связи в ПАО «ММК» были реализованы значительные по масштабу инвестиционные проекты, направленные на развитие прокатных мощностей. Теперь мы можем удовлетворить запросы российского рынка и предлагаем своим клиентам:

- MAGSTRONG S500MC с предельной шириной листа, увеличенной с 1500 до 1900 мм;
- MAGSTRONG S550MC с предельной шириной листа, увеличенной с 1500 до 1800 мм;
- MAGSTRONG S700MC с предельной шириной листа, увеличенной с 1500 до 1800 мм.

Отдельно необходимо отметить, что на сегодняшний день ПАО «ММК» готово принимать заказы на поставку данных марок с дополнительным требованием «ЛАЗЕР», обеспечивающим отсутствие внутренних напряжений,



что исключает ухудшение плоскостности при порезке на установках лазерной и плазменной резки.

ПАО «ММК» завершило большую и сложную работу по одобрению применения марок стали MAGSTRONG в вагостроении, что, наконец, позволит нашим производителям создавать подвижной состав с существенно большей грузоподъемностью и уменьшенным весом тары в сравнении с имеющимся модельным рядом, что, в свою очередь, увеличит грузопоток для операторов при том же количественном вагонном парке. В сегменте специализированных вагонов данные материалы ожидаемо позволят сократить межремонтные циклы и увеличить срок жизни вагонов. Для РЖД увеличение такого инновационного вагонного парка позволит снизить энергетические расходы на перевозку тонны груза, уменьшить износ путей. Кроме этого, данные материалы открывают новые возможности в решении стратегической задачи по созданию скоростных грузовых вагонов и платформ.

С целью максимальной доступности новых видов продукции для потребителей и удобства комплектации заказов на коротком транспортном плече на 36 площадках ООО «Торговый дом ММК» сформировано и поддерживается ассортиментное наличие линейки сталей MAGSTRONG. Площадки Торгового дома ММК размещены во всех крупных промышленных регионах Российской Федерации, включая Сибирь и Дальний Восток. Минимальная партия отгрузки с данных площадок – 1 лист. Эти мероприятия максимально упрощают нашим контрагентам доступ к высокопрочным сталям, так, за 2023 г. уже более 500 клиентов воспользовались возможностью применения высокопрочных сталей MAGSTRONG в своем производстве.

ПАО «ММК» продолжает совершенствовать технологию производства высокопрочных сталей, направленную в том числе на повышение качественных характеристик для самых требовательных наших контрагентов. ММК не останавливается на достигнутом и продолжает развитие линейки сталей MAGSTRONG, и уже в 2024 г. представит новые продукты для разных отраслей промышленности с уникальными характеристиками, что безусловно поможет отечественным машиностроителям.

**Центр информационной поддержки клиентов ММК**  
**8 800 775 0005**  
**(звонок по России бесплатный)**



# Первый автогрейдер Кировец К-714 от Петербургского тракторного завода



**В этом году исполнилось 100 лет, как из ворот Путиловского завода выехали первые отечественные тракторы «Фордзон-Путиловец». Это событие Петербургский тракторный завод отметил премьерой автогрейдера «Кировец» К-714, прошедшей на выставке СТТ Expo 2024.**

*На выставочном стенде мы встретились с Сергеем Серебряковым, генеральным директором ПАО «Кировский завод», директором АО «Петербургский тракторный завод», директором АО «Завод «Универсалмаш», где он рассказал об особенностях и преимуществах автогрейдера, о планах по его производству, продажам и сервису.*

## Особенности и преимущества

«Когда мы в 2019 г. начинали работу над грейдером, на рынке строительства дорог доминировала западная техника. Для нас стало инженерно-конструкторским вызовом – создать машину, которая была бы аналогична западным по техническим характеристикам, но гораздо доступнее по стоимости. Для достижения этой цели мы использовали все наши компетенции в проектировании и производстве», – рассказал Сергей Серебряков.

Автогрейдер «Кировец» К-714 получил шарнирно-сочленённую раму и полный комплект рабочего оборудования – грейдерный нож, передний бульдозерный отвал и задний 5-стоечный рыхлитель. В движение машину приводит 6-цилиндровый рядный двигатель ЯМЗ-536 мощностью 200 л.с., агрегатированный с 2-диапазонной автоматизированной гидромеханической коробкой передач с системой быстрого реверса собственного производства. «Кировец» К-714 относится к многочисленному классу универсальных автогрейдеров массой 14–16 т, которые используют в строительстве и содержании дорог как общего пользования, так и технологических.

«Что важно, мы работали над автогрейдером во взаимодействии с нашими постоянными партнёрами – компания-

ми «Сургутнефтегаз», «ВАД», «ДСК», «Гипростроймост», «Строймеханизация», «Псковавтодор» и другими дорожными организациями, – продолжил директор завода. – Они испытывали наши прототипы в различных климатических и дорожных условиях, давали рекомендации. Так, опираясь на их экспертизу, мы дорабатывали машину, доводили до требований регионов эксплуатации».

В К-714 реализованы все современные решения для автогрейдеров и его будут поставлять в полной комплектации с шарнирно-сочленённой рамой, электрогидравлическим управлением рабочим оборудованием от джойстиков, подготовкой к монтажу любой коммерческой системы 3D-нивелирования либо с уже смонтированной собственной системой 3D-нивелирования «Кировец» и рабочим оборудованием на выбор заказчика с параллельным рулением от джойстика. Пока исключение составляет гидравлический привод переднего моста, который появится чуть позже, как только решится вопрос с комплектацией.

## Шарнирно-сочленённая рама

В отечественном машиностроении длительное время использовали моноблочную, жёсткую раму, поскольку она проще и дешевле в производстве, но для современного грей-



дера шарнирно-сочленённая рама – стандартная конструкция, так как позволяет полностью реализовать возможности такого специалиста в планировании поверхностей, как автогрейдер.

Автогрейдеры с моноблочной рамой используют на строительстве и содержании технологических дорог на горных разработках, так как в силу жёсткости конструкции она обеспечивает несколько большее тяговое усилие и надёжность при повышенных нагрузках. В перспективе возможна комплектация автогрейдера К-714 моноблочной рамой, если такая опция будет востребована заказчиками.

#### Автоматизированная коробка передач

К-714 получил коробку передач собственной разработки и производства. «Это глубоко модернизированная коробка сельскохозяйственного трактора серии К7, – пояснил Сергей Серебряков. – Сельскохозяйственный трактор – это один из самых нагруженных видов техники. Мы взяли у него основные решения, добавили решения, связанные с быстрым реверсом, с транспортными режимами и получили 2-диапазонную автоматизированную коробку с 8 передачами в каждом диапазоне. Это коробка премиального уровня, но с нашими технологиями проще сделать сложный агрегат, который можно впоследствии упростить, а не наоборот. Мы сразу создавали машину с большим запасом, а в дальнейшем исходя из того, что будет востребовано потребителем, можем отказываться от какого-либо функционала, двигаться по пути упрощения. Но изначально при проектировании в конструкцию закладывали по максимуму».

Коробка передач Кировца проста в обращении. Грейдерист выбирает транспортный или рабочий режим и коробка будет переключать передачи в автоматическом

режиме в зависимости от нагрузки на двигатель. Грейдерист может управлять скоростью и вручную, повышая или понижая передачу при помощи двух кнопок.

«Кстати, разрабатывая грейдер, мы улучшили и сельскохозяйственный трактор для работы в силосных ямах, где тоже нужен быстрый реверс», – добавил Сергей Серебряков.

#### Кабина и управление джойстиком

На задней подмоторной полураме установлена одноместная кабина с интегрированным каркасом безопасности ROPS-FOPS и большой площадью остекления для кругового обзора. Каркас кабины собственной разработки и произ-



водства. Кабина оснащена системами вентиляции и отопления, системой климат-контроля и пневмоподдресоренным креслом с несколькими регулировками, что обеспечит оператору комфорт в течение всей смены, а высокий уровень шумо- и виброизоляции защитит здоровье.

Особо стоит остановиться на управлении рабочими операциями и рулении при помощи двух многофункциональных электрогидравлических джойстиков, которыми заменили традиционное многорычажное управление. При этом рулевое колесо конструкторы сохранили. Научиться работать джойстиками достаточно просто, при этом физическая нагрузка значительно ниже, чем при работе рычагами.

Попытки перевести автогрейдер на джойстики предпринимались неоднократно и крупными зарубежными корпорациями, и российскими машиностроителями, и не всегда эти изыскания приводили к успеху – сложно соблюсти баланс между удобством, чувствительностью органов управления, необходимостью нарабатывать новые двигательные навыки, недаром управление автогрейдером сравнивают с игрой на пианино. Будем надеяться, что конструкторы Петербургского тракторного завода нашли такой баланс и джойстики станут на грейдерах столь же обычны, как на экскаваторах и фронтальных погрузчиках.

### Рабочее оборудование

Главный рабочий орган автогрейдера – грейдерный нож с поперечным выдвиганием и регулировкой угла резания при помощи гидроцилиндров. Нож установлен на поворотном круге собственного производства. Конструкторы Петербургского тракторного завода предусмотрели специальные проставки в механизме круга, чтобы исключить трение металла об металл, повышая таким образом надежность узла. Круг с внутренним зацеплением вращается гидромотором с червячным редуктором на 180° в обе стороны. Длинноходовые гидроцилиндры выносят поворотный круг вправо-влево на угол до 90° для планировки откосов.

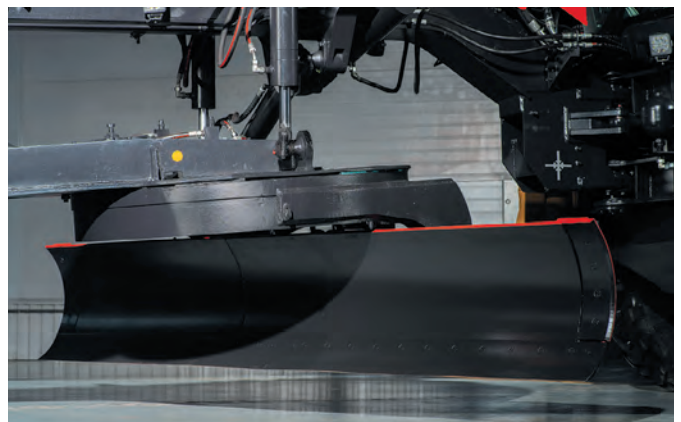
На переднюю часть хребтовой рамы навешивают прямой бульдозерный отвал, на кормовую часть автогрейдера – 5-стоечный рыхлитель. Возможна поставка автогрейдера без отвала и рыхлителя либо с другим рабочим оборудованием или противовесами.

ства, – сказал Сергей Серебряков. – Работа идёт полным ходом, будет отдельная сборочная линия, отдельная сварочная линия и линия окраски. Также строим мостовое производство для сельскохозяйственных тракторов, и оно же будет выпускать мосты для дорожно-строительной техники с высоким уровнем унификации. Что касается остальных узлов и агрегатов, то их будут выпускать существующие подразделения».

В составе Петербургского тракторного завода есть кузнечное производство, литейное, механообрабатывающее, химическое, инструментальное, гальваническое, сварочно-механическое, производство пластика для интерьера и экстерьера, РВД. То есть, у завода большая степень локализации, которая позволяет достаточно гибко подходить к комплектации тех или иных машин и обеспечивает стабильность производства.

«Кроме того, ряд узлов, агрегатов и деталей автогрейдера и тракторов унифицированы как в решениях, так и в компонентах, – продолжил директор. – В первую очередь это трансмиссионная группа. Коробка передач и главная передача имеют достаточно большую степень унификации с сельскохозяйственным трактором. Нам нужно будет только развить, дооснастить определённые производства».

Многие детали, узлы и системы автогрейдера изготавливают не на Петербургском тракторном заводе. Это двигатели, радиаторы, шины, карданы, стёкла, светотехника, АКБ, датчики и т.д. Гидроцилиндры поставяет завод



### Производство

Автогрейдер будет выпускать Петербургский тракторный завод на существующих площадях. Плановая мощность производства – 500 автогрейдеров в год.

«Сейчас мы приступили к выпуску предсерийной партии, чтобы отработать технологическую подготовку производ-

«Елецгидроагрегат», остальную гидроаппаратуру – производители из КНР. В перспективе к ним присоединится поставщик гидравлических агрегатов для привода передних колёс. Сейчас эта система находится в опытной эксплуатации».

Автогрейдер уже в проекте включал подготовку к монтажу всех коммерческих систем 3D-нивелирования, а также системы отечественной разработки специально для «Кировца».

### Продажи и сервис

Автогрейдер будут поставлять во все регионы страны, для регионов с холодным климатом предусмотрена «северная» комплектация с пусковым подогревателем, двойным комплектом АКБ, автономным отопителем, двойным остеклением и т. д. Продажами и обслуживанием будут заниматься разветвлённые дилерская и сервисная сеть завода которой предстоит взять на вооружение новую разработку к уже существующим серийным образцам сельскохозяйственной и строительно-дорожной техники «Кировец». В рамках работы над установочной партией автогрейдеров дилер изучит особенности машины, научится её обслуживанию, наладит и организует поставки всех необходимых комплектов запасных частей, чтобы конечный пользователь нового отечественного автогрейдера получил позитивный опыт и восстановил доверие к современному отечественному машиностроению.

Завод уже 100 лет занимается разработкой, производством и модернизацией тракторной техники, обладает большим опытом и, что самое главное, – производственными мощностями, чтобы этот опыт воплотить в жизнь в виде техники.

У завода сохранилась сеть с развитым сервисом, подготовленными специалистами, складами запасных частей, современными системами электронного документооборота, электронной связью клиента со службами завода, которые давно и успешно работают.

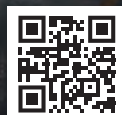
### Что дальше?

Следующая разработка после К-714 – автогрейдер более тяжёлого класса 25–30 т. «Для этого у нас всё есть, нужно только разработать оригинальную раму, рабочее оборудование и гидропривод. Трансмиссионная группа уже создана с учётом грейдерной специфики и испытана, – поделился планами Сергей Серебряков. – Полагаю, эта работа займёт 3–4 года. Можно выпустить быстрее, но на импортной комплектации, а мы хотим на собственных узлах и агрегатах, на собственных решениях, которые нужно испытать, проверить, ещё раз испытать, ещё раз проверить, довести до ума, чтобы в конечном итоге потребитель сказал, что это сделано в России и сделано на совесть».

*Дорожно-строительную машину, а тем более хорошую дорожно-строительную машину, не создать на пустом месте. Для этого нужна конструкторская школа, нужны лаборатории, нужны специалисты, которые умеют работать в конструкторских бюро и лабораториях, которые умеют работать с материалами, с технологиями. «Это нарабатывается годами, десятилетиями. Это культура проектирования, культура производства, это система оплаты труда, работа с трудовым коллективом. Это очень сложные процессы на каждом предприятии, а если мы берём отрасли от руды до конечного изделия, то на всех этих предприятиях. Чтобы получился грейдер или трактор, работают сотни и тысячи людей в производстве руды, металла, манжет, подшипников, датчиков, проводов и т.д. Россия наконец-то встала на этот путь, надеюсь, с него не свернёт, и я уверен, мы увидим новый рассвет индустрии», – добавил в заключение Сергей Серебряков.*



**ПЕТЕРБУРГСКИЙ  
ТРАКТОРНЫЙ ЗАВОД**



198097, РОССИЯ, г. Санкт-Петербург, пр. Стачек, 47  
+7 (812) 363-46-96, +7 (812) 363-46-95  
KIROVETS-PTZ.COM



# ТОЧНОСТЬ, ЭФФЕКТИВНОСТЬ И БЕЗОПАСНОСТЬ БВР



**ООО «РудХим» – российская компания, специализирующаяся на производстве эмульгаторов и обратных эмульсий для горнорудной, нефтегазодобывающей промышленности и предприятий, ведущих обработку металла.**



Компания была создана в 2015 г. на территории Белгородской области с учётом близости Курской магнитной аномалии как самого большого в мире железорудного бассейна, где построены крупнейшие горно-обогатительные комбинаты нашей страны. Вскоре продукция и технологии «РудХим» получили широкое признание по всей России и за её пределами – в Белоруссии, Казахстане, Киргизии, Туркменистане. Секрет популярности компании в том, что сотрудничать с «РудХим» максимально комфортно.

Во-первых, предлагаемое компанией ЭВВ эффективно и безопасно для людей, разрушает породы практически любой крепости и обводнённости и работает в малом, близком к критическому, диаметре в условиях шахты. Это позволяет проводить БВР как на открытых горных месторождениях, так и в условиях шахт, не представляющих опасности по газу и пыли.

Во-вторых, это предприятие полного цикла. Здесь выпускают все необходимые компоненты ЭВВ «Аргунит РХ», а также программное обеспечение для АСУ процессом зарядки и специальную программу по расчёту паспортов буровзрывных работ с учётом детонационных преимуществ эмульсионных взрывчатых веществ. Компания занимается доставкой химических компонентов, предоставляет заказчику оборудование и обучает работе на нём специалистов предприятий-заказчиков. В наличии всегда имеется сырьевой запас – объём хранения складов завода превышает 200 т.

Безопасность БВР гарантируется заказчиком контролем за качеством готовой продукции и входного сырья, проводимым в собственной аттестованной лаборатории предприятия. Весь ассортиментный ряд запатентован и сертифицирован, а его соответствие требованиям безопасности подтверждено специализированными экспертными центрами. Деятельность предприятия ведётся в строгом соблюдении требований Ростехнадзора в области промышленной безопасности и экологии.

В пользу ЭВВ говорит то, что само взрывчатое вещество получается прямо в заряжаемом шпуре или скважине. Взрывник заряжает шпур под землей, компоненты механически смешиваются и происходит взрыв. Плюс ЭВВ в том, что до попадания к месту зарядки оно невзрывоопасно и его беспрепятственно можно перевозить по дорогам общего пользования, и у взрывников отсутствует непосредственный контакт со взрывчатым веществом. Сотрудники «РудХим»

создали ряд устройств смесительно-зарядного оборудования: от малогабаритного переносного эмульсионного зарядчика для зарядки шпуров до самоходных высокопроизводительных смесительно-зарядных машин (модулей), которые устанавливаются на любые шасси заказчика, для создания заряда в скважинах, варьирующихся по диаметру, углу наклона, глубине. Это позволяет полностью отказаться от применения патронированных ВВ и заряжать глубокие и обводнённые скважины, в том числе и в сульфидсодержащих породах глубиной свыше 50 м под землей на расстоянии до 500 м от заряжаемого блока. Это чрезвычайно актуально для рудников, где невозможно применение самоходной смесительно-зарядной техники, и является уникальной разработкой для нашей страны!

При механизированном зарядке ЭВВ существуют определенные ограничения. Например, когда взрывчатые вещества изготавливаются при помощи специальных смесительно-зарядных устройств, расположенных рядом с местом проведения БВР, возникают трудности при зарядке шпуров с диаметром, близким к критическому (32 мм), а также при попытках к удержанию заряда в вертикальных скважинах (с диаметром 105 мм) без задействования специальных устройств и приспособлений. Компания «РудХим» использует эмульгаторы, в том числе на полимерной основе, эмульсии и сенсибилизатор, а также смесительно-зарядное оборудование собственного производства. Испытания подтвердили, ЭВВ «Аргунит РХ» – сульфидоустойчивое ЭВВ с низким критическим диаметром для удержания заряда в вертикальных скважинах диаметром до 110 мм не требует применения полимерных рукавов и дополнительных запорных устройств. Научная группа компании «РудХим» разрабатывает эмульгаторы оптимальной рецептуры, в зависимости от индивидуальных требований заказчика, для производства эмульсий на моно- и бинарном растворе окислителя. Эмульсионная матрица отличается высокой стабильностью, устойчивостью к температурам от –50 до +50 °С.

За плечами специалистов «РудХим» – опыт участия в сложных проектах, инновационный подход, работа «под ключ», а главное, – отечественные комплектующие и сырьё при выполнении заказов, что полностью исключает вероятность срывов в работе.





ШИРОКАЯ  
ГЕОГРАФИЯ  
ПОСТАВОК



БЫСТРО ПОСТАВЛЯЕМ  
В КОНТЕЙНЕРАХ  
В ЛЮБУЮ  
ТОЧКУ МИРА



НАДЕЖНОСТЬ,  
ПРОВЕРЕННАЯ ГОДАМИ,  
И ПРИЕМЛЕМАЯ  
СТОИМОСТЬ

РЕКЛАМА

16+

# сезонные скидки

с 1 июня 2024 г  
по 31 июля 2024 г



## ГГМ-3

грохот гидромеханический

## ПБШ-100

прибор бочечно-шлюзовой



АО «ММЗ» объявляет о начале сезонных скидок на промывочные приборы:

- Грохот гидромеханический ГГМ-3 - 12%
- Прибор бочечно-шлюзовой ПБШ-100 - 7%
- Прибор промывочный модульный ППМ-5 - 6%

[sales@mmzco.ru](mailto:sales@mmzco.ru)  
[mmzco.ru](http://mmzco.ru)

АО «Магаданский механический завод»  
685000, Магадан, ул. Пушкина, 16  
Телефоны: +7 (4132) 62-35-23, 62-49-93

# Инжиниринговые решения для развития труднодоступных регионов России

А.С. Ракипов, руководитель по инжинирингу комплексных проектов АО «Север Минералс»

## Горнодобывающая отрасль как драйвер развития удаленных регионов

Существенная доля стратегических запасов твердых полезных ископаемых, обеспечивающих национальные интересы, сосредоточена в труднодоступных регионах Российской Федерации [4, 5]. Поэтому горнодобывающая отрасль часто становится основой для создания опорных зон, развития транспортной и энергетической инфраструктуры, обеспечивает рабочие места и привлечение инвестиций, являясь не только источником прибыли, но и движущей силой создания кластеров, которые способствуют развитию удаленных регионов России и обеспечивают его устойчивость в долгосрочной перспективе. Таким образом, развитие труднодоступных регионов, включая Арктическую зону, с опорой на недра и их богатство представляет собой стратегический вектор развития страны [2].

## Тренды развития труднодоступных регионов на примере АЗРФ

Арктическая зона Российской Федерации (АЗРФ) – это один из самых труднодоступных регионов страны, некоторыми из основных трендов развития которого являются [3]:

- геополитическое значение. Из-за своего стратегического положения Арктика является объектом внимания многих стран;
- огромные запасы природных ресурсов, добыча и переработка которых должна вестись с применением современных технологий и методов;
- развитие инфраструктуры. Для освоения большей части АЗРФ отсутствует базовая логистическая и энергетическая инфраструктура;
- экологическая безопасность. Меры по охране природы и биоразнообразия играют ключевую роль в сохранении уникальной природы региона.

## Актуальность вопроса освоения малых месторождений полезных ископаемых в труднодоступных регионах

Значительная часть запасов полезных ископаемых в труднодоступных регионах относится к малым месторождениям [4], разработка которых с применением традиционного подхода затруднена, в том числе из-за отсутствия базовой инфраструктуры, создание которой – крайне длительный и затратный процесс, приводящий к попаданию малых месторождений в нераспределенный фонд недр.

Освоение малых месторождений полезных ископаемых в труднодоступных регионах Российской Федерации сопряжено с рядом сложностей, которые затрудняют процессы горного производства. Некоторые из основных проблем включают в себя [3]:

- логистику. Неразвитость транспортной инфраструктуры накладывает ограничения на логистику, в том числе на

## Инжиниринговые решения для развития труднодоступных регионов России

А.С. Ракипов, руководитель по инжинирингу комплексных проектов АО «Север Минералс», Санкт-Петербург, Российская Федерация, e-mail: [physic26@yandex.ru](mailto:physic26@yandex.ru)

**Аннотация:** В статье исследовано значение инжиниринговых решений для развития труднодоступных регионов России. Рассмотрен вопрос актуальности освоения малых месторождений полезных ископаемых в условиях труднодоступных регионов и возможность его решения через применение модульных обогатительных фабрик.

**Ключевые слова:** инжиниринг, развитие регионов, модульные фабрики

## Engineering solutions to develop hard-to-reach regions of the Russian Federation

Rakipov A.S., Head of Engineering for complex projects, Sever Minerals JSC, St. Petersburg, Russian Federation, e-mail: [physic26@yandex.ru](mailto:physic26@yandex.ru)

**Abstract:** The article explores the importance of engineering solutions for the development of hard-to-reach regions of Russia. The relevance of developing small-size mineral deposits in hard-to-reach regions and the possibility of achieving this using modular processing plants is considered.

**Keywords:** engineering, regional development, modular plants

габариты и объем перевозимых грузов. Кроме того, присутствует целый ряд ограничений, связанных с сезонностью навигации;

- экстремальные климатические условия. Большая часть труднодоступных регионов России характеризуется суровым климатом с низкими температурами, сильными ветрами и другими экстремальными условиями. Это создает сложности для обеспечения безопасности работников и непрерывности производства, существенно сокращает период выполнения общестроительных работ;

- социальные аспекты. Освоение малых месторождений в труднодоступных регионах осложняется кадровым дефицитом и низкой плотностью населения.

В совокупности это приводит к экономической неэффективности инвестирования в освоение малых месторождений [6], при этом вопрос их освоения является крайне актуальным с учетом многообразия вызовов, стоящих перед страной, и потенциала, который может быть реализован при правильном подходе к развитию. Именно малые месторождения способны внести существенный вклад в развитие труднодоступных регионов за счет быстрого привлечения инвестиций. Для этого жизненно необходима разработка решений, позволяющих осуществлять эффективную разработку малых месторождений в условиях минимальной инфраструктуры.

**Модульные решения для освоения малых месторождений в труднодоступных регионах**

Одним из возможных решений, учитывающих специфику задачи освоения малых месторождений, может стать применение модульных решений, в создании которых ключевую роль играет инжиниринг, включающий в себя их разработку, проектирование и внедрение.

Модульные обогатительные фабрики, представляющие собой технические устройства быстровозводимого типа различных конфигураций и исполнения, имеют широкое общемировое распространение, особенно в области обогащения золота и иных драгоценных металлов. Конструированием подобных устройств для применения в различных широтах и климатических зонах занимались и занимаются множество инжиниринговых компаний – от корпораций до локальных производителей и поставщиков оборудования.

В зависимости от региональных особенностей решения существенно отличаются по масштабу, уровню техники и технологии, автоматизации [8, 9] и др.

При рассмотрении вопроса применимости модульных решений в контексте освоения малых месторождений стоит выделить следующие критерии, соответствие которым позволяет считать решение модульным:

- высокая степень готовности и минимальный срок монтажа;
- минимальный необходимый объем подготовительных работ на участке;
- масштабируемость, гибкость и мобильность. Быстрота адаптации/реконфигурации к изменяющимся условиям на месторождении, компактность и простота доставки;
- высокая степень автоматизации, простота эксплуатации;
- энергоэффективность: оптимизированное использование ресурсов;
- минимизация воздействия на окружающую среду. Учет экологических аспектов, включая снижение выбросов и повышение энергоэффективности;
- безопасность и надежность: решения обеспечивают высокий уровень безопасности и надежности производственных процессов, модули конфигурируются только из стандартизированного и сертифицированного оборудования. Это особенно важно в условиях труднодоступных регионов, где доступ к ресурсам и помощи могут быть ограничены.

Сокращение сроков подготовительных и строительно-монтажных работ при освоении малых месторождений, в идеальном случае до полного отсутствия таковых, подразумевает, что модульная фабрика и ее составные части должны представлять собой изделие заводской готовности, которое на месте подвергается только крупноузловой сборке и подключению к инженерным системам.

Соответственно каждый модуль конструируется с учетом транспортных габаритов и должен иметь в своем составе устройства, позволяющие осуществить его быстрое сопряжение со смежными модулями, а также установку на подготовленное основание без возведения монолитных фундаментов за счет системы равномерного распределения нагрузки на грунты основания.

Север Минералс имеет в своем портфеле ряд концептуальных проработок модульных решений, полностью соответствующих обозначенным критериям, направленных на переработку различных типов руд и сырья: от россыпного, коренного золота, угля, железа и до техногенных месторождений, в том числе золошлакоотвалов.

В качестве одного из примеров подобных решений можно рассмотреть концепцию модульной золотоизвлекательной фабрики АО «Север Минералс» для извлечения гравитируемого золота из руд коренных месторождений.

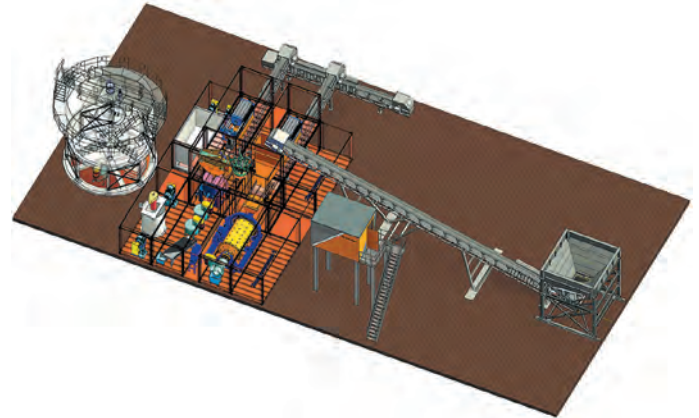


Рис. 1 Общий вид модульной ЗИФ

Таблица 1 Основные характеристики модульной ЗИФ

Параметр	Значение
Производительность по руде	До 20 т/ч в зависимости от свойств руды
Извлечение золота	В зависимости от свойств руды
Температурный диапазон эксплуатации	От -45 до +45
Режим работы	Сезонный/круглогодичный, круглосуточный
Мобильность/возможность перевозки установки	Да. Обслуживание автокраном
Водоснабжение	Замкнутый водооборот ~100 м³/ч
Энергопотребление	~1,5 МВт в зависимости от свойств руды и комплектации
Система автоматизированного управления процессом	Полная автоматизация
Занимаемая площадь (без учета ДСК)	285 м²
Количество контейнеров	От 7 единиц (в зависимости от комплектации)
Тип контейнеров	20" High Cube, с отделяемыми стенками, утепленные/не-утепленные, комплектно с инженерными системами
Вспомогательные модули и системы (опционально)	Энергетическое обеспечение (ДЭС, КТП, компрессорные)
	Водообеспечение и водоподготовка (станции забора и ХВП)
	Административно-бытовые модули
	Мобильные/полумобильные ДСК

Представленная простейшая ЗИФ имеет целый ряд областей применения, начиная от проведения геологоразведочных работ с переработкой валовых проб руды и заканчивая нулевым циклом освоения крупных месторождений, в котором за счет применения подобного решения существенно сокращаются сроки получения первого металла, а соответственно, окупаемости проекта.

## Открывающиеся возможности и перспективы развития инженерных решений в преодолении проблем труднодоступных регионов через модульные технологии

В России модульные решения начали активно разрабатываться и внедряться с начала 90-х годов прошлого века [7]. Однако после адаптации к законодательным нормам они утрачивают существенные критерии модульности, превращаются в полноценные объекты капитального строительства, со всеми вытекающими из этого сложностями. Можно сказать, что сейчас в России отсутствуют модульные фабрики, полностью соответствующие обозначенным критериям. При этом актуальность модульных решений в условиях малых месторождений в труднодоступных регионах сложно переоценить, а положительный опыт их применения, представленный общемировой практикой, нельзя игнорировать. Если с технической стороны концепции подобных фабрик реализуемы, то с правовой точки зрения возникает сложность при ответе на вопрос «Что же такое модульная фабрика: техническое устройство или объект капитального строительства?» С точки зрения Градостроительного кодекса любой объект, на котором ведутся работы по обогащению полезных ископаемых, является особо опасным и технически сложным, вне зависимости от признаков его капитальности, соответственно, он должен иметь проектную документацию и положительное заключение экспертизы, без которого не может строиться и вводиться в эксплуатацию [1]. При этом, если рассматривать каждый модуль как техническое устройство в составе такого объекта, то в рамках ЕСКД нет единых норм, стандартов и требований, в соответствии с которыми данный модуль мог бы быть сконструирован, а безопасность его конфигурации обоснована и обеспечена.

Соответственно, эффективного внедрения модульных решений в горно-обогатительной отрасли без совершенствования профильного законодательства и разработки профильных стандартов ждать не приходится.

Важно отметить, что инженерные решения на основе модульных технологий играют значительную роль в преодолении проблем труднодоступных регионов, где условия строительства и эксплуатации объектов могут быть особенно сложными. Модульные устройства позволяют значитель-

но упростить и ускорить процесс развертывания производств с минимальными требованиями к инфраструктуре в удаленных и труднодоступных местах, обеспечивая эффективное решение множества задач.

Одним из ключевых преимуществ модульных технологий является их высокая мобильность и гибкость. Благодаря возможности собирать и транспортировать модули на удаленные территории реализация проектов становится более эффективной и экономически целесообразной. Модульные конструкции могут быть легко адаптированы к специфическим условиям местности, что позволяет обеспечить оптимальное использование ресурсов и максимально эффективное функционирование объектов.

Применение модульных технологий также способствует сокращению сроков строительства и уменьшению воздействия на окружающую среду. Меньшее количество строительных отходов, оптимизированный процесс монтажа и улучшенная энергоэффективность – это лишь несколько примеров того, как модульные решения способствуют устойчивому и сбалансированному развитию в труднодоступных регионах.

Сочетание модульных решений с инновационными подходами к снабжению энергией также открывает широкие возможности для оптимизации энергетических процессов на горнодобывающих предприятиях. Применение эффективных систем энергоснабжения энергосбережения и управления потреблением энергии позволяет снизить не только зависимость от традиционных способов энергоснабжения горного производства, но и экологическое воздействие производства на окружающую среду, что создает новые возможности для повышения эффективности производственных процессов, снижения экологического воздействия и обеспечения устойчивости деятельности предприятий в условиях быстро меняющегося рынка и растущих требований к безопасности.

Таким образом, инновационные инженерные разработки на основе модульных технологий представляют собой мощный инструмент для преодоления проблем труднодоступных регионов, обеспечивая эффективное использование ресурсов и устойчивое развитие экономики этих территорий.

### Список литературы

1. Градостроительный кодекс Российской Федерации от 29.12.2004 N 190-ФЗ (ред. от 25.12.2023) (с изм. и доп., вступ. в силу с 01.05.2024).
2. О Стратегии развития Арктической зоны Российской Федерации и обеспечения национальной безопасности на период до 2035 года: Указ Президента Российской Федерации от 26.10.2020 № 645 - URL: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202010260033> (дата обращения: 20.05.2024).
3. Экономика современной Арктики: в основе успешности эффективное взаимодействие и управление интегральными рисками: монография / Под научной редакцией В.А. Крюкова, Т.П. Скуфыной, Е.А. Корчак. Апатиты: ФИЦ КНЦ РАН, 2020. 245 с.
4. Справка о состоянии и перспективах использования минерально-сырьевой базы Арктической зоны РФ на 15.03.2021 г. – ВСЕГЕИ – URL: <https://www.rosnedra.gov.ru/data/Fast/Files/202104/45bb8bcc7b844220954744c0149a86f4.pdf> (дата обращения: 20.05.2024)
5. Государственный доклад о состоянии и использовании минерально-сырьевых ресурсов Российской Федерации в 2021 году – URL: [vims-geo.ru/documents/714/Книга\\_ГД-2021\\_web\\_2023.01.18\\_8.pdf](http://vims-geo.ru/documents/714/Книга_ГД-2021_web_2023.01.18_8.pdf) (дата обращения: 20.05.2024)
6. Готов В.В. Экономическая оценка мелких месторождений твердых полезных ископаемых // Вестник ЗабГУ. 2011. №3. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ekonomicheskaya-otsenka-melkih-mestorozhdeniy-tverdyh-poleznyh-iskopaemykh> (дата обращения: 06.06.2024).
7. Федотов К.В. Практика освоения мелких и средних коренных месторождений золота модульными фабриками / К.В. Федотов, А.А. Потемкин, В.И. Белобородов // Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. – 2003. – Спец. вып. – С. 4-15.
8. DOVE EQUIPMENT AND MACHINERY URL: <https://dovemining.com/> (дата обращения: 06.06.2024). – Режим доступа: свободный. – Текст: электронный.
9. FLSmidth URL: <https://www.flsmidth.com/en-gb/ru/solutions/> (дата обращения: 06.06.2024). – Режим доступа: свободный. – Текст: электронный.

# Sever Minerals – поставщик технологических решений и оборудования

16+

РЕКЛАМА

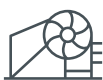
Sever Minerals более 15 лет предлагает решения, повышающие эффективность и конкурентоспособность наших клиентов. Наши основные клиенты — горно-обогатительные, металлургические и химические предприятия.



Решения в области инжиниринга



Комплексные решения



Поставка оборудования



Поставка запасных частей, материалов и сервисное сопровождение

## Преимущества

- ▶ Более 800 экспертов в более чем 30 филиалах.
- ▶ Большой опыт реализации проектов различной сложности.
- ▶ Одна из крупнейших сервисных служб и консигнационные склады на всей территории присутствия.
- ▶ Собственный инжиниринговый центр и передовое программное обеспечение.

Sever Minerals работает по международным стандартам корпоративного управления, обладает прозрачной структурой бизнеса и предлагает своим заказчикам услуги высочайшего качества

## Мы предлагаем решения в области:



дробления и сортировки



сгущения



измельчения и обогащения



технологии потоков



классификации и сепарации



складирования и транспортировки



фильтрации



флотации

8 800 500 67 17  
severminerals.com

 SEVER MINERALS

# К 150-летию Александра Александровича Скочинского

В июле 2024 года исполняется 150 лет со дня рождения Александра Александровича Скочинского, горного инженера, академика, Героя Социалистического Труда, обладателя пяти орденов Ленина (высшая награда в СССР).



13 июля 1874 года в селе Олёкма Якутской губернии родился А.А. Скочинский – основоположник русской научной школы рудничной аэрологии, организатор исследований по ряду вопросов, связанных с изучением безопасности горных работ. За 60 лет своей научно-педагогической деятельности А.А. Скочинский воспитал тысячи горных инженеров, десятки крупных научных работников. Под его руководством в 1930 г. была создана Кафедра рудничной вентиляции, сегодня она носит название безопасности и экологии горного производства (в Горном институте НИТУ МИСИС).

В 1959 г. А.А. Скочинский возглавил вновь созданный, самый крупный отраслевой Институт горного дела, которому впоследствии было присвоено его имя. Его ученики – уже в шестом поколении – продолжают проводить исследования на самом высоком уровне. Научная школа Александра Александровича Скочинского активно развивается в Горном институте НИТУ МИСИС (г. Москва),

Санкт-Петербургском горном университете императрицы Екатерины II), Горном институте УрО РАН (г. Пермь), КузГТУ (г. Кемерово), ВостНИИ (г. Кемерово) и др. Научные направления развития рудничной аэрологии, заложенные А.А. Скочинским, до сих пор остаются актуальными, так как охватывают всю систему обеспечения безопасности ведения горных работ. Результаты исследований его научной школы легли в основу сегодняшней нормативно-методической документации, регламентирующей параметры проветривания шахт и рудников.

Благодарная память о вкладе Александра Александровича Скочинского в развитие отечественной науки и практики горного дела живет в делах его последователей, которым хочется пожелать замечательных успехов на этом тернистом пути.

**Кафедра безопасности и экологии горного производства  
Московского горного института, НИТУ МИСИС**

**МАЙНЕКС** 2024  
РОССИЯ

[MINEXRUSSIA.RU](http://MINEXRUSSIA.RU)

**20-Й СЕЗОН:  
ФОРУМ И ВЫСТАВКА**

ГОРНАЯ ОТРАСЛЬ БУДУЩЕГО:  
ЛЮДИ. ТЕХНОЛОГИИ. НЕДРА.

16+

THE 20TH MINING & EXPLORATION FORUM & EXPO

МАЙНЕКС RUSSIA 2024 THE MINING INDUSTRY OF THE FUTURE:  
PEOPLE. TECHNOLOGY. RESOURCES.

9-10 ОКТЯБРЯ

Москва  
9-10 OCTOBER, MOSCOW

[minextrussia.ru](http://minextrussia.ru)

# Ковдор – заполярный город горняков и железной руды

Продолжаем публикацию материалов, посвященных истории, современности и перспективам развития горняцких городов Российской Федерации. Отрадно, что рубрика «Горняцкие города России» вызывает живой интерес у читателей нашего журнала. В редакцию поступают материалы об истории и современности горняцких городов. В преддверии профессионального праздника «День металлурга» предлагаем Вашему вниманию статью, посвященную истории и современности горняцкого города Ковдор, градообразующим предприятием которого является Ковдорский горно-обогатительный комбинат, производящий железорудное и горно-химическое сырье.



Ковдор – населенный пункт из разряда малых городов – расположен на северо-западе России, в Мурманской области. Численность населения города составляет 16,244 тыс. чел (по итогам 2023 г.). Средний возраст жителей Ковдора (Ковдорского района) около 40 лет.

Бытуют две версии происхождения названия «Ковдор». Согласно первой название города происходит от саамского «кувт» (или «куфт») – в переводе «змеиная яма». Более правдоподобной считается версия, согласно которой название произошло от слов «куовдо» и «ор», что по-саамски означает «центральное озеро». С древних времён эти места были заселены коренными жителями – саамами.

Имя города носит редкий минерал – водный фосфат магния ковдорскит, открытый в 1969 г. геологом Ю.Л. Капустинным. На сегодняшний день больше нигде в мире не найден, является наиболее красивым из минералов-эндемиков. А еще у Ковдора есть космическая тезка – звезда в созвездии Рака. Своим именем она обязана коллективу АО «Ковдорский ГОК», который в 2003 г. получил звание «Бизнес-лидер», а с ним такой удивительный подарок.

Одной из ярких достопримечательностей Ковдора является его природа. Расположенный в живописном месте, город окружен горами и озерами, где можно отлично провести время на рыбалке или прогуляться среди непроходимых лесов. Красота окружающей природы поражает своим разнообразием и уникальностью.

Геологические исследования на территории современного Ковдорского района и ее освоение начались еще до Великой Отечественной войны. В 1933 г. геолог К.М. Кошиц во главе отряда Ленинградского геологического треста в районе озера Ковдор выявил крупную магнитную аномалию, а затем открыл месторождение магнетитовых руд на северо-восточном склоне горы Пилькома-Сельга. Месторождение получило название Ёнское.

Щелочные и карбонатные породы были обнаружены геологами на горе Воцу-Вара. В 1935 г. было решено образовать Ёнское слюдяное рудоуправление, в его состав вошел рудник «Ёна» (у поселка Слюда). В 1934–1941 гг. Ковдорское железорудное месторождение стало местом постоянных геологических исследований, прерванных войной. В 1945 г. изыскательские работы на месторождении были возобновлены, на руднике «Ёна» продолжена добыча слюды-мусковита.

В 1939 г. началось строительство железнодорожной ветки Пинозеро – Ковдор, которое было завершено в июне 1941 г. С началом войны пути были демонтированы для использования на оборонных объектах. Восстановили железнодорожную ветку в 1951 г. С 30 марта 1953 г. было открыто временное пассажирское движение.

В 1953 г. трестом «Кольстрой» был издан приказ об организации в Ковдоре строительного управления – СУ «Спецстрой», на которое возлагалось строительство горно-обогатительного комбината и поселка Ковдор. Начальником этого управления был назначен опытный строитель и организатор П.В. Голубев. 1 июня 1953 г. сюда прибыли первые строители горно-обогатительного комбината и будущего населенного пункта. Именно эта дата вошла в историю как день рождения Ковдора. В течение года в Ковдоре были открыты начальная школа, медпункт, почта, клуб и другие объекты социального быта. В 1955 г. приказом Министерства черной металлургии СССР образовано Ковдорское рудоуправление.

В 1956 г. институт «Гипроруда» разработал проект поселка городского типа на 5 тыс. человек. Одновременно было развернуто строительство комбината с карьером и обогатительной фабрикой для добычи и переработки руды.

В 1959 г. А.И. Сухачев принимает предложение стать главным инженером Ковдорского ГОКа, а с 1964 г. – возглавить его. Начав трудовую деятельность в Ковдоре в ответственный период строительства комбината, А.И. Сухачев четверть века являлся его бессменным руководителем.

В сентябре 1962 г. началась пробная отгрузка концентрата. Так началась история города Ковдора и Ковдорского ГОКа. В 1965 г. рабочий поселок Ковдор был преобразован в город.



Богатейшие запасы полезных ископаемых сразу же определили горнодобывающую специализацию Ковдора. Градообразующим предприятием города стал «Ковдорский горно-обогатительный комбинат» на базе запасов железных руд Ковдорского месторождения и других полезных ископаемых. С 1975 г. предприятие помимо магнетитового сырья начало производить апатитовый и бадделитовый концентрат.

В 1992 г. в экономике города начинаются рыночные преобразования, в основном техническое переоснащение Ковдорского ГОКа. С 1995 г. комбинат стал перерабатывать для дополнительного обогащения рудные отвалы, которые оставались от предыдущих разработок. С 2001 г. АО «Ковдорский горно-обогатительный комбинат» входит в состав Минерально-химической компании «ЕвроХим» и осуществляет поставки производимой продукции на российский и европейский рынки.

АО «Ковдорский горно-обогатительный комбинат» является вторым по величине производителем апатитового концентрата в России и единственным в мире производителем бадделитового концентрата. Комбинат стал первым в отрасли предприятием, осуществляющим комплексную переработку добываемого минерального сырья.

Апатитовый концентрат является основным продуктом для производства фосфорных удобрений. Ежегодно Ковдорский ГОК производит более 2,3 млн т концентрата, который поставляется на предприятия ЕвроХима в Кингисепп, Белореченск, в Белоруссию на Гомельский химический комбинат, а также за рубеж.

С 2010 г. началась модернизация дробильно-обогатительного комплекса комбината. Были реконструированы технологические линии в корпусе крупного дробления, проведена модернизация конвейеров. введено в эксплуатацию высокопроизводительное оборудование «Metso» и «Уралмаш», Самым значимым для комбината проектом стало строительство усреднительного склада мелкодробленной руды и его запуск в 2015 г. Это уникальный объект, крупнейший в мире по своей мощности и производительности. Усреднение руды позволяет поддерживать оптимальное качество железорудного, апатитового и бадделитового концентратов и увеличить их выпуск.

В 2021 г. запущен мобильный комплекс по производству щебня. Он производит ежегодно 1,5 млн т щебня разной фракции для содержания карьерных дорог. В переработку идет скальная вскрыша – пустая порода без полезных компонентов. В мобильном комплексе мощность дробилки в 3-4 раза меньше, чем в основном цеху. Сам комплекс можно перемещать – он оборудован колесами. В перспективе планируется заменить оборудование в корпусе среднего и мелкого дробления и увеличить объем дробления до 22 млн т в год – это смелая цель, ведь каждый дополнительный миллион тонн – вызов для коллектива дробильной фабрики.

Ковдорский ГОК в настоящее время реализует масштабные инвестиционные проекты. Они направлены на общее увеличение производительности оборудования и эффективную переработку добываемого минерального сырья.

В 2022 г. «ЕвроХим» заключил инвестиционный контракт с Правительством Мурманской области о реализации масштабного проекта развития Ковдорского ГОКа. В публикации отмечается, что без этих инвестиций Ковдорский ГОК перестал бы работать в 2027 г. Благодаря этому проекту предприятие продолжит стабильную с увеличением добычу и производство до 2047 г., то есть около 25 лет гарантированной работы.

Подписанный контракт определяет, что в ближайшие 10 лет в Ковдорский ГОК будет инвестировано порядка 100 млрд руб., что позволит обеспечить рост объемов добычи, модернизацию обогатительных фабрик, увеличение объемов производства конечной продукции и т.п. Реализация проекта позволит расширить производственную базу горнодобывающего предприятия, внедрить новые технологии, поднять производительность труда, увеличить объемы производства и объемы отгрузки продукции, создать новые рабочие места, обеспечить дополнительные налоговые поступления в бюджеты всех уровней и в целом – обеспечить стратегические перспективы для будущего развития самого производства и населенного пункта.

Правительство Мурманской области обеспечит сопровождение и поддержку проекта в рамках действующего законодательства.

Также Ковдорский ГОК в приоритетном порядке планирует привлекать к реализации своего инвестиционного проекта организации, предприятия и работников из Мурманской области.

Учитывая, что уровень и качество жизни населения Ковдора зависят во многом от деятельности комбината, кадровая политика компании «ЕвроХим» направлена на создание эффективной системы социальной защиты работников; привлечение и удержание квалифицированного персонала; поддержание достойного уровня материального вознаграждения работников. Ковдорский ГОК предоставляет возможности для обучения и повышения квалификации, подписаны договоренности о сотрудничестве с несколькими российскими вузами, предприятие спонсирует своих студентов. Комбинат предоставляет своим работникам возможность отдыхать в санаторно-курортных учреждениях, поддерживает пенсионеров, организует спортивные и культурные мероприятия.

Ковдор как один из 7 моногородов Мурманской области (Заполярный, Ковдор, Кировск, Мончегорск, Никель, Оленегорск, Ревда) отнесен к моногородам со сложным социально-экономическим положением. Сложность обусловлена целым рядом факторов, например, недостаточно развитой инфраструктурой, транспортной доступностью и др. Так или иначе, экономика города должна искать варианты диверсификации. В частности, муниципальные власти совместно с компанией «ЕвроХим» в рамках национального проекта по развитию туризма в настоящее время реализуют проект «Ковдор – столица Гипербореи», целью которого является создание в Ковдорском районе и городе туристической инфраструктуры, в ожидании что проект даст мощный толчок для развития малого и среднего бизнеса.

*Статью подготовила А.Н. Никифорова, библиограф информационно-библиографического отдела центральной библиотеки МБУК ЦБС Ковдорского муниципального округа*

**Выпуск следующего номера журнала планируется в преддверии профессионального праздника «День шахтера». Редакция планирует опубликовать статью, посвященную «угольным» горняцким городам, значительная часть которых находится в Кемеровской области – ведущем угледобывающем регионе России. Кемеровская область (Кузбасс) является также основным регионом по количеству моногородов, практически все из них «угольные» города. Приглашаем читателей журнала принять активное участие своими откликами и материалами.**



С 2006 года

Экспортное качество

**УралАктив**  
ХИМВЕНТ • ХИМТЭНК • ACIDLAB

ПРОИЗВОДСТВО ОБОРУДОВАНИЯ  
ИЗ ХИМИЧЕСКИ СТОЙКИХ ЛИСТОВЫХ  
ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ГАЛЬВАНИЧЕСКИХ  
И ГИДРОМЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ПРОИЗВОДСТВ

### ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ГИДРОМЕТАЛЛУРГИИ И ЭЛЕКТРОЛИЗА



Химические реакторы



Реакторы  
барabanного  
типа



Трубопроводы  
PP-H, PVC, PVDF



Реакторы  
выщелачивания



Емкости



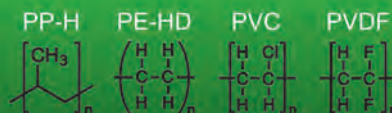
Скрубберы

### Вентиляторы



- Электролизные ванны
- Экстракционные аппараты
- Нутч-фильтры
- Друк-фильтры
- Вакуумные ресиверы
- Турилло
- Регенерационные колонны
- Пачуки сорбционные
- Конусные классификаторы

uralactiv.ru



ПРОЕКТИРОВАНИЕ | ПОСТАВКА | МОНТАЖ  
info@uralactiv.ru / +7 (343) 253-10-21

РЕКЛАМА 16+



**МЕХАНОБР  
ТЕХНИКА**

РОССИЙСКИЙ РАЗРАБОТЧИК  
И ПРОИЗВОДИТЕЛЬ ОБОРУДОВАНИЯ  
ДЛЯ ПЕРЕРАБОТКИ МИНЕРАЛЬНОГО И ТЕХНОГЕННОГО СЫРЬЯ

РЕКЛАМА 16+



## ЛАБОРАТОРНОЕ И ПРОМЫШЛЕННОЕ ОБОРУДОВАНИЕ для дезинтеграции, классификации и обогащения материалов



- Дробилки щековые, молотковые, валковые, конусные инерционные КИД
- Мельницы шаровые
- Истиратели дисковые
- Истиратели вибрационные



- Грохоты инерционные
- Грохоты самобалансные
- Анализаторы ситовые
- Анализатор ситовый ударный АС-200У (Ротап)
- Вибросита



- Флотационные машины
- Магнитные сепараторы
- Размагничивающие аппараты
- Отсадочная машина
- Концентрационный стол
- Фильтры лабораторные



- Питатели
- Сократители проб
- Делители проб
- Сита лабораторные
- Столы и подставки



100-ЛЕТНИЙ ОПЫТ  
РАЗРАБОТКИ  
И ПРОИЗВОДСТВА  
ОБОРУДОВАНИЯ



БОЛЕЕ 150 ВИДОВ  
МАШИН ДЛЯ КОМПЛЕКСНОЙ  
ПЕРЕРАБОТКИ СЫРЬЯ



ЭКСПОРТ В 40 СТРАН  
МИРА – ДОСТАВКА В СТРАНЫ  
ДАЛЬНЕГО И БЛИЖНЕГО  
ЗАРУБЕЖЬЯ



СОБСТВЕННОЕ  
КОНСТРУКТОРСКОЕ БЮРО  
ДЛЯ ИНДИВИДУАЛЬНЫХ  
РАЗРАБОТОК



ВЫПОЛНЕНИЕ  
ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ НА ПРОБАХ  
ЗАКАЗЧИКОВ

WWW.MTSPB.COM

Россия, Санкт-Петербург, В.О.,  
22 линия, д. 3, корп. 5

8 (812) 331-02-43  
sales@mtspb.com

8 800 550-35-56  
+7 921 905-13-05



# Прорыв в выставочной индустрии России

*Итоги 4-й международной конференции «Future of mining – Будущее горной промышленности»*

С 28 по 31 мая 2024 года в МВЦ «Крокус Экспо» успешно прошла уникальная синергия четырех отраслевых выставок, организованная Sigma Expo Group. Крупнейшее отраслевое выставочное событие России представили: СТТ Экспо – главная выставка строительной техники и технологий в России, СОМвех – главная выставка коммерческого транспорта и технологий в России, СТО Экспо – международная выставка запчастей, послепродажного обслуживания и сервиса, и премьера – Logistika Expo – международная выставка логистики, транспорта, складской техники и оборудования.

Синергия выставок, которая в этом году проходила под единым брендом EXPO, привлекла рекордное количество посетителей – 78 698 человек, что на 20% больше, чем годом ранее. Впервые в истории единое выставочное событие заняло одновременно три павильона и все возможные уличные площади МВЦ «Крокус Экспо». Общая площадь проектов – 200 800 м<sup>2</sup>. Рост составил 80% по сравнению с 2023 годом.

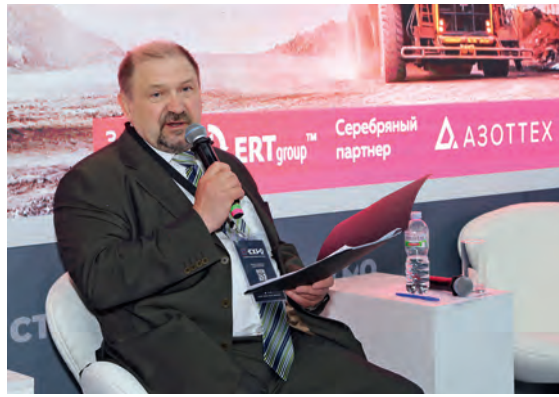
Событие привлекло 78 698 профессионалов. Выставки были отмечены широкой географией посетителей. EXPO посетили представители профессионального сообщества из 87 регионов России. В топ стран по посетителям вошли Китай, Беларусь, Турция, Казахстан, Узбекистан, ОАЭ, Южная Корея, Киргизия, Индия и другие.

В рамках синергии выставок на девяти площадках была представлена насыщенная программа мероприятий.

Особый акцент делается на развитие сегмента горной промышленности, одного из самых быстроразвивающихся разделов СТТ Экспо. Центральным мероприятием, объединяющим представителей всех специальностей горнодобывающей отрасли, стала 4-я международная конференция «Future of mining – Будущее горной промышленности», которая состоялась 29 мая 2024 г. в рамках «Дня горнодобывающей отрасли». По традиции, организаторами конференции выступили: Sigma Expo Group и журнал «Горная Промышленность».

Мероприятие проходило при официальной поддержке и участии Комитета Государственной Думы РФ по развитию Даль-





него Востока и Арктики, Министерства энергетики РФ, Министерства промышленности и торговли Республики Карелия, Академии горных наук, ТПП Мурманской области/Северная, ТПП Республики Саха (Якутия), НП «Горнопромышленники России» и Ассоциации «Горнопромышленники Карелии».

С приветственными словами к организаторам и участникам «Дня горнодобывающей отрасли» обратились: Заместитель Председателя Комитета Государственной Думы по развитию Дальнего Востока и Арктики – В.Н. Пивненко, Директор департамента угольной промышленности Минэнерго РФ – П.М. Бобылев, генеральный директор ООО «ЕРТ-Групп» – В.А. Ракитин, генеральный директор ООО «АЗОТТЕХ» – В.А. Тихонов, и.о. ректора Государственного уральского горного университета – В.А. Душин, ректор Сибирского государственного индустриального университета – А.Б. Юрьев, ректор Кузбасского государственного технического университета им. Т.Ф. Горбачева – А.Н. Яковлев, ректор Заполярного государственного университета им. Н.М. Федоровского – Е.И. Голубев.

Партнерами «Дня горнодобывающей отрасли» стали: Золотой партнер – ООО «ЕРТ-групп» и серебряный партнер – ООО «АЗОТТЕХ». Партнеры конференции: ООО «Геосуппорт», ООО «РЕМАН-СЕРВИС», ООО «АТОЛЛис».

Ключевые темы конференции этого года:

- Развитие горнодобывающей промышленности арктической зоны и прилегающих экстремально холодных территорий ДВФО и СФО.
- Состояние и тенденции развития рынка горного оборудования России и мира.
- Отечественные цифровые инструменты управления горным производством.

На открытии конференции с приветственными словами к участникам и гостям мероприятия обратились генеральный директор ООО «Сигма Экспо Групп» – С.В. Александров, Президент НП «Горнопромышленники России», главный редактор журнала «Горная промышленность» – В.А. Язев, генеральный директор ООО НПК «Гемос лимитед», издатель журнала

«Горная промышленность» – Е.В. Анистратова.

Пленарное заседание проходило при участии Национальной Академии горных наук Республики Казахстан. Почетный гость конференции – Президент Горнопромышленного Союза Казахстана, Президент Национальной Академии горных наук Казахстана, Президент Всемирной Академии Горных Наук – Нурлан Бектасович Рыспанов выступил с докладом.

В своем пленарном докладе, говоря о будущем горной промышленности, Нурлан Бектасович сделал акцент на целесообразности сконцентрировать ее на двух главных направлениях: переработка техногенных минеральных образований (ТМО) и переход на закрытые системы добычи полезных ископаемых.

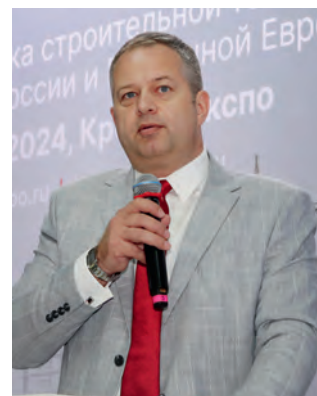
О масштабах добычи полезных ископаемых можно судить по тем запасам ТМО, которые лежат сегодня на поверхности земли, создавая определенную экологическую проблему. Так, на поверхности территории Российской Федерации, по данным ИПКОН РАН, находится более 100 млрд т, на территории Республики Казахстан – порядка 40 млрд т.

Ряд проведенных исследований по анализу составов ТМО показывает, что к ним надо относиться не как к исходной руде с ее первоначальным химическим составом. Прошедшее технологические переделы – это уже качественно другое сырье, требующее специального исследования.

На протяжении всей истории горного дела идет процесс развития и внедрения физико-химических методов добычи, которые позволяют без подъема руды на поверхность вести добычу и переработку минерального сырья. Это такие методы, как, например: подземная газификация угля, подземное растворение, подземно-скважинное выщелачивание, подземная выплавка и др. В целом они называются закрытыми системами добычи.

И это есть будущее Горной промышленности!

Сегодня эти технологии работают довольно широко на урановых рудниках, на медных месторождениях. Есть опытно-промышленные внедрения на золоте, на угле работают установки подземной газификации в России (Кузбасс), в Узбекистане (Ангрен), в ряде зарубежных стран.



Активно шло развитие этих технологий в 1950–60-е годы. Уже в конце 1960-х – начале 1970-х годов в СССР был опубликован ряд монографий об опыте применения закрытых систем. Сегодня в Казахстане действует 20 современных рудников ПСВ и Казахстан занимает 1-е место в мире по добыче урана.

Это самая экологичная и экономичная технология!

Необходимо активизировать работу в этом направлении и в первую очередь заниматься вовлечением в разработку отвалов окисленных руд, которые в огромных количествах сегодня лежат на территории горных предприятий, – подчеркнул Н.Б. Рыспанов.

Продолжил пленарное заседание Министр промышленности и торговли Республики Карелия – **Д.Р. Гурков**. Он поприветствовал от лица Министерства участников и гостей конференции, а также отметил, что горная промышленность имеет огромное значение для экономики Карелии. По материалам доклада Д.Р. Гудкова в этом номере журнала публикуется статья о состоянии и развитии горнопромышленного комплекса Республики Карелия.

И, по традиции, с заключительным приветственным словом на пленарном заседании выступила Президент Торгово-промышленной палаты Мурманской области/Северная – **Т.В. Русскова**. В своем выступлении Т.В. Русскова подчеркнула, что за время работы конференция «Будущее горной промышленности» стала одной из масштабных площадок обмена актуальным опытом в горнопромышленной сфере, которая способствует экономическому партнерству и сотрудничеству между различными организациями в области горнодобывающей промышленности. Не случайно Торгово-промышленная палата Мурманской области принимает участие в конференции уже в 4-й раз и оказывает всестороннюю поддержку ее дальнейшему продвижению.

Учитывая важность обсуждаемых вопросов, конференция проходила в гибридном формате. На площадке СТТ Forum был организован Телемост «Москва – Якутск». В Якутске на

площадке Технопарка «Якутия» в работе конференции приняли участие специалисты Высшего инженерного совета РС (Я), ТПП Якутии, Северо-Восточного федерального университета им. М.К. Аммосова, ИФТПС СО РАН, Арктического государственного агротехнологического университета, Якутского центра стандартизации и метрологии Росстандарта, МинАрктики РС (Я), Арктического НИЦ РС(Я). В Норильске в онлайн-режиме участвовали представители ТПП Центрально-Сибирское, НОЦ «Енисейская Сибирь», производитель вездеходов «Варяг». В Магадане: Магаданское ТПП, Северо-Восточный государственный университет, Региональный штаб ОНФ. В Москве к работе конференции в онлайн-режиме присоединились: Постпредство РС(Я) при президенте РФ, ТПП РФ, НОЦ «Север – территория устойчивого развития», Испытательный центр НАМИ.

Центральной темой конференции в этом году стала **тема развития горнодобывающей промышленности арктической зоны и прилегающих экстремально холодных территорий ДВФО и СФО**. Модератор – И.В. Зырянов, д-р техн. наук, профессор.

При развитии минерально-сырьевой базы России фокус открыто смещается на Арктическую зону. Крупнейшие запасы углеводородов, редкоземельных металлов и других твердых полезных ископаемых позволяют рассматривать комплексные проекты инфраструктурных перспектив региона.

В работе секции обсуждались такие острые вопросы, как проблемы и перспективы создания техники для условий эксплуатации до минус 60–70 °С; о перспективах создания сервиса, капитальных ремонтов узлов и агрегатов импортной горнотранспортной техники на Севере ДВФО и СФО. В ходе дискуссии также стало понятно, что из всего многообразия наземных транспортно-технологических средств (НТТС) наиболее экономически целесообразными и экологичными для эксплуатации в Арктике являются колесные НТТС на крупногабаритных шинах низкого давления, создаваемые на базе се-

рийных отечественных полноприводных колесных машин. Сделан вывод о необходимости создания комплексной федеральной программы по технике и технологиям на территориях экстремально холодного климата, в том числе арктических, в отличие от территорий «обычного» холода, например, как на Ямале. Такая программа уже объективно является задачей геостратегического уровня и актуальной для реализации в рамках указа Президента РФ от 07 мая 2024 г.

Также речь шла о роли экологической составляющей в методологии оценки проектов горной промышленности. Действующие системы оценки недр и проектов недропользования созданы странами-потребителями природных ресурсов и во многом не отвечают суверенным интересам России, поэтому требуют скорейшего пересмотра ряда подходов. Становятся актуальными вопросы экологии и охраны труда работников горнодобывающей отрасли.

Продемонстрированы преимущества и возможности развития технологий контроля устойчивости бортов карьеров с помощью передовой радарной системы MuPattern; геотехнического радарного мониторинга в условиях снежного и ледяного покрова; спутникового радарного мониторинга Арктических зон; опыта эффективного применения геотехнических радаров для управления рисками с целью обеспечения безопасности и повышения производительности.

Не остался без внимания и вопрос подготовки кадрового резерва через образовательные молодежные проекты.

Секция «Состояние и тенденции развития рынка горного оборудования мира и России» была открыта обзорным докладом модератора, д-ра техн. наук, проф. К.Ю. Анистратова.

В докладе был представлен анализ мирового рынка карьерной техники, основанный на материалах многолетних маркетинговых исследований, мониторинга динамики производства и поставок карьерной техники в Россию. Представлены модели динамики структур парков карьерных экскаваторов и самосвалов, а также прогноз структуры потребления карьерных экскаваторов, самосвалов, ГШО для подземных рудников. Сформулированы актуальные задачи отечественного горного машиностроения.

В ходе дискуссии обсуждались текущие условия управления парком карьерной техники на горнодобывающих предприятиях России. Широкое внедрение на карьерах страны автоматизированных систем управления технологическими процессами и систем диспетчеризации, генерирующих значительные объемы эксплуатационных данных в режиме реального времени работы горного оборудования, является основой для использования новых принципов разработки индивидуальных стратегий технического обслуживания и ремонта оборудования. Сделан вывод о том, что их реализация возможна при создании единого информационного пространства, обеспечивающего совокупность процессов производственной и технической эксплуатации парков горнотранспортного оборудования карьеров.

Рассмотрены основные направления развития современной горнодобывающей техники с фокусом на повышение производительности и эффективности. Это отражается в растущих требованиях к элементам гидросистем, включая рукава высокого давления, и в установке самых прогрессивных стандартов и требований.

ТД «БЕЛАЗ» представил новинки карьерной техники. Это самосвалы, работающие на сжиженном природном газе, дизель-троллейбусы, техника на аккумуляторных батареях и с гибридной схемой работы, в том числе на водороде. Особенная новинка карьерного транспорта – гидравлический экскаватор на гусеничном ходу.

В ходе работы секции «Отечественные цифровые инструменты управления горным производством», модератор М.А. Соннов – действительный член Академии горных наук, в докладах и в процессе дискуссий было определено, что одной из задач, стоящих перед добывающей промышленностью России, является переход к Индустрии 4.0, использование цифровых двойников и цифровых моделей месторождений, что дает возможность наиболее полноценного извлечения запасов, и повышение безопасности работ по добыче полезных ископаемых. Были продемонстрированы различные отечественные цифровые решения для горной отрасли: инженерное программное обеспечение для задач геомеханики и геотехники, горно-геологические информационные системы, системы мониторинга и прогнозной аналитики: карьерных самосвалов, проведения взрывных работ, системы с использованием искусственного интеллекта.

Использование цифровых 3D-моделей повышает достоверность, т.к. это позволяет предприятиям горной промышленности принимать предпроектные, проектные решения, а также искать эффективные и оптимальные пути решения проблем в процессе эксплуатации.

Базовая автоматизация традиционных производственных и корпоративных процессов позволяет получить данные, необходимые для дальнейшей аналитики, обучения ИИ и выстраивания цифровых цепочек управления процессами, а также непосредственного управления оборудованием и механизмами.

Наиболее эффективную работу с накопленными данными и выстраивание «сквозных» цепочек управления «от Производства до Клиента» – может обеспечить не какое-то единое ПО, закрывающее потребности всех бизнесов, а выстраивание оптимальной мультиплатформенной экосистемы, которая позволит гибко встраивать и использовать различные приложения и инструменты для обработки и управления данными.

В конференции приняло участие 34 спикера. В качестве слушателей мероприятие посетили более 120 человек. Участники отметили высокий уровень и важность проведения мероприятия. Во время конференции состоялись назначенные B2B встречи.

Мероприятию оказана мощная информационная поддержка. В числе медиапартнеров ведущие отраслевые издания: «Добывающая промышленность», «Спецтехника и коммерческий транспорт», «Инженер и промышленник сегодня», «Основные средства», «Горный журнал», «Маркшейдерия и недропользование», «Золото и Технологии», «Металлы Евразии», «ГЛОБУС», Промышленный портал «ProfiMiner», «Каталог минералов», Ассоциация «Woman in Mining», EXPO CLUB, Издательство «Горная книга», Telegram-канал «На-гора» Угольная аналитика, Фонд «Надежная смена» и другие.

Проект Решения, принятый по итогам конференции «Будущее горной промышленности», будет представлен в профильные комитеты Государственной Думы Российской Федерации.

Выставка EXPO 2025 пройдет с 27 по 30 мая 2025 г. в МВЦ «Крокус Экспо». Уже забронировано 60% площадей в павильонах, а уличные площади забронированы на 100%.

По традиции во второй день выставки – 28 мая 2025 г., состоится «День горнодобывающей отрасли» и 5-я юбилейная Международная конференция «Будущее горной промышленности».

Ждем участников и гостей на нашем мероприятии!

Следите за новостями конференции на сайте [mining-media.ru](http://mining-media.ru) и в Telegram-канале [@minigmedia\\_ru](https://t.me/minigmedia_ru)

# miningmetals

CENTRAL ASIA

# 2024

**29-Я ЦЕНТРАЛЬНО-АЗИАТСКАЯ МЕЖДУНАРОДНАЯ ВЫСТАВКА  
«ГОРНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ, ДОБЫЧА И ОБОГАЩЕНИЕ РУД  
И МИНЕРАЛОВ»**



**В этом году с 17 по 19 сентября в городе Алматы (Казахстан) пройдет 29-я выставка Mining & Metals Central Asia. Мы побеседовали с руководителем выставки – Юлией Палагутиной.**

**Юлия, расскажите, пожалуйста, чем эта выставка будет отличаться от предыдущих?**

– Mining & Metals Central Asia 2024 станет по-настоящему масштабным событием. Мы ожидаем

более 400 участников из 30 стран мира. В этом году у нас будут представлены компании из таких стран, как Австрия, Австралия, Беларусь, Великобритания, Германия, Индия, Ирландия, Испания, Италия, Канада, Казахстан, Кипр, Китай, Литва, Норвегия, ОАЭ, Польша, Россия, Сингапур, США, Турция, Украина, Финляндия, Франция, Чехия, Чили, Швеция, Швейцария, Южная Африка, Южная Корея и многих других, что свидетельствует о глобальной значимости и привлекательности нашей выставки.

**Это действительно впечатляет. А что посетители смогут увидеть на выставке?**

– Посетители смогут не только увидеть новейшие разработки в области горнодобывающего и горно-обогащительного оборудования и технологий, но и опробовать их в действии на интерактивных демонстрационных площадках.

Также в этом году сформировалась очень богатая уличная экспозиция, где будут представлены крупногабаритные машины и оборудование. Это даст посетителям уникальную возможность увидеть технику вблизи и оценить её размеры и возможности.

**А какие компании-лидеры отрасли примут участие в выставке?**

– Мы рады приветствовать на Mining & Metals Central Asia 2024 таких гигантов, как Metso, Sandvik Mining and Construction, Normet, Derrick Corporation, FLS и другие.

С актуальным списком можно ознакомиться на сайте мероприятия: [www.mining-metals.kz](http://www.mining-metals.kz)

**Помимо экспозиции, какие еще мероприятия будут проходить на выставке?**

– Деловая программа Mining & Metals Central Asia 2024 будет насыщенной. Она включает в себя панельные дискуссии с участием авторитетных экспертов, технические семинары, мастер-классы, специализированные конференции, а также B2B-встречи и нетворкинг-мероприятия, где участники смогут найти новых партнеров и клиентов.

**Какие уникальные возможности для нетворкинга будут доступны участникам?**

– Мы разработали целый ряд уникальных возможностей для нетворкинга, чтобы участники могли максимально эффективно использовать время на выставке. Во-первых, это специальные зоны для нетворкинга, оборудованные удобными местами для встреч и общения. Во-вторых, мы организуем вечерний прием, где в неформальной обстановке можно будет завести полезные контакты. В-третьих, в рамках выставки будет работать мобильное приложение, которое поможет участникам находить интересующих их партнеров и договариваться о встречах заранее.

**Скажите, в чем главная цель выставки Mining & Metals Central Asia?**

– Наша цель – создать уникальную платформу для обмена опытом, налаживания деловых связей, продвижения инноваций и формирования будущего горнодобывающей отрасли. Мы хотим, чтобы Mining & Metals Central Asia 2024 стала катализатором для внедрения передовых технологий, повышения эффективности и устойчивого развития горнодобывающего сектора.

Приглашаю всех на Mining & Metals Central Asia 2024!

[www.mining-metals.kz](http://www.mining-metals.kz)

Алматы, Казахстан  
КЦДС «Атакент», ул. Тимирязева, 42  
+7 727 258 34 34



# miningmetals

CENTRAL ASIA

29-я Центрально-Азиатская  
Международная Выставка  
ГОРНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ, ДОБЫЧА И  
ОБОГАЩЕНИЕ РУД И МИНЕРАЛОВ


17 - 19 сентября 2024  
Алматы, Казахстан




Организаторы

Iteca - тел.: +7 727 258 34 34



 [mining-metals.kz](https://twitter.com/mining-metals.kz)

 [mining\\_shows\\_kaz](https://www.instagram.com/mining_shows_kaz)

 [miningmetals.kz](https://www.facebook.com/miningmetals.kz)

16+

# Кузбасская сага «Новые времена – Новые герои»



XXXII Международная специализированная выставка технологий горных разработок «Уголь России и Майнинг» с 4 по 7 июня традиционно собрала в Новокузнецке на площадке ВК «Кузбасская ярмарка» горнодобывающие предприятия, российские и зарубежные компании, представителей государственных организаций, научного сообщества и СМИ. Общая площадь экспозиции расширилась до 85 тыс. м<sup>2</sup>. Количество экспонентов составило 841 компанию. Выставку посетили 62 488 специалистов.

Главным партнером мероприятия стал официальный дистрибьютор карьерной техники SANY Heavy Equipment – Группа ПИР.

В рамках деловой программы выставки 6 июня состоялась интерактивная сессия «Новые времена – Новые герои» авторства агентства «Маркетинг от Тимченко». В четырех тематических блоках компании, взявшие на себя ответственность за будущее российской промышленности, обсудили актуальные вопросы индустрии и предложили свои решения.

В первом блоке «От геологоразведки до ГОКа» генеральный партнер сессии – дистрибьютор тяжелой карьерной техники SANY Heavy Equipment – Группа ПИР («Партнерство, Инвестиции, Развитие») представила участникам линейку крупнотоннажной техники SANY во главе с новинкой – 220-тонным карьерным самосвалом SANY SET240S. Также был представлен комплексный подход к решению задач клиентов на всех этапах. Отдельное внимание было уделено новому транспортному подразделению – «ПИР-Логистик».

Стратегический партнер сессии – дилер горнодобывающего и горно-перерабатывающего оборудования «Инстройтехком» (ИСТК) представил возможности 14-тонной погрузочно-доставочной машины WJ6 завода SITON и дизельной самоходной

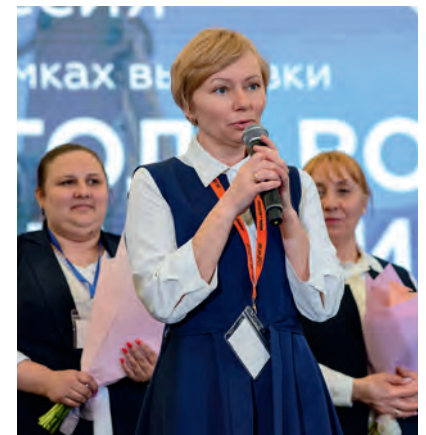
буровой установки КАМАСН КУ-250D. Кроме этого, участникам рассказали о предложениях сервисно-производственного центра ИСТК в Кемерове.

Технологический эксперт российского рынка в области буровзрывных работ и эволюционный партнер мероприятия – Группа ЭВОБЛАСТ продемонстрировала возможности электронных детонаторов для снижения экологической нагрузки от взрывных работ. Также участникам рассказали о курсе повышения квалификации специалистов «Безопасное и эффективное ведение взрывных работ» от нового подразделения ЭВОБЛАСТ Инжиниринг.

Логистический партнер и одна из крупнейших транспортных компаний GEFCO Россия представила решения транспортировки грузов для предприятий горнодобывающей отрасли. Старейший российский производитель промышленных взрывчатых веществ «Промсинтез» предложил новую линейку эмультивов.

Блок «По пути цифровой трансформации» прошел при поддержке горного форума «МАЙНЕКС Россия». Он начался с выступления разработчика программного обеспечения для





технологической подготовки производства ГК АДЕМ, который представил программное обеспечение для тяжелого машиностроения.

Представитель GEOSUPPORT рассказал о возможностях геотехнического мониторинга с помощью интерферометрических радаров. Разработчики сервиса Benzamat® представили цифровые инновации в сфере учета топлива. А технологию по применению искусственного интеллекта и компьютерного зрения на транспорте презентовала компания SKAI.

В секции «Безопасность. Охрана труда и окружающей среды» кемеровский научный центр ВостНИИ, который обеспечивает комплексное сопровождение горной отрасли, предложил меры борьбы с загрязнениями при угледобыче.

Четвертый блок «Кадры решают всё!» прошел при стратегическом партнерстве Университета МИСИС. Угольно-энергетическая компания СУЭК-Кузбасс презентовала зарекомендовавшие себя практики адаптации и удержания кадров на предприятиях. СибГИУ представил образовательную программу подготовки инженеров, ориентированную на реальные запросы

предприятий. Группа ЭВОБЛАСТ продемонстрировала корпоративную программу «Молодой специалист» по привлечению перспективных кадров и популяризации горного дела.

Завершил деловую программу сессии тематический блиц «Надежная профессия – успех на всю жизнь». Сотрудники горнодобывающих предприятий – с многолетним опытом и молодые специалисты – поделились личными историями успеха на пути к профессии.

Подводя итоги, Светлана Тимченко, генеральный директор агентства «Маркетинг от Тимченко», отметила, что на выставке «Уголь России и Майнинг» мероприятие собрало элиту горнодобывающей отрасли России.

Следующая интерактивная сессия «Новые времена – Новые герои» состоится уже 10 октября 2024 года в Москве, в рамках Горного форума «МАЙНЕКС Россия». Мероприятие пройдет под темой «От геологоразведки до ГОКа» и соберет различные продукты и решения, обеспечивающие бесперебойную работу горнодобывающих предприятий.

одна из главных выставок горной тематики в России

официальная  
поддержка:



Торгово-промышленная  
палата Российской  
Федерации

# Рудник. Урал

# The Mine. Ural



Правительство  
Свердловской области

## 23–25 октября 2024

## Екатеринбург



НП «Горнопромышленники  
России»

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

МВЦ «Екатеринбург-ЭКСПО»  
ЭКСПО-бульвар, дом 2  
(342) 264-64-14



**[mine.proexpo.ru](http://mine.proexpo.ru)**

16+

**PRO  
ЭХРО**



## ИЮЛЬ' 2024

### 08.07–11.07 ИННОПРОМ – 2024

Международная промышленная выставка  
Россия, Екатеринбург  
Тел: +7 (965) 262 7013  
e-mail: moskvitsova@innoprom.com  
www.expo.innoprom.com

## АВГУСТ' 2024

### 07.08–09.08 СИСЕМЕ-2024

Китайская Международная выставка горного оборудования  
Китай, Пекин  
Тел.: +86-10-88808892  
e-mail: chinatopexpo@gmail.com  
www.ciceme.com

## СЕНТЯБРЬ' 2024

### 09.09–11.09 CHINA MACHINERY FAIR MOSCOW – 2024

5-я Национальная китайская выставка машиностроения и инноваций  
Россия, Москва, ЦВК «Экспоцентр»  
Тел.: +7 (495) 649 87 75  
e-mail: julia.solovieva@gefera.ru  
www.chinamachineryfair.ru

### 09.09–13.09 ЦВЕТНЫЕ МЕТАЛЛЫ И МИНЕРАЛЫ – 2024

Международный Конгресс и Выставка  
Россия, Красноярск  
Тел.: +7 (391) 269-56-47  
e-mail: nfmsib@nfmsib.ru  
www.nfmsib.ru

### 17.09–19.09 MINING AND METALS CENTRAL ASIA-2024

29-я Центрально-Азиатская международная выставка «Горное оборудование, добыча и обогащение руд и минералов»  
Казахстан, Алматы  
Тел./факс: +7 (727) 258 3438  
e-mail: julia.palagutina@iteca.events  
www.mining-metals.kz

### 23.09–25.09 РУДНИК. УРАЛ-2024

Россия, Екатеринбург  
Тел.: +7 (342) 264 64 14  
e-mail: sheina@proexpo.ru  
https://mine.proexpo.ru

### 26.09–28.09 РОССИЙСКАЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ НЕДЕЛЯ-2024

Международный форум  
Россия, Москва  
Тел.: +7 (495) 640 5844  
e-mail: info@rusenergyweek.com  
www.rusenergyweek.com

## ОКТАБРЬ' 2024

### 07.10–09.10 MAURITANIDES-2024

7-й Африканский форум горнодобывающей промышленности, нефти и газа, возобновляемых источников энергии  
Мавритания  
Тел.: +65 9649 1062  
e-mail: daniel.radz@spire-events.com  
www.spire-events.com

### 09.10–11.10 MONGOLIA MINING-2024

13-я Международная выставка  
Монголия, Улан-Батор  
Тел.: +976 11344010  
e-mail: info@mongolia-mining.org  
www.mongolia-mining.mn

### 15.10–17.10 MINTECH-2024

Международная выставка оборудования и технологий горнодобывающей, металлургической и энергетической промышленности  
Казахстан, г. Актобе  
Тел./факс: +7 (727) 313 7628  
e-mail: kazexpo@kazexpo.kz  
www.kazexpo.kz

### 22.10–24.10 PCVEXPO – 2024

22-я Международная выставка «Насосы. Компрессоры. Арматура. Приводы и двигатели»  
Россия, Москва  
Тел.: +7 (499) 252 1107  
e-mail: pcvexpo@mvk.ru  
www.pcvexpo.ru

### 22.10–24.10 MININGMETALS UZBEKISTAN 2024

18-я Международная выставка «Горное дело, Металлургия и Металлообработка»  
Узбекистан, Ташкент  
Тел.: +98 71 205 18 18  
e-mail: mining@ite-uzbekistan.uz  
www.mining.uz

16+

Квалифицированные работы по  
техническому перевооружению  
предприятий горно-  
обоганительного комплекса.  
Модернизация технологических  
трубопроводов, комплексная  
поставка обоганительного  
оборудования, насосы, СПФ,  
НСО, МК. Защита оборудования  
от абразивного износа. Поставка  
промышленных изделий из  
износостойкого плавленого  
базальта. Оптимальные  
технологические решения.  
Монтаж, ПНР, ГО и ПГО.  
Собственное производство.

300911, г. Тула, пос. Комсомольский, ул.  
Станционная, д. 4.  
Телефоны: +7 (4872) 740-150;  
+7 910-943-23-07

652515, г. Ленинск-Кузнецкий, ул.  
Вокзальная, д. 3.  
Телефоны: +7 (38456) 49-241;  
+7 913-076-46-84

654033, г. Новокузнецк, ул. Эстакадная,  
д. 15, кор. 12.  
Телефон: +7 905-910-75-85

623103, г. Первоуральск, проспект Ильича,  
д. 9б, пом. 19.  
Телефоны: +7 (3439) 645-675;  
+7 965-543-22-54

344029, г. Ростов-на-Дону, проспект  
Сельмаш, д. 90а/176, оф. 1314.  
Телефоны: +7 (863) 275-04-19;  
+7 919-878-77-27

## ЭУТИТ-БАЗАЛЬТ

Техническое перевооружение  
промышленных предприятий с 2008 года

РЕКЛАМА 16+

# Посткоммутационное импульсное закорачивание фаз как фактор повышения безопасности эксплуатации шахтной участковой электрической сети напряжения 3,3 кВ

**К.Н. Маренич**, д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой «Горная электротехника и автоматика» Донецкого национального технического университета, г. Донецк, Российская Федерация

**С.А. Руссиян**, канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры высшей математики Донецкого национального технического университета, г. Донецк, Российская Федерация

**А.И. Денисова**, аспирант кафедры «Горная электротехника и автоматика» Донецкого национального технического университета, г. Донецк, Российская Федерация

## Введение

Одним из основных факторов, обуславливающих производимость уголедобывающего участка шахты, является мощность технологического оборудования. До последнего времени большинство механизированных комплексов высокопроизводительных участков угольных шахт рассчитывалось на работу при напряжении 1140 В. Однако решение задач повышения производительности, ресурса, уровня безаварийности рудничных технологических установок обуславливает необходимость увеличения мощности электроприводов горных машин, что, в свою очередь, предопределяет перевод шахтных участковых электрических сетей на

более высокий уровень номинального линейного напряжения 3,3 кВ [1, 2]. Но в этом случае существенно ухудшаются условия обеспечения безопасности эксплуатации шахтной участковой электрической сети при касании человеком фазного проводника, что обусловлено повышением тока в цепи утечки на землю и, соответственно, ростом скорости накопления количества электричества в цепи утечки (в теле человека). В свете этого критериям научной и практической актуальности отвечает задача анализа функциональных возможностей известных способов ограничения электропоражающего фактора применительно к шахтной участковой электрической сети напряжения 3,3 кВ и обоснования целе-

## Посткоммутационное импульсное закорачивание фаз как фактор повышения безопасности эксплуатации шахтной участковой электрической сети напряжения 3,3 кВ

**К.Н. Маренич**, д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой «Горная электротехника и автоматика» Донецкого национального технического университета, г. Донецк, Российская Федерация

**С.А. Руссиян**, канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры высшей математики Донецкого национального технического университета, г. Донецк, Российская Федерация

**А.И. Денисова**, аспирант кафедры «Горная электротехника и автоматика» Донецкого национального технического университета, г. Донецк, Российская Федерация; e-mail: denisova\_anastasi@mail.ru

**Аннотация:** Проанализирована эффективность замыкания поврежденной фазы сети на землю в контексте поиска путей повышения показателей электробезопасности эксплуатации шахтных участковых электросетей напряжения 3,3 кВ. В контексте обеспечения защиты человека от поражения электрическим током обоснована целесообразность и приведено техническое решение посткоммутационного импульсного закорачивания фаз в цепи действия обратных ЭДС асинхронных двигателей электропотребителей технологического участка шахты.

**Ключевые слова:** шахта, электросеть, утечка тока на землю, безопасность, поврежденная фаза, ЭДС выбега, напряжение, замыкание, моделирование, расчёт, схема

## Post-commutation pulse phase shorting as a factor in improving the safety of operation of a 3.3 kV mine site electric network

**K.N. Marenich**, Dr. Sci. (Eng.), Professor, Head of the Department of Mining Electrical Engineering and Automation, Donetsk National Technical University, Donetsk, Russian Federation

**S.A. Russijan**, Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor, Department of Higher Mathematics, Donetsk National Technical University

**A.I. Denisova**, Postgraduate Student, Department of Mining Electrical Engineering and Automation, Donetsk National Technical University, Donetsk, Russian Federation; e-mail: denisova\_anastasi@mail.ru

**Abstract:** The efficiency of ground short-circuiting the damaged phase of the network to the ground is analyzed in the context of finding ways to increase the electrical safety of mine site 3.3 kV power network operation. In the context of ensuring human protection from electric shock, the expediency is justified and a technical solution for post-commutation pulse phase short-circuiting in the reverse EMF circuit is provided for the asynchronous motors of the power consumers within a technological mine site.

**Keywords:** : mine, power network, electrical ground leakage, safety, damaged phase, run-out EMF, voltage, short circuiting, modeling, calculation, circuit

сообразности посткоммутационного импульсного закорачивания фаз на выходе силовых устройств коммутации электродвигателей шахтных технологических установок.

Анализ известных исследований и публикаций

Основные положения концепции защиты от утечек тока на землю отражены в исследованиях [3, 4, 5] и состоят в:

- выявлении факта возникновения цепи утечки тока на землю методом сравнения постоянного оперативного тока, подаваемого в сеть, с эталонным током во внутреннем контуре аппарата защиты;
- компенсации ёмкостной составляющей тока утечки регулируемым (автоматическая компенсация [6]) либо нерегулируемым (статическая компенсация) дросселем;
- выявлении и закорачивании на землю через сопротивление малой величины ( $R = 100 \text{ Ом}$ ) повреждённой фазы (фазы, к которой прикоснулся человек).

В исследовании [7] дан анализ факторов ограничения функции защиты человека от электропоражения в электрической сети участка шахты, из которого следует, что ёмкостная проводимость изоляции кабельной сети является наиболее значимым параметром в контексте формирования электропоражающего фактора. Однако компенсация ёмкостной составляющей тока утечки на землю применяемыми автокомпенсаторами реализуется не в полной мере из-за низкой добротности дросселей и наличия отклонений в точности настройки управляющих устройств. В связи с этим рекомендованными средствами ограничения количества электричества в теле человека (цепи утечки на землю) при касании к фазе сети линейного напряжения 1140 В являются частичная компенсация ёмкостного тока утечки статическими устройствами, а также выявление и закорачивание на землю повреждённой фазы.

Анализ работы устройств выявления повреждённой фазы, реагирующих на дисбаланс разностей потенциалов между фазами сети и землёй, выявил ограничение области их применения (электрические сети с ёмкостью изоляции не более 1.0 мкФ/фазу), что препятствует созданию шахтных участков электротехнических комплексов повышенной мощности (с протяжёнными кабелями больших сечений). В связи с этим в аппарате защиты АЗУР-4МК для электрических сетей линейного напряжения 1140 В реализован альтернативный способ выявления повреждённой фазы, основанный на измерении и сопоставлении фазовых соотношений токов и напряжений. Однако этот способ исключает применение индуктивных средств компенсации ёмкостных токов утечки на землю [5].

Рассматривая перспективы эксплуатации шахтных участков электрических сетей линейного напряжения 3,3 кВ, следует признать, что, с учётом величины этого напряжения, уместны все доступные способы ограничения тока, количества электричества в цепи утечки на землю. Поэтому концептуальное решение, составляющее основу проектируемого аппарата защиты АЗУР-5 (для сетей напряжения 3,3 кВ) предполагает применение как статического компенсатора ёмкостных токов утечки, так и определителей и короткозамыкателей на землю повреждённой фазы [1, 2]. В этом случае практический интерес представляет установление приемлемых продолжительностей реализации защитной функции. При этом следует также учесть формирование электропоражающего фактора обратными ЭДС асинхронных двигателей (АД) в режиме выбега (что не подавляется ни одним из известных средств защиты от утечек тока на землю). Действие этих ЭДС выбега АД будет продолжаться после срабатывания защиты от утечек тока на землю и

разъединения контактных групп силовых коммутационных аппаратов (т.к. при таком разъединении прекращается защитная функция короткозамыкателя повреждённой фазы) [8]. Альтернативным техническим решением в этом случае может быть посткоммутационное закорачивание фаз на выходе силовых коммутационных аппаратов.

## Результаты и обсуждение

Процессы в электрической сети участка шахты при линейном напряжении 3.3 кВ, обусловленные возникновением однофазной утечки ( $R_{\text{ут}} = 1,0 \text{ кОм}$ ) на землю, сопровождающиеся действием средств защитного отключения, в т.ч. при наличии/отсутствии эффекта закорачивания на землю повреждённой фазы, могут быть рассмотрены на примере исследования компьютерной модели, где в качестве исходных данных и принятых допущений принято следующее:

- тип участковой комплектной трансформаторной подстанции (КТП) – ВСТП-КРУ-1000-6/3,3 ( $S_H = 1000 \text{ кВА}$ ;  $U_{1H} = 6 \text{ кВ}$ ;  $U_{2H} = 3,3 \text{ кВ}$ ; Y/Y-0);
- количество силовых присоединений – 2;
- потребитель первого присоединения – асинхронный двигатель 1МА4350-2СН30 ( $U_H = 3,3 \text{ кВ}$ ,  $P_H = 315 \text{ кВт}$ );
- потребитель второго присоединения – асинхронный двигатель 1МА4354-2СН30 ( $U_H = 3,3 \text{ кВ}$ ,  $P_H = 400 \text{ кВт}$ ) [9];
- параметры дросселя статической компенсации ёмкости изоляции сети: активное сопротивление  $R_K = 146 \text{ Ом}$ ; индуктивность  $L_K = 6 \text{ Гн}$ .

Активные сопротивления  $R$  и ёмкости  $C$  изоляции кабелей:

- магистрального (от КТП до пускателей):  $R_0 = 0,5 \text{ МОм/фазу}$ ;  $C_0 = 0,3 \text{ мкФ/фазу}$ ;
- гибкого кабеля 1-го присоединения:  $R_1 = 0,5 \text{ МОм/фазу}$ ,  $C_1 = 0,3 \text{ мкФ/фазу}$ ;
- гибкого кабеля 2-го присоединения:  $R_2 = 0,5 \text{ МОм/фазу}$ ,  $C_2 = 0,2 \text{ мкФ/фазу}$ .

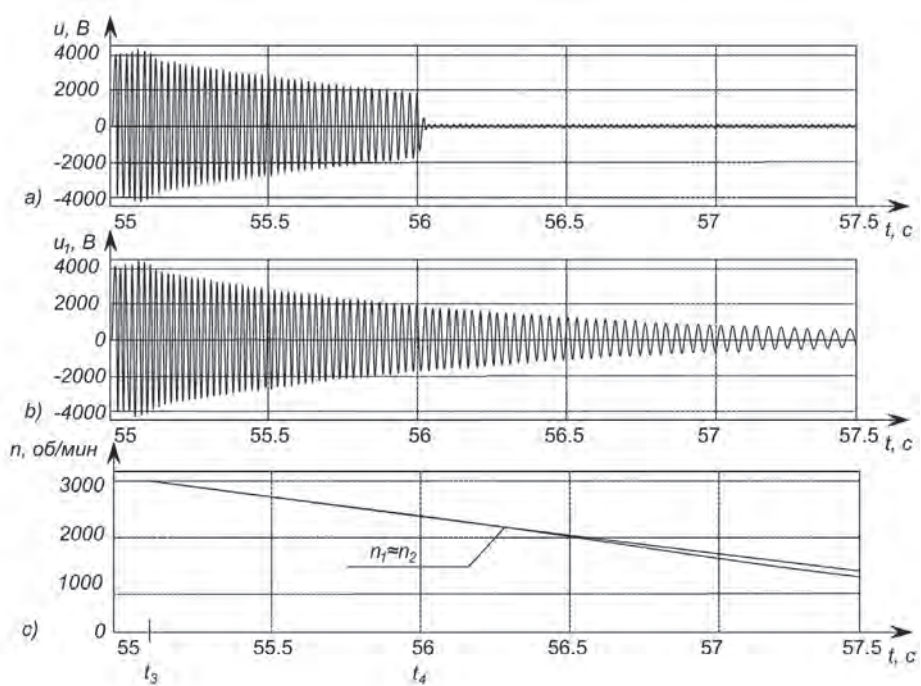
В структуре модели компенсирующий дроссель, входящий в схему аппарата защиты от утечек тока на землю (АЗ), присоединён между нулевой точкой (соединения в «звезду») трёхфазной вторичной обмотки трансформатора КТП и цепью заземления. При этом схема АЗ содержит также блок выявления и замыкания на землю повреждённой фазы (фазы, в которой возникла цепь утечки тока на землю).

В ходе исследования фиксируются напряжения на выходе КТП и в месте возникновения утечки тока на землю; величины частот вращения роторов 1-го и 2-го электродвигателей; количество электричества  $q$ , прошедшего через сопротивление цепи, утечки и величина тока в этой цепи.

Алгоритм моделирования состоит в следующем:

- шаг 1: электрическая сеть функционирует в нормальном режиме до возникновения цепи утечки тока на землю в момент  $t_1$ ;
- шаг 2: электрическая сеть функционирует при наличии однофазной утечки на землю ( $R_{\text{ут}} = 1,0 \text{ кОм}$ ) на интервале времени  $t_1 \leq \Delta t_1 \leq t_2$ , в течение которого аппаратными средствами производится выявление состояния утечки и формирование команды на отработку защитной функции;
- шаг 3: в момент  $t_2$  – закорачивание на землю повреждённой фазы;
- шаг 4: в момент  $t_3$  – отключение коммутационного аппарата КТП;
- шаг 5: в момент  $t_4$  в сети отключаются коммутационные аппараты 6 и 7 силовых присоединений вследствие снижения напряжения на обмотках их электромагнитных исполнительных устройств.

**Рис. 1** Диаграммы мгновенных значений линейного напряжения на выходе участковой трансформаторной подстанции (а), линейного напряжения в месте возникновения цепи утечки тока на землю (b) и частот вращения роторов двигателей (с)



Результаты моделирования представлены диаграммами изменения физических параметров объекта исследования, которые позволяют оценить эффективность замыкания повреждённой фазы на землю. Напряжение  $u$  на выходе КТП до момента  $t_3$  защитного отключения её коммутационного аппарата представляет собой синусоиду с установившейся амплитудой (рис. 1, а), а после этого момента – поддерживается обратными ЭДС группового выбега асинхронных двигателей присоединений (рис. 1, b), амплитуда и частота которых снижаются во времени экспоненциально с постоянной времени, определяемой соотношением индуктивностей и активных сопротивлений обмоток последних [8]. Частота вращения роторов двигателей уменьшается по близкому к линейному закону (рис. 1, с). В момент  $t_4$  отключаются КА присоединений (вследствие снижения напряжения на обмотках электромагнитных исполнительных устройств коммутации), что обеспечивает отделение выходных цепей силового трансформатора КТП от АД.

В случае отсутствия функции закорачивания на землю повреждённой фазы сети ток утечки на интервале  $t_1 - t_3$  поддерживается напряжением сети, на интервале  $t_3 - t_4$  – ЭДС группового выбега асинхронных двигателей, а после момента  $t_4$  – ЭДС выбега двигателя аварийного присоединения №2 (рис. 2, а). Ёмкостная составляющая тока утечки на землю уменьшается компенсатором до момента  $t_4$ , а после отключения КА аварийного присоединения компенсатор не влияет на состояние цепи утечки тока на землю. Количество электричества, прошедшего через сопротивление цепи утечки тока на землю за время аварийного процесса при отсутствии замыкания повреждённой фазы на землю, составляет около 500 мА·с (рис. 2, с, кривая 1), что существенно превышает предельно допустимый уровень  $q = 50$  мА·с [10].

Закорачивание повреждённой фазы сети на землю в момент  $t_2$  позволяет снизить до нуля ток через сопротивление цепи утечки (рис. 2, b). Однако защитное действие короткозамыкателя ограничено нахождением КА во включенном состоянии, т.е., интервалом  $t_2 - t_4$ . После момента  $t_4$  короткозамыкатель не влияет на состояние цепи утечки тока на землю, поскольку электрически отделяется от неё, и ток в цепи утечки на землю поддерживается ЭДС выбега соответствующего двигателя. На интервале  $t_2 - t_4$  кривая накопления количества электричества в цепи сопротивления утечки остаётся установившейся (рис. 2, с, кривая 2). Совокупное количество электричества через сопротивление цепи утечки составляет 120 мА·с, что недостаточно для обеспечения электробезопасности.

Для улучшения параметров электробезопасности представляется целесообразным принудительно удерживать коммутационные аппараты силовых присоединений во включенном состоянии на протяжении времени затухания ЭДС асинхронных двигателей. В этом случае ток через цепь утечки протекает только в течение интервала  $t_1 - t_2$ . Короткозамыкатель эффективно снижал бы ток в цепи утечки после момента  $t_2$  до затухания ЭДС двигателя соответствующего присоединения. Общее количество электричества через цепь сопротивления утечки в этом случае применительно к параметрам электромеханического комплекса, принятым при моделировании, составляет около 25 мА·с (рис. 2, с, кривая 3), что соответствует требованиям электробезопасности эксплуатации участковых электросетей [10].

Оценку эффективности защитного закорачивания на землю повреждённой фазы сети напряжения 3,3 кВ возможно выполнить по однофазной схеме замещения (рис. 3, а), где приняты следующие обозначения:  $e_1$  – источник ЭДС, соответствующий фазному напряжению вторичной обмотки участкового силового трансформатора;  $e_2$  – фазная ЭДС вращения асинхронного двигателя (№2) аварийного присоединения;  $R_b$  – сопротивление цепи утечки тока на землю;  $C_1, R_1$  – ёмкость и активное сопротивление фаз кабеля аварийного присоединения;  $C_0, R_0$  – то же для общей части сети и кабелей других присоединений;  $R_k, L_k$  – активное сопротивление и индуктивность компенсирующего дросселя. На интервале  $t_1 < t < t_2$  (от возникновения утечки тока на землю до защитного замыкания на землю повреждённой фазы сети) ток утечки рассчитывается в соответствии с зависимостью (рис. 3, b):

$$i_1 = [e(t) - u_1] / R_b, \tag{1}$$

где  $e(t)$  – фазное напряжение сети в месте возникновения утечки (между узлами 1 и 3 схемы замещения);  $u_1$  – напряжение между узлами 2 и 3, которое вычисляется путём решения системы дифференциальных уравнений:

$$\begin{cases} du_1 / dt = [(e(t) - u_1) / R_a - u_1(R_0 + R_1) / R_0 R_1 - i_6] / (C_0 + C_1), \\ di_6 / dt = (u_1 - R_k i_6) / L_k, \end{cases} \tag{2}$$

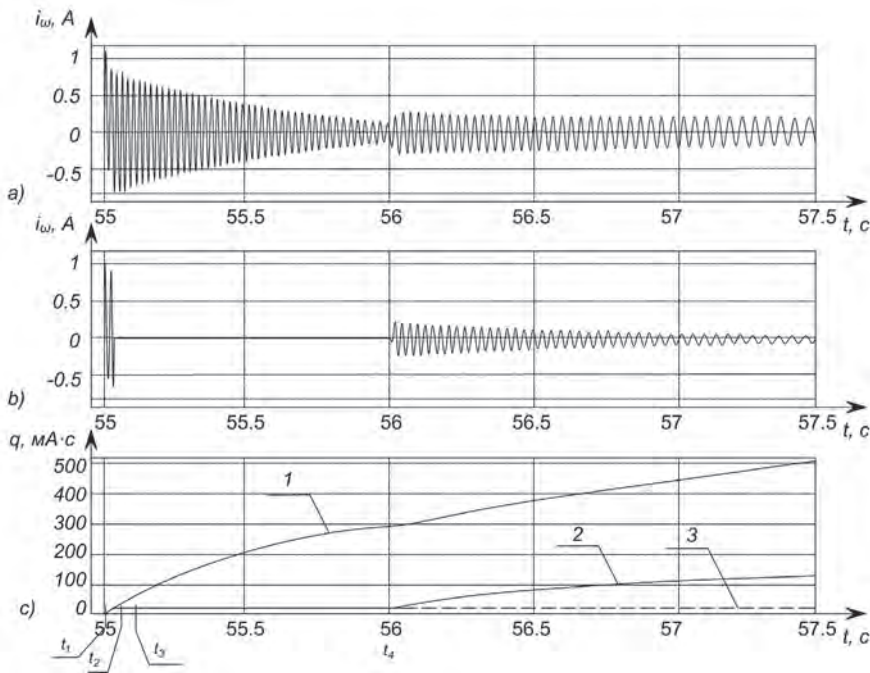


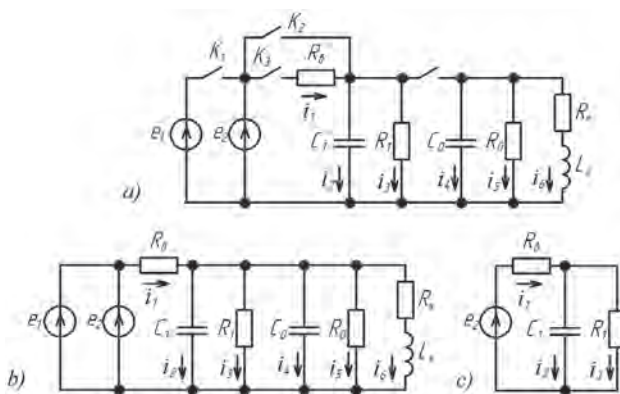
Рис. 2 Диаграммы тока утечки ( $i_1$ ) на землю при отсутствии (а) и наличии (б) закорачивания повреждённой фазы сети на землю; диаграммы накопления количества электричества ( $q$ ) в цепи сопротивления утечки на землю (с) при отсутствии закорачивания повреждённой фазы сети на землю (кривая 1), при её закорачивании на землю: в момент  $t_4$  коммутационный аппарат присоединения отключается (кривая 2); не отключается (кривая 3)

На интервале  $t_2 < t < t_4$  сопротивление цепи утечки зашунтировано короткозамыкателем, и ток в цепи утечки на землю равен нулю. После момента  $t_4$  отключения контактора пускателя ток в цепи утечки на землю определяется в соответствии с зависимостью:

$$i_1 = (e_2 - u_1) / R_6, \tag{3}$$

где напряжение определяется путём вычисления дифференциального уравнения:

$$du_1 / dt = (i_1 - u_1 / R_1) / C_1. \tag{4}$$



Временной интервал	Состояния ключей			
	$K_1$	$K_2$	$K_3$	$K_4$
$t < t_1$	1	1	0	1
$t_1 < t < t_2$	1	0	1	1
$t_2 < t < t_3$	1	1	1	1
$t_3 < t < t_4$	0	1	1	1
$t > t_4$	0	0	1	0

Рис. 3 Схемы замещения сети: а – универсальная для всех этапов аварийного процесса; б – в момент возникновения утечки тока на землю; с – после отключения контактора присоединения с целью утечки тока на землю

Однако для технической реализации поддержания электрического контакта короткозамыкателя повреждённой фазы с точкой возникновения утечки тока на землю должны быть решены следующие проблемные вопросы:

- в случае отключения коммутационного аппарата КТП велика вероятность отключения группового автоматического выключателя распределительного пункта технологического участка от срабатывания его нулевого расцепителя;
- принимая во внимание, что коммутационными аппаратами силовых присоединений являются магнитные пускатели, следует учесть значительный диапазон токов отпущения их контакторов, что исключает использование обратных ЭДС асинхронных двигателей потребителей в качестве напряжения питания контакторов на временном интервале после момента  $t_4$  и обуславливает необходимость применения дополнительного аккумуляторного источника питания и системы управления состоянием контактора (на интервале отключения).

Альтернативным техническим решением является применение посткоммутационного импульсного закорачива-

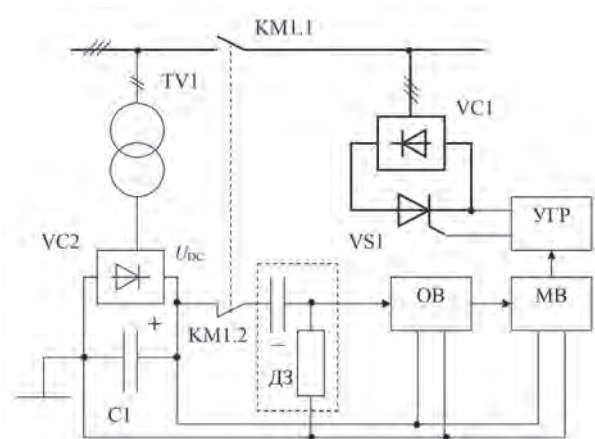


Рис. 4 Схема устройства посткоммутационного импульсного закорачивания фаз силового присоединения электрической сети участка шахты

ния фаз на выходе коммутационного аппарата. Устройство, реализующее этот способ (рис. 4), содержит мостовой выпрямитель  $VS1$  на выходе силовой цепи контактора  $KM1.1$  пускателя, нагруженный тиристором  $VS1$ . Управление последним осуществляется по цепи: дифференцирующее звено (ДЗ)  $\rightarrow$  мультивибратор (ОВ)  $\rightarrow$  мультивибратор (МВ)  $\rightarrow$  узел гальванической развязки (УГР). Со стороны силового ввода контактора  $KM1.1$  предусмотрен трансформатор  $TV1$  с выпрямителем  $VC2$  и электролитическим конденсатором большой ёмкости  $C1$  для формирования напряжения  $U_{DC}$  постоянного тока, подаваемого на вход ДЗ через слаботочный размыкаемый контакт  $KM1.2$  контактора пускателя, а также служащего для электропитания функциональных узлов ОВ, МВ и УГР на интервале защитного отключения контактора  $KM1.1$ .

При включении контактора его контакт  $KM1.2$  разомкнут и управляющее воздействие на тиристор  $VS1$  не осуществляется. При возникновении цепи утечки тока на землю отключается силовой коммутационный аппарат КТП. В этом случае при отключении контактора ( $KM1.1$ ) электролитический конденсатор  $C1$  большой ёмкости поддерживает некоторое время формирование напряжения  $U_{DC}$  постоянного тока. Контакт  $KM1.2$  контактора замыкается, подавая напряжение  $U_{DC}$  на вход дифференцирующего звена (ДЗ). С выхода последнего короткий импульс напряжения, соответствующий началу процесса отключения контактора  $KM1.1$ , поступает на вход мультивибратора, на выходе которого формируется импульс напряжения ограниченной фиксированной продолжительности  $\Delta t_{\text{н}}$ , что приводит к формированию на выходе мультивибратора (на интервале  $\Delta t_{\text{н}}$ ) пакета импульсов высокой частоты. Узел УГР осуществляет передачу последних на цепь управления тиристора  $VS1$  и гальваническую развязку между устройством управления тиристором  $VS1$  и

силовыми цепями пускателя. При этом тиристор  $VS1$  отпирается, что приводит к посткоммутационному импульсному (кратковременному) закорачиванию фаз в цепи действия обратных ЭДС АД и обесточиванию цепи утечки тока на землю в присоединении между пускателем и асинхронным двигателем. Процесс протекает до полного подавления этих ЭДС.

Актуальность применения данного устройства распространяется также на процесс отключения пускателя техническими средствами защит от аварийных (опасных) состояний.

## Выводы

Выявление и закорачивание на землю повреждённой фазы шахтной участковой электрической сети номинального линейного напряжения 3,3 кВ позволяет снизить величину количества электричества в теле человека в случае его прикосновения к фазному проводнику. Однако защитная функция имеет ограниченную продолжительность и прекращается после отключения силового коммутационного аппарата участковой комплектной трансформаторной подстанции. При этом не устраняется электропоражающий фактор, обусловленный действием обратных ЭДС асинхронных двигателей потребителей.

Эффективность защитной функции может быть повышена на основе посткоммутационного импульсного закорачивания фаз в цепи действия обратных ЭДС асинхронного двигателя электропотребителя. Техническая реализация данного способа адаптируется со схемой шахтного магнитного пускателя.

## Список литературы

1. Дзюбан В.С. Требования к взрывозащищенному электрооборудованию и системам электроснабжения горных машин на напряжение 3(3,3) кВ / В.С. Дзюбан, Н.М. Басов // Взрывозащищенное электрооборудование: сб. науч. трудов УкрНИИВЭ.– Донецк: ООО «Юго-Восток, Лтд», 2009. – С. 209-213.
2. Требования к изготовлению рудничного взрывозащищенного электрооборудования на напряжение 3(3,3) кВ. – Макеевка: МакНИИ, 2007. – 30 с.
3. Дзюбан В.С. Аппараты защиты от токов утечки в шахтных электрических сетях / В.С. Дзюбан. – М.: Недра, 1982. – 152 с.
4. Вареник Є.О. Обмеження та захист від витоків струму у рудничних електроустановках напругою 1200 В: дис. ... канд. техн. наук: 05.09.03 / Вареник Євген Олександрович. – Днепропетровск, 2004. – 191 с.
5. Савицкий А.В. Новая серия микроконтроллерных аппаратов защиты от токов утечки на землю в шахтных распределительных сетях на напряжении до 1200 В / А.В. Савицкий // Наукові праці ДонНТУ. Серія «Електротехніка та електроенергетика» № 2(15)'2013. – Донецк. ДонНТУ. – С. 211-216.
6. А.с. 1229897 СССР, МПК H02H9/08 Устройство автоматической компенсации ёмкостного тока утечки / В.С. Прудников, В.Ф. Костин, Ю.И. Слепцов (СССР). – № 3779860/24-07; заявл. 14.08.1984; опубл. 07.05.1986, Бюл. 17.
7. Маренич К.Н. Анализ факторов ограничения функции защиты человека от электропоражения в электрической сети участка шахты / К.Н. Маренич, А.И. Денисова // Горная промышленность, №4, 2023. – С. 54 - 58.
8. Маренич К.Н. Теоретические основы и принципы применения защитного обесточивания рудничных электротехнических комплексов: монография / К.Н. Маренич. – Москва; Вологда: Инфра-Инженерия, 2021. – 240 с.: ил., табл.
9. Three-phase Induction Motors / Catalog D84.1-2009. – Siemens AG, 2009. – 364 p.
10. Аппараты защиты от токов утечки рудничные для сетей напряжением 1200 В. Общие технические условия: ГОСТ 22929-78. С изменениями согласно ИУС 11-80, 7-81Ю 11-83. Соответствует СТ СЭВ 2309-80 – [Вступил в силу 01.01.79]. – М.: Издательство стандартов, 1978. – 13 с.

# Сравнительный прочностной анализ алмазных сегментов канатных камнерезных станков

**А.А. Пецык**, аспирант кафедры горного оборудования, транспорта и машиностроения,  
**М.В. Секретов**, канд. техн. наук, доцент кафедры горного оборудования, транспорта и машиностроения,  
**С.Г. Губанов**, канд. техн. наук, доцент кафедры горного оборудования, транспорта и машиностроения

## Введение

В современной индустрии обработки материалов канатные камнерезные станки с алмазными сегментами играют важнейшую роль в повышении производительности и обеспечении качественного реза. Однако сложность выбора подходящих алмазных сегментов для этих станков, несомненно, требует глубокого понимания их прочностных свойств. В данной статье мы предпринимает попытку провести сравнительный анализ прочности алмазных сегментов, освещая разнообразные аспекты их конструкции, использованных материалов и технологических процессов [1–8]. Путем анализа таких важных факторов, как износо-

стойкость, стойкость к разрушению и эффективность резания, мы стараемся выделить ключевые особенности и преимущества различных типов алмазных сегментов, призванные помочь специалистам в принятии осознанных решений при выборе оборудования для своих производственных потребностей.

Выбор подходящей расчетной схемы в прочностном анализе алмазных сегментов канатных камнерезных станков имеет решающее значение для достоверности полученных результатов и правильного понимания поведения материала в процессе эксплуатации. Важно учитывать особенности работы оборудования, его конструкцию, условия нагрузок

## Сравнительный прочностной анализ алмазных сегментов канатных камнерезных станков

**А.А. Пецык**, аспирант кафедры горного оборудования, транспорта и машиностроения;  
<https://orcid.org/0000-0002-0289-1850>, [petsyk.aa@misis.ru](mailto:petsyk.aa@misis.ru)  
**М.В. Секретов**, канд. техн. наук, доцент кафедры горного оборудования, транспорта и машиностроения;  
<https://orcid.org/0000-0003-1356-4545>, [mv.sekretov@misis.ru](mailto:mv.sekretov@misis.ru)  
**С.Г. Губанов**, канд. техн. наук, доцент кафедры горного оборудования, транспорта и машиностроения;  
<https://orcid.org/0000-0002-0478-9032>, [sg.gubanov@misis.ru](mailto:sg.gubanov@misis.ru)  
Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС», г. Москва, Российская Федерация

**Аннотация:** В статье рассмотрены различные формы алмазных сегментов камнерезных станков. Целью исследования являются способы повышения устойчивости к истиранию алмазных сегментов, снижение вибрационной нагрузки и повышение эффективности распиловки. Проанализированы условия, в которых работают камнерезные станки, а также способы повышения работоспособности алмазных сегментов за счёт изменения формы. Проведён расчёт нагрузок, возникающих при работе алмазных сегментов, результаты подтверждены на экспериментальной установке. Рассмотрена исходная форма и обнаружены напряжения, превышающие параметры материала. С целью снижения напряжения смоделирован алмазный сегмент со скруглёнными краями. Также рассмотрены сегменты со скошенными краями и конической формы. По результатам эксперимента получено, что одной из перспективных форм является форма со скруглёнными краями.

**Ключевые слова:** алмазные сегменты, канатный камнерезный станок, распиловка камня, канатные пилы, истирание, максимальные напряжения, прочностной анализ

## A comparative strength analysis of diamond cable segments for stone cutting machines

**A.A. Petsyk**, post-graduate student, Department of Mining Equipment, Transportation and Mechanical Engineering;  
<https://orcid.org/0000-0002-0289-1850>, [petsyk.aa@misis.ru](mailto:petsyk.aa@misis.ru)  
**M.V. Sekretov**, Cand. Sci. (Eng.), Ass.Prof., Department of Mining Equipment, Transportation and Mechanical Engineering;  
<https://orcid.org/0000-0003-1356-4545>, [mv.sekretov@misis.ru](mailto:mv.sekretov@misis.ru)  
**S.G. Gubanov**, Cand. Sci. (Eng.), Ass.Prof., Department of Mining Equipment, Transportation and Mechanical Engineering;  
<https://orcid.org/0000-0002-0478-9032>, [sg.gubanov@misis.ru](mailto:sg.gubanov@misis.ru)  
National University of Science and Technology MISIS, Moscow, Russian Federation

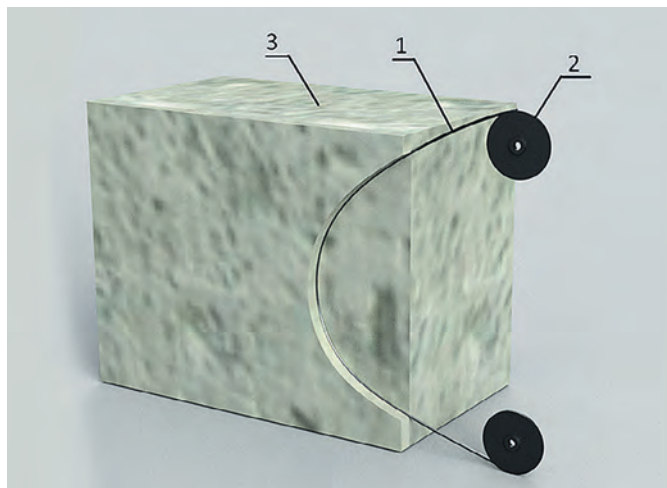
**Abstract:** The paper discusses the different shapes of diamond segments for stone cutting machines. The purpose of this research is to find ways to improve the abrasion resistance of the diamond segments, reduce the vibration load and increase the cutting efficiency. The operating conditions of stone-cutting machines are analysed, as well as the ways of increasing the efficiency of diamond segments by changing their shape. A calculation of the loads arising during operation of the diamond segments is made, and the results are verified using an experimental setup. The initial shape is analysed and the stresses that exceed the material parameters are found. In order to reduce the stresses, a diamond segment with rounded edges is simulated. Segments with bevelled edges and conical shape are also considered. Based on the experimental results, it is found that one of the promising shapes is that with rounded edges.

**Keywords:** diamond segments, cable stone cutting machine, stone cutting, cable saws, abrasion, maximum stresses, strength analysis

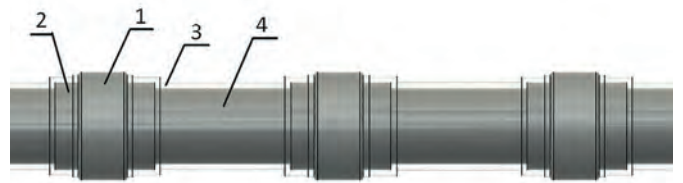
и другие факторы, которые могут оказать влияние на деформации и напряжения в сегментах [10–13]. Например, в случае канатных камерезных станков, где основная нагрузка приходится на кромку алмазного сегмента, важно выбрать расчетную схему, которая адекватно учитывает этот факт. Метод конечных элементов позволяет моделировать сложные геометрии и условия нагрузок, что позволяет более точно предсказать поведение материала. Правильный выбор расчетной схемы влияет на качество анализа, точность прогнозирования поведения материала в процессе эксплуатации и, как следствие, помогает оптимизировать конструкцию алмазных сегментов для повышения их производительности и долговечности [9, 14–16].

**Разработка расчётной схемы для проведения анализа**

Для проведения сравнительного анализа создаём цифровую модель системы «алмазная канатная пила карьерной распиловочной машины – распиливаемый монолит».



**Рис. 1. Модель системы «алмазная канатная пила карьерной распиловочной машины – распиливаемый монолит»:**  
 1 – пила; 2 – направляющий шкив; 3 – распиливаемый блок



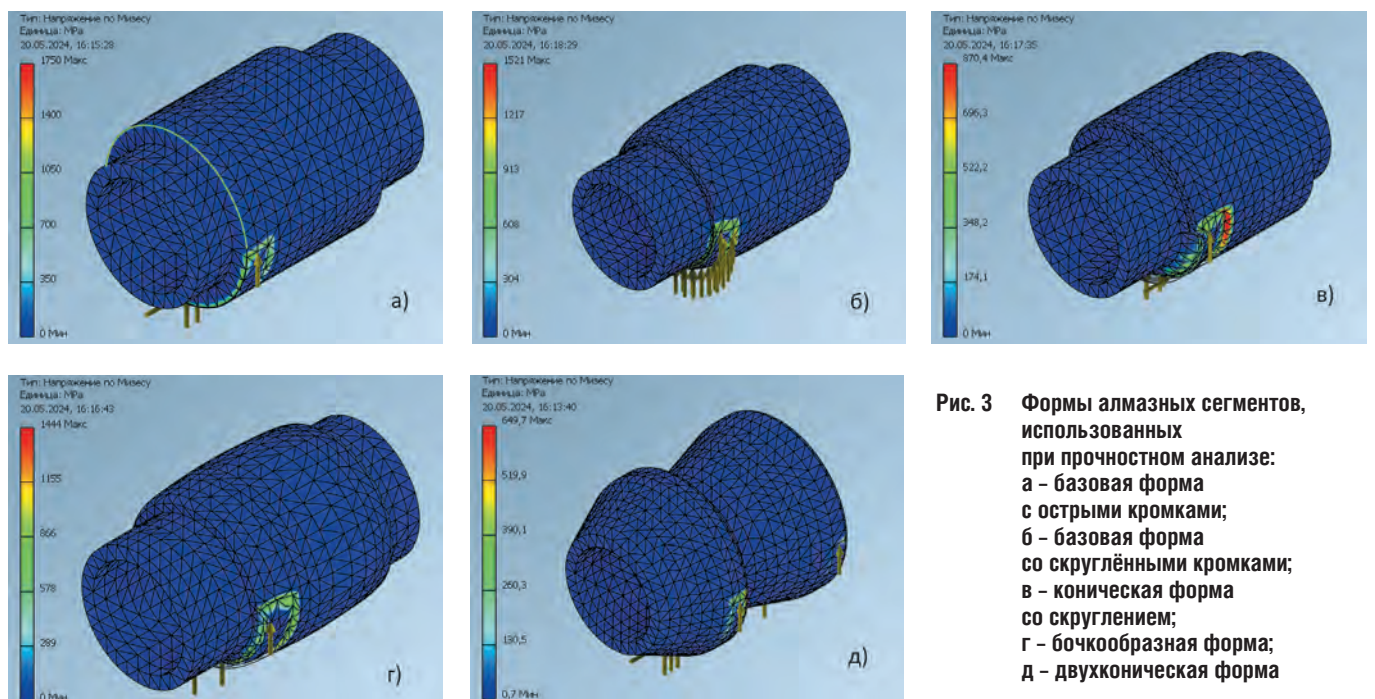
**Рис. 2 Модель алмазной канатной пилы:**  
 1 – алмазный слой;  
 2 – втулка;  
 3 – промежуточная вставка;  
 4 – витой канат

Создание цифровой модели позволяет провести симуляцию с исходными данными по натяжению каната, направленную на получение данных о нагрузках, возникающих в алмазных сегментах [17, 18].

Для расчётов также необходимо смоделировать канатную пилу. При моделировании были использованы данные о физико-механических свойствах алмазного покрытия, структуре и типе каната и материале несущих элементов.

**Прочностной анализ различных форм алмазных сегментов**

При проведении прочностного анализа методом конечных элементов была составлена расчётная схема, в которой одна сила прикладывается к ребру модели перпендикулярно поверхности реза, а вторая – вдоль поверхности алмазного сегмента. Такая схема расчётов имеет важное значение при проведении прочностного анализа, так как при резке камня на кромке возникают значительные усилия, в связи с тем что она непосредственно внедряется в распиливаемый блок [12, 18]. Для проведения прочностного анализа были выбраны следующие формы: базовая с острыми кромками, скруглённые кромки, конусная, бочкообразная, двухконическая.



**Рис. 3 Формы алмазных сегментов, использованных при прочностном анализе:**  
 а – базовая форма с острыми кромками;  
 б – базовая форма со скруглёнными кромками;  
 в – коническая форма со скруглением;  
 г – бочкообразная форма;  
 д – двухконическая форма

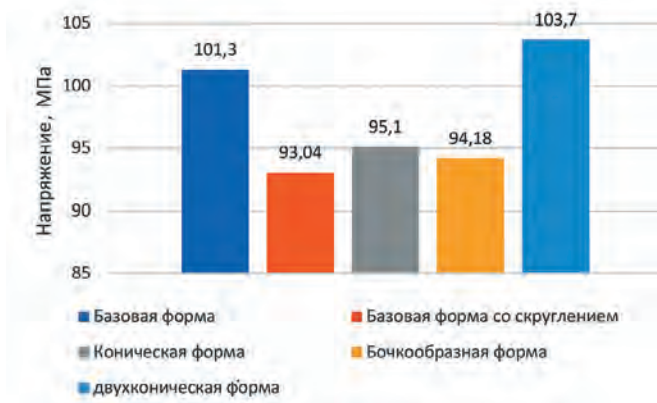


Рис. 4 Диаграмма напряжений в алмазном

По результатам эксперимента были определены максимальные значения напряжения для каждого элемента: базовая форма с острыми кромками – 101,3 МПа, базовая форма со скруглёнными кромками – 93,04 МПа, коническая форма со скруглением – 95,1 МПа, бочкообразная форма – 94,18 МПа, двухконическая форма – 103,7 МПа.

### Список литературы

1. Секретов М.В. Определение нагрузки на алмазно-канатную пилу камнераспиловочного оборудования / М.В. Секретов, М.Г. Рахутин // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 2024. – №1. – С. 133–142. – DOI 10.15372/FTPRPI20240114. – EDN WGBMRQ.
2. Павлов Ю.А., Светляков А.В., Моторный Н.И. Индустрия декоративного камня: мировой уровень и перспективы развития в России // ГИАБ. – 2022. – №1. – С. 162–178. EDN: BEZQCE.
3. Dassanayake A., Samarakoon A.U., Chaminda S.P., Jayawardena C.L., Kondage Y.S., and Kannangara T.T. A review on dimension stone extraction methods, Preprints, 2023. – 16 p.
4. Pershin G.D., Karaulov N.G., and Ulyakov M.S. Selection of high-strength dimension stone cutting method, considering natural jointing, J. Min. Sci., 2015, Vol. 51, No.1. – P. 129–137. EDN: UZTJDD
5. Першин Г.Д., Караулов Г.А., Караулов Г.А. Добыча блоков мрамора алмазно-канатными пилами. – Магнитогорск: МГТУ им. Г.И. Носова, 2003. – 103 с. EDN: QMXRMJ.
6. Соловьев С.В., Кузиев Д.А. Исследование жесткостных параметров привода тягового механизма драглайна ЭШ-10/70//М.: Уголь. – 2017. – №1. – С. 37–38.
7. Кузиев Д.А., Пятова И.Ю., Клементьева И.Н., Пихторинский Д. Алгоритм определения максимальной мощности привода подачи карьерного бурового станка // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2019. – №1. – С. 128–133. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-01-0-128-133.
8. Клементьева И.Н., Кузиев Д.А. Современное состояние и перспективы развития конструкций карьерных комбайнов для безвзрывной послойной выемки прочных пород // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2019. – №2. – С. 123–128. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-02-0-123-128.
9. Rasti A., Adarmanabadi H. R., and Sahlabadi M. R. Effects of controllable and uncontrollable parameters on diamond wire cutting performance using statistical analysis: a case study, Rudarsko-geološko naftni zbornik, 2021, Vol. 36, No.4. – P. 21–32.
10. Konstany J. The mechanics of sawing granite with diamond wire, Int. J. Advanced Manufacturing Technol., 2021, Vol. 116. – P. 2591–2597.
11. Wu H. Wire sawing technology: a state-of-the-art review, Precision Eng., 2015. – P. 1–9.
12. Gomes D., Araujo A., Marques R., Patricio J., Lopez V., and Santos R. M. Damage and failure evaluation of diamond wire for multi-wire sawing of hard stone blocks through modelling and numerical simulation, MATEC Web Conf., 2021, Vol. 349. – P. 04001.
13. Wang L.-L., Pei Y.-C., Zhang H., Wang B., Liu Q.-J., Wang D.-X., Wang B.-H., and Sui W.-C. An improved normal sawing force model with spherical abrasive particles for ultrasonic assisted inner diameter sawing, Preprint, 2022, Vol. 24. – P. 1–24. EDN: VLDPUU
14. Картавый Н.Г., Сычев Ю.И., Волуев И.В. Оборудование для производства облицовочных материалов из природного камня. – М.: Машиностроение, 1988. – 240 с.
15. Liang H., Feng J., Liu J., Zhang S., and Mao G. Analysis of adaptive adjustment mechanism for diamond beaded rope of wire saw, Sci. Advanced Materials, 2022, Vol. 14, No.11. – P. 1756–1769.
16. Ahn S.K. Framework for investigating wire saw rock cutting, Int. J. Mach. Tools and Manufacture, Vol. 155. – 103581.
17. Губанов С.Г. Анализ динамических нагрузок в приводе вертикальной подачи штрипсового станка / С.Г. Губанов, В.В. Секретов, М.В. Секретов // Горное оборудование и электромеханика. – 2014. – №3(100). – С. 32–36. – EDN RYECEx.
18. Губанов С.Г. Выбор рациональных форм зубьев рабочего инструмента бурильных машин ударного действия / С.Г. Губанов, М.В. Секретов // Велес. – 2019. – №4(70). – С. 73–80. – EDN ZTISZV.

Согласно результатам проведенного прочностного анализа можно сделать вывод, что наиболее подходящей формой алмазных сегментов для применения при распиловке камня является форма со скруглёнными кромками.

### Заключение

В ходе проведенного исследования был выполнен сравнительный анализ прочности алмазных сегментов канатных камнерезных станков, позволяющий оценить их эффективность и потенциальное применение в различных условиях работы. Использование цифровой модели и метода конечных элементов позволило получить данные о нагрузках, возникающих в алмазных сегментах в процессе распиливания материала. В результате эксперимента были выявлены максимальные значения напряжений для различных форм алмазных сегментов [15, 16]. Дальнейшие исследования в этой области могут сосредоточиться на оптимизации конструкции алмазных сегментов для повышения их прочности и долговечности при различных режимах резания.

# Проектирование современных российских дробильно-перегрузочных установок для комплексов циклично-поточной технологии

Р.И. Исмагилов<sup>1</sup>, А.Г. Журавлев<sup>2</sup>✉, В.О. Фурин<sup>3</sup>

<sup>1</sup> ООО УК «Металлоинвест», г. Москва, Российская Федерация

<sup>2</sup> Институт горного дела Уральского отделения Российской академии наук, г. Екатеринбург, Российская Федерация

<sup>3</sup> ПАО «Уралмашзавод», г. Екатеринбург, Российская Федерация

✉ juravlev@igduran.ru

**Резюме:** В статье приведены данные о методических аспектах проектирования полустационарных и передвижных дробильно-перегрузочных установок (ДПУ), выполненного специалистами ПАО «Уралмашзавод» и ИГД УрО РАН в интересах российской компании «Металлоинвест» при создании российских «ДПУ-7200». Результатом выполненных НИОКР стало изготовление и монтаж ДПУ на горнодобывающем предприятии в составе дробильно-конвейерного комплекса (ДКК), применение которого предусмотрено в рамках внедрения циклично-поточной технологии (ЦПТ) транспортирования руды из карьера. Отличительная особенность рассматриваемой ДПУ – она выполнена как комплектная установка в купе с несущими металлоконструкциями, что обуславливает возможность ее переноса на новое место в течение срока службы при наращивании ДКК. Отражены вопросы обоснования компоновочной схемы ДПУ, параметров приемного и разгрузочного бункеров с учетом конструктивных, прочностных и горнотехнологических факторов. Приведены технические характеристики разработанных ДПУ, конструктивные особенности основного оборудования. Показано влияние сопутствующих технологических факторов – неравномерности потока автосамосвалов, технологического и временного режимов работы ДКК в целом и ДПУ в частности, расчетный график ТОиР и т.п.

**Ключевые слова:** дробильно-перегрузочная установка, циклично-поточная технология, компоновка, бункер, конусная дробилка

**Для цитирования:** Исмагилов Р.И., Журавлев А.Г., Фурин В.О. Проектирование современных российских дробильно-перегрузочных установок для комплексов циклично-поточной технологии. *Горная промышленность*. 2024;(3):48–55. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2024-3-48-55>

## Designing modern Russian crushing and transfer units for conveyor ore transportation systems

R.I. Ismagilov<sup>1</sup>, A.G. Zhuravlev<sup>2</sup>✉, V.O. Furin<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Metalloinvest Management Company LLC, Moscow, Russian Federation

<sup>2</sup> Institute of Mining of Ural Branch of Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg, Russian Federation

<sup>3</sup> Uralsmashplant JSC, Ekaterinburg, Russian Federation

✉ juravlev@igduran.ru

**Abstract:** The article discusses methodological aspects of designing semi-stationary and mobile crushing and transfer units (DPU) carried out by the experts of Uralsmashzavod PJSC and IGD Ural Branch of the Russian Academy of Sciences on behalf of the Russian Metalloinvest company during the development of the Russian DPU-7200 model. As the result of the R&D work performed, a DPU was manufactured and installed at a mining operation as part of the in-pit crushing and conveyor (IPCC) systems, which is intended for conveyor transportation of ore from the open pit. A distinctive feature of the discussed DPU is that it is made as a complete system with the supporting steel structures integrated in its design, which makes it possible to relocate it during the service life when expanding the IPCC. The issues concerned with justifying the DPU layout, parameters of the receiving and unloading hoppers are discussed with account of structural, strength, mining and technological factors. The paper presents the technical characteristics of the developed DPU, as well as the design features of the primary equipment. The impact of the related technological factors, i.e. irregular character of dump truck traffic, the technological and temporal modes of the IPCC operation in general and those of the DPU in particular, the designed schedule of maintenance and repair, etc., is shown.

**Keywords:** crushing and transfer unit, in-pit crushing and conveyor system, layout design, hopper, cone crusher

**For citation:** Ismagilov R.I., Zhuravlev A.G., Furin V.O. Designing modern Russian crushing and transfer units for conveyor ore transportation systems. *Russian Mining Industry*. 2024;(3):48–55. (In Russ.) <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2024-3-48-55>

## Введение

Повышение производственной мощности и эффективности современных горнодобывающих предприятий требует внедрения соответствующих видов транспорта. Для высокопроизводительных карьеров проверенным временем решением является внедрение комбинированного автомобильно-конвейерного транспорта – так называемой циклично-поточной технологии. В рамках этой технологии важную роль играет дробильно-конвейерный комплекс (ДКК), включающий дробильно-перегрузочную установку (ДПУ), систему передаточных (участковых), магистральных и разгрузочных (отвальных, складских) конвейеров, а также устройства формирования насыпей (отвалообразователи, штабелеукладчики и т.п.).

Стратегическое развитие в этом направлении осуществляет горнорудное производство компании «Металлоинвест». Уже смонтирована и эксплуатируется первая очередь дробильно-конвейерного комплекса<sup>1</sup>. С целью дальнейшего развития ведется строительство второго комплекса, комплексным поставщиком которого является ПАО «Уралмашзавод». Отличительной особенностью сложных горно-геологических условий являются высокая прочность и абразивность добываемых руд.

В рамках данных проектов одним из ключевых объектов, определяющих производительность ДКК в целом, являются дробильно-перегрузочные установки – головное оборудование данных комплексов. Согласно требованиям горного производства они разрабатываются в полустационарном исполнении. Впервые в отечественной практике реализуется проект по проектированию и изготовлению ДПУ производительностью 7200 т/ч на базе единственной конусной дробилки крупного дробления (ККД) на полностью металлических опорных металлоконструкциях.

Исследовательские и опытно-промышленные работы в направлении ЦПТ имеют значительную историю в России, очень интересный опыт имеется по разработке всех типов ДПУ – от стационарных до самоходных, многие из них доведены до опытно-промышленных образцов [1; 2]. Значительный объем работ выполнен и в части разработки комплектных перемещаемых дробильно-перегрузочных установок, опираемых на металлоконструкции. Работы в этом направлении проводились ранее Уралмашзаводом и ИГД МЧМ СССР (ныне ИГД УрО РАН) [3; 4].

Разработка комплектной ДПУ потребовала решения ряда научно-исследовательских и конструктивно-технологических задач. Поэтому для создания ДПУ «Уралмашзаводом» была сформирована рабочая группа из специализированных организаций, в частности, горно-технологическая часть с обоснованием исходных технологических и компоновочных требований разработана Институтом горного дела УрО РАН.

В ходе работы решен целый ряд прикладных задач по обоснованию и расчету:

- параметров приемного бункера – активная вместимость, рациональная форма для обеспечения рациональной загрузки дробилки;
- параметров разгрузочного бункера (под дробилкой) – активная вместимость, рациональная форма для обеспечения ритмичной работы дробилки и передаточного конвейера;

– схем встраивания ДПУ в уступ на площадке дробильно-перегрузочного пункта;

– параметров подъездных путей для автосамосвалов к приемному бункеру с учетом схемы встраивания ДПУ в уступ, в том числе проработаны варианты для автосамосвалов грузоподъемностью от 130 до 360 т;

– параметров узла перегрузки горной массы на передаточный конвейер, размещения питателя(ей) под разгрузочным бункером;

– оснащения зон обслуживания оборудования ДПУ, размещения грузоподъемного оборудования, путей перемещения узлов и запасных частей по ДПУ при ремонтах;

– общих требований к ДПУ (путей перемещения персонала, размещение элементов и оборудования, освещенности и т.п.) на основе требований нормативных документов;

– требований к системам пылеподавления и пылеудаления.

Решение вышеуказанных задач во взаимосвязи с конструированием и инженерными расчетами элементов ДПУ позволило установить ряд особенностей, закономерностей и методических основ, которые должны учитываться при построении высокопроизводительных ДПУ, функционирующих в составе ЦПТ рудных карьеров.

## Методы

При решении задач компоновки, определения геометрических параметров бункеров с учетом формы насыпей руды применялось 3-мерное компьютерное моделирование геометрического характера (использовано ПО «КОМПАС 3D»). Углы откоса насыпей руды и самофутеровки (рудных «подушек») установлены на основе наблюдений, обработки данных инженерных изысканий, а также экспериментальных работ. С целью гарантированного достижения технологических параметров принят диапазон углов откоса от вероятного минимального до вероятного максимального. Для выбора рациональных параметров бункеров использованы методические подходы, разработанные для такого рода задач [5].

Технологические расчеты выполнялись с элементами имитационного моделирования изменения количества руды в приемном и разгрузочном бункерах с учетом входящего и выходящего потоков.

Расчет технологических нагрузок на элементы и металлоконструкции ДПУ выполнялся по соответствующим известным методикам расчета нагрузок на бункеры, дробилки, пластинчатые питатели, а также несущие металлоконструкции, причем динамические нагрузки корректировались с использованием коэффициента динамичности согласно основополагающим методам теории сопротивления материалов. В качестве справочных данных использован СП 20.13330.2016 «Нагрузки и воздействия».

## Результаты и их анализ

Анализ исследований в области параметров ДПУ, а также мирового опыта в области конкретных их конструкций позволил установить предварительные структуру и параметры элементов ДПУ. Они по типу возможности и способа перемещения на новое место делятся на:

- стационарные (не предполагают перемещения в течение срока службы (их перенос возможен только частично в виде демонтажа и монтажа на новой строительной конструкции оборудования – дробилки, питателей и т.п.);

<sup>1</sup> Металлоинвест запустил уникальный дробильно-конвейерный комплекс на Михайловском ГОКе. Режим доступа: <https://www.metalloinvest.com/media/press-releases/492606/> (дата обращения: 15.02.2024).

– переносимые (полустационарные) – ДПУ, переносимые в течение срока службы 1–3 раза (как правило, выполнены на сборно-разборных металлоконструкциях, переносимых в разобранном виде);

– передвижные (полумобильные) – перемещаются на новое место эксплуатации крупномодульными блоками, как правило, с помощью специализированных гусеничных передвижчиков;

– мобильные – ДПУ, имеющие в конструкции средства передвижения.

В разрабатываемой серии передвижных ДПУ производства «Уралмашзавод» предусматриваются полустационарные и полумобильные варианты.

В условиях высокой производительности ДКК дробильно-перегрузочная установка должна обладать свойствами демпфирования неравномерности входного потока горной массы. Поэтому структура ДПУ характеризуется особенностями, приведенными в табл. 1. При разработке ДПУ в основу был заложен принцип модульности платформы, что позволит ускорить проектирование и монтаж специализированных установок, адаптируемых к конкретным горнотехнологическим условиям.

Общий вид ДПУ-7200 приведен на рис. 1. Данная конструкция спроектирована для условий Михайловского ГОКа, руда которого имеет высокую прочность и абразивность, а дробильно-конвейерный комплекс рассчитан на высокую производительность. Она характеризуется рядом особенностей:

– приемный бункер с тремя подъездными рампами под автосамосвалы грузоподъемностью до 240 т, а также мощным бутобоем на трехсекционном манипуляторе с дополнительным съемным ковшом;

– высокопроизводительная дробилка ККД-1500/200(230) М-2П, оборудованная двумя приводами, системами автоматической смазки, автоматического регулирования разгрузочной щели с увеличенным диапазоном и ресурсом броней (рис. 2);

– два пластинчатых питателя, обеспечивающих стабильную дозированную выдачу крепкой высокоабразивной руды из разгрузочного бункера за счет резервирования по производительности и надежности в столь сложных условиях;

– модуль передаточного конвейера с необходимыми грузоподъемными средствами для его обслуживания и ремонта;

– мощная аспирационная установка, предусматривающая обеспыливание разгрузочного бункера, перегрузочных узлов питателей и конвейера;

– крупнотоннажный полноповоротный консольный кран с двумя зонами действия по крюкам 25 т и 110 т, который обеспечивает выполнение большинства операций при техническом обслуживании и ремонте ДПУ; вблизи ДПУ располагается стенд для хранения и ремонта оборотного дробящего конуса;

– для выполнения всепогодного обслуживания и ремонта ДПУ снабжена дополнительной укрытой со всех сторон фронтальной этажеркой, на которой предусмотрены пути откатки крупногабаритных узлов, деталей и материалов, места их временного хранения и перегрузки, а также монтажные проемы для доступа консольным краном;

– грузопассажирский подъемник.

НИОКР показал, что отдельные параметры ДПУ, несмотря на универсальность технических решений, должны адаптироваться к конкретным горнотехнологическим условиям. В связи с этим рассматриваемые дробильно-перегрузочные установки имеют ряд отличий, отраженных в табл. 2.

Анализ известных образцов полустационарных ДПУ показал, что зависимость геометрической вместимости приемного бункера имеет прямолинейную зависимость:

– от номинальной производительности дробилки  $V = 0,0869 \cdot \text{Пд}$  (номинальная производительность дробилки, т/ч) – 201,28 м<sup>3</sup>;

**Таблица 1**  
Структура ДПУ в зависимости от степени мобильности

**Table 1**  
Composition of the DPU depending on the degree of its mobility

Узел ДПУ	Полустационарные ДПУ	Полумобильные ДПУ
<b>Подъездные пути для автосамосвалов мостового типа (разгрузочные рампы)</b>	<b>Отдельные металлические рампы мостового типа</b>	
Приемный бункер	Значительной вместимости для компенсации неравномерности подачи руды	–
Высокопроизводительная конусная дробилка	Рассчитанная на максимальную производительность и увеличенный ресурс	Оптимизированная по массогабаритным показателям
Разгрузочный (промежуточный) бункер	Значительной вместимости для компенсации неравномерности подачи руды	Ограниченной вместимости по условиям минимизации массы и габаритов
Пластинчатый(е) питатель(и)	Применяются для тяжелых руд и при применении разгрузочного бункера вместимостью $\geq 180-200 \text{ м}^3$	Применяются в исключительных случаях только для тяжелых высокоабразивных руд
<b>Передаточный конвейер</b>	<b>Отдельный модуль</b>	
Малые модульные грузоподъемные средства	В полном объеме	Предусматриваются в минимально необходимом объеме с увеличенным объемом применения переносных ГПС (ручные тали, лебедки и т.п.)
Крупнотоннажное грузоподъемное средство	Предусматривается в полном интегрированном варианте	Предусматривается в качестве отдельного грузоподъемного средства, не входящего в состав ДПУ (например, отдельное здание с мостовым краном над ДПУ, входящее в состав строительного сооружения) или включаемого в комплект ДПУ как отдельный ограниченный по массе модуль

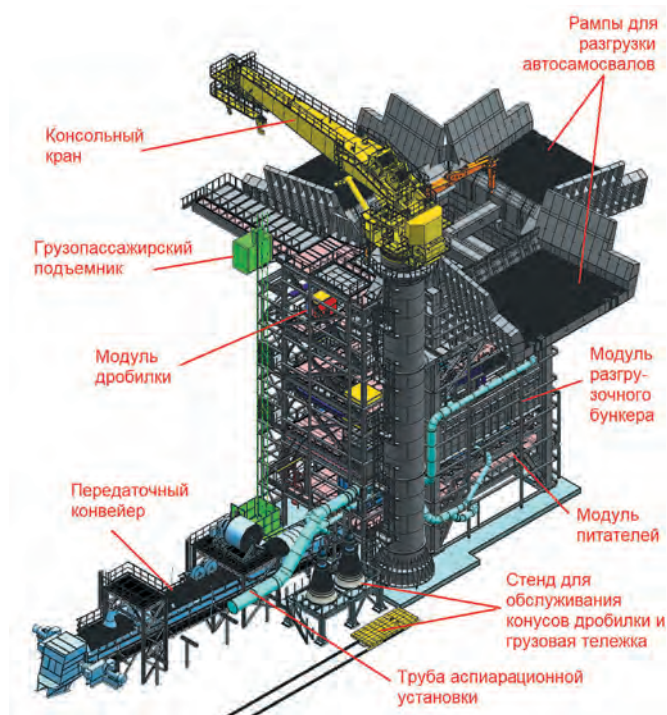


Рис. 1  
Компоновка дробильно-перегрузочной установки «ДПУ-7200»

Fig. 1  
Layout of the DPU-7200 crushing and transfer unit

– от грузоподъемности автосамосвалов  $V = 1,3494 \cdot q$  (номинальная грузоподъемность автосамосвалов, т) – 43,458 м<sup>3</sup>.

Исходя из указанных зависимостей вместимость приемного бункера рассматриваемых ДПУ должна составлять не менее 350 м<sup>3</sup> – по критерию производительности

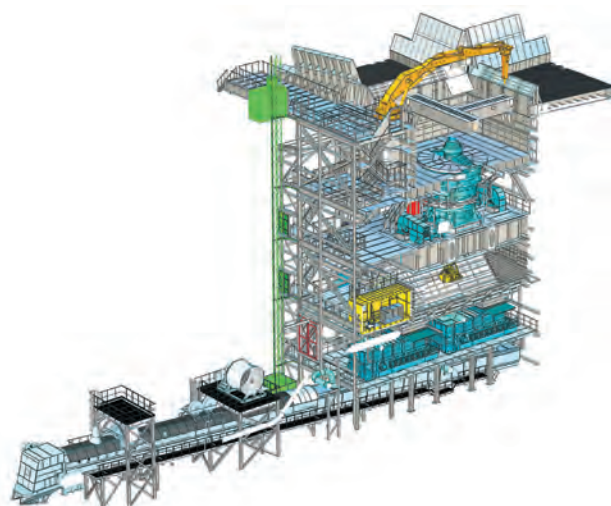


Рис. 2  
Устройство дробильно-перегрузочной установки «ДПУ-7200»

Fig. 2  
Structure of the DPU-7200 crushing and transfer unit

дробилки (7200 т/ч) и не менее 250 м<sup>3</sup> – по грузоподъемности автосамосвалов (240 т). Установлено, что достижимая заполняемость бункера может быть существенно ниже геометрической [5], поскольку на нее влияют форма насыпи и условия выгрузки автосамосвалов. Также известно (например, см. [6]), что на вместимость бункера влияет целый ряд дополнительных технологических факторов. Поэтому в ходе работ проведена оптимизация геометрии приемного бункера в зависимости от количества разгрузочных рам, ширины бункера и схемы разгрузки.

Дальнейшая работа над ДПУ показала, что они должны подвергаться комплексной оптимизации конструктивно-технологических параметров. Так, например, увеличе-

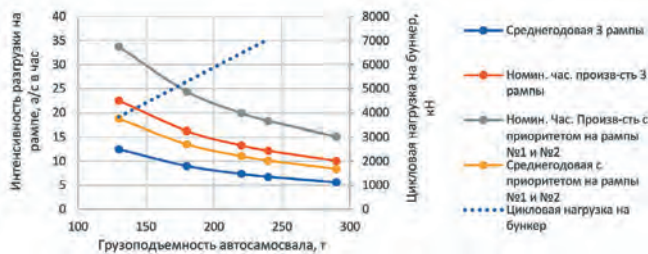
Таблица 2  
Техническая характеристика ДПУ-7200

Table 2  
Technical specifications of DPU-7200

Наименование параметра	Значение
Производительность ДПУ при номинальной разгрузочной щели на материале с временным сопротивлением сжатию до 250 МПа, т/ч	7200 (насыпная плотность руды 2,6 т/м <sup>3</sup> )
Количество мест загрузки бункера приемного, шт.	3
Грузоподъемность принимаемых автосамосвалов, т	130-240
Модель дробилки	ККД 1500/ 200(230)М-2П
Параметры бутобоя: энергия удара / частота ударов	9970 Дж / 200-450 уд/мин
Размер куска питания: – по пятипроцентному остатку на квадратной ячейке – по максимальному измерению, мм	Не более 1200 Не более 1500
Размер максимального куска продукта (по пятипроцентному остатку на квадратной ячейке, на номинальной разгрузочной щели дробилки), мм	300
Активная вместимость бункера приемного, м <sup>3</sup> : – номинальная (подвижный объем) – предельная (подвижный объем)	276 380
Активная вместимость бункера разгрузочного, м <sup>3</sup> : – номинальная (подвижный объем) – предельная (подвижный объем)	260 300
Количество выходных окон бункера разгрузочного, шт.	2
Способ выгрузки из бункера на конвейер	Двумя пластинчатыми питателями
Производительность каждого питателя (номин. / максим.), т/ч	3 600 / 6000
Напряжение питания / частота эл. тока	6 000 В / 50 Гц
Установленная мощность ДПУ суммарная, кВт	2300
Температура окружающей среды, °С	от –35 до +39
Устойчивость к сейсмическим воздействиям, баллов	6
Максимальная скорость ветра (рабочий режим), м/с	20

ние количества рампы влияет на интенсивность загрузки приемного бункера, стабильность производительной работы дробилки, но также и на циклическое нагружение несущих металлоконструкций и их металлоемкость. Установлено, что с уменьшением грузоподъемности автосамосвалов интенсивность разгрузки и количество циклов нагружения металлоконструкций ДПУ возрастает, однако при этом соответствующим образом уменьшаются значения этих нагрузок (рис. 3). В этих условиях целесообразно предусматривать конструктивные и технологические мероприятия, обеспечивающие снижение диапазона цикловой нагрузки. Так, повышение равномерности разгрузки автосамосвалов и пригрузка несущих металлоконструкций (например, рудной подушкой в бункере) могут уменьшить величину цикловой нагрузки на 35–65%.

Таким образом, прямой расчет в увязке только двух-трех параметров ДПУ, например, «емкость – геометрические размеры – металлоемкость», не обеспечивает должного снижения металлоемкости. Необходимо учитывать также: технологичность принимаемых конструктивных решений, характер нагружения в пространстве, во времени и по динамике, общую компоновочную съемку ДПУ и др. С этой целью должны проводиться комплексные расчеты в несколько стадий для поиска наиболее приемлемого конструктивного варианта. Расчетами и математическим моделированием установлено, что неравномерность прибытия автосамосвалов на разгрузку в приемный бункер ДПУ при одной и той же часовой интенсивности потока существенно влияет на его требуемую емкость.



**Рис. 3**  
Интенсивности разгрузки автосамосвалов на рампах ДПУ в зависимости от грузоподъемности автосамосвалов

**Fig. 3**  
Unloading intensity of dump trucks on the DPU ramps depending on dump truck load capacity

«Сердцем» ДПУ является дробилка, определяющая производительность не только ДПУ, но и дробильно-конвейерного комплекса в целом. Однако в отличие от приемных мощностей дробильно-обогащительных фабрик головной является всего одна дробилка, что обуславливает особые требования как к производительности, так и к надежности. В связи с этим при ее разработке применен целый ряд специальных конструктивных решений:

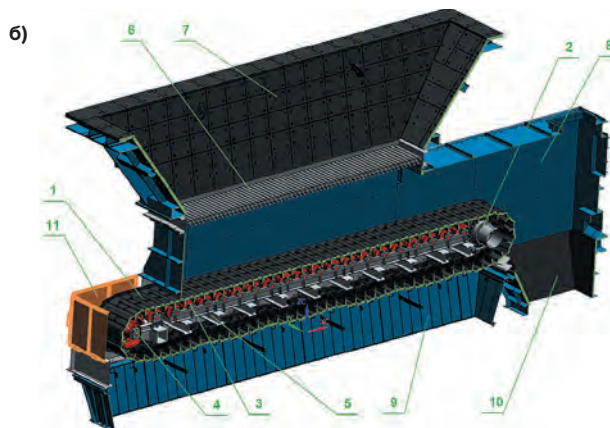
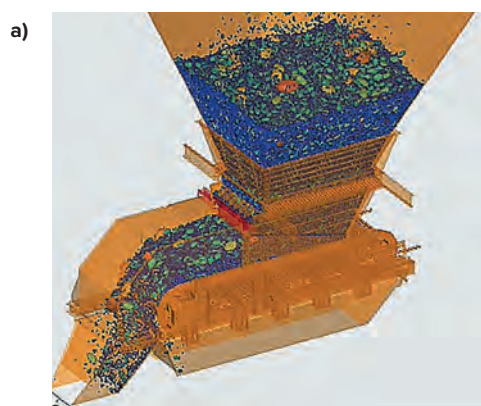
- усовершенствованный профиль камеры дробления, повышающий производительность;
- увеличенный ресурс броней дробильной чаши и дробящего конуса, позволяющий сократить простои на ТООР;
- специальный рельеф верхних броней конуса, обеспечивающий ускоренное разрушение крупных кусков руды и их интенсивное продвижение по камере дробления [7];

- увеличенный ход регулирования положения дробящего конуса для поддержания размера разгрузочной щели, обеспечивающей сохранение крупности дробления на протяжении всего межремонтного интервала;
- автоматическая система регулирования разгрузочной щели, исключающая необходимость остановки работы дробилки для ее регулировки, а также обеспечивающая оперативную подстройку крупности продукта при работе ДПУ;
- увеличенная частота качаний конуса для увеличения производительности;
- улучшенный теплоотвод от узлов трения и улучшенное их уплотнение от проникновения пыли и абразивных частиц, в том числе за счет воздушного подпора.

Правильный выбор вместимости и геометрических параметров разгрузочного бункера ДПУ влияет на производительность и ритмичность выдачи руды на конвейер, аккумулирующую способность ДПУ по компенсации неравномерности подачи руды автосамосвалами, высотный габарит ДПУ и др. Стремление свести габариты и металлоемкость ДПУ к минимуму ограничивается риском «подпрессовки» дробилки рудой из разгрузочного бункера (поскольку производительность дробилки в реальных условиях подвержена некоторому колебанию в зависимости от свойств и крупности подаваемого в нее материала). На примере ДПУ-7200 определена минимально допустимая вместимость разгрузочного бункера, которая определяется требуемым минимальным аккумулирующим объемом для компенсации наиболее кратковременных колебаний производительности дробилки. Установлено, что эта величина зависит главным образом от объема руды, находящегося в приемном бункере (его вместимости), и пиковой производительности дробилки. Инженерное 3D-моделирование показало, что с учетом геометрических условий выгрузки руды на передаточный конвейер (в случае прямой выгрузки руды из бункера на специализированный конвейер) вместимость разгрузочного бункера при рассматриваемом диапазоне производительностей не может быть менее 50 м<sup>3</sup>.

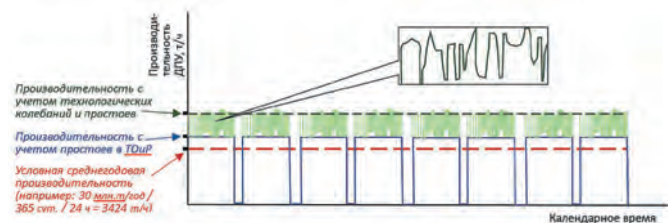
Значимой вехой выполненной серии НИОКР стала разработка пластинчатых питателей оригинальной конструкции, адаптированных для работы в условиях высокой производительности, значительных нагрузок, высокой абразивности горных пород, а также прямого воздействия климатических факторов в широком диапазоне. Специалисты скрупулезно подошли к их проектированию, применяя многостадийное компьютерное моделирование – как технологическое (движение рудопотока в системе бункер – питатели – конвейеры), так и инженерное (рис. 4). В итоге «Уралмашзавод» освоил выпуск серии таких пластинчатых питателей.

Дробильно-перегрузочная установка является горно-технологическим объектом, поэтому при выборе ее технологических параметров должен учитываться комплекс факторов, определяющих режим ее работы. Установлено, что часовая производительность ДПУ, принимаемая по итогам расчетов режима ТООР, а также технологического режима работы, превышает условную среднегодовую, как правило, на 15–30%, а в отдельных случаях до 40%. Это связано с объективным наличием кратковременных и долгосрочных простоев в работе ДПУ (рис. 5), связанных с необходимым техническим обслуживанием, ремонтом, а также технологическими причинами, например, изменением интенсивности работы транспорта в период



**Рис. 4**  
Имитационное технологическое и инженерное моделирование пластинчатого питателя ДПУ: а – моделирование рудопотока; б – основные элементы пластинчатого питателя: 1 – полотно питателя; 2 – приводной вал с приводом; 3 – ролики опорные; 4 – натяжное устройство; 5 – рама; 6 – стержневой затвор; 7 – бункер загрузочный; 8 – крытие питателя с футерованными бортами; 9 – бункер подбора просыпей; 10 – течка разгрузочная; 11 – ограждения

**Fig. 4**  
Simulation technological and engineering modelling of the DPU's apron feeder: a) ore flow simulation; b) main elements of the apron feeder: 1 – feeder pan; 2 – drive shaft with motor; 3 – carry rollers (idlers); 4 – chain take-ups; 5 – frame; 6 – rod gates; 7 – loading hopper; 8 – feeder cover with lined sides; 9 – dribble bin; 10 – discharge chute; 11 – guardrails



**Рис. 5**  
Сопоставление производительности ДПУ с учетом режима ТОиР и технологии

**Fig. 5**  
Comparison of the DPU capacity with account of the MRO schedule and technology



**Рис. 6**  
Схема размещения ДПУ в ограниченном пространстве карьера

**Fig. 6**  
A schematic plan of the DPU positioning in the limited space of the open-pit mine

пересменок, обеда, взрывных работ, внеплановых ремонтов оборудования и т.п.

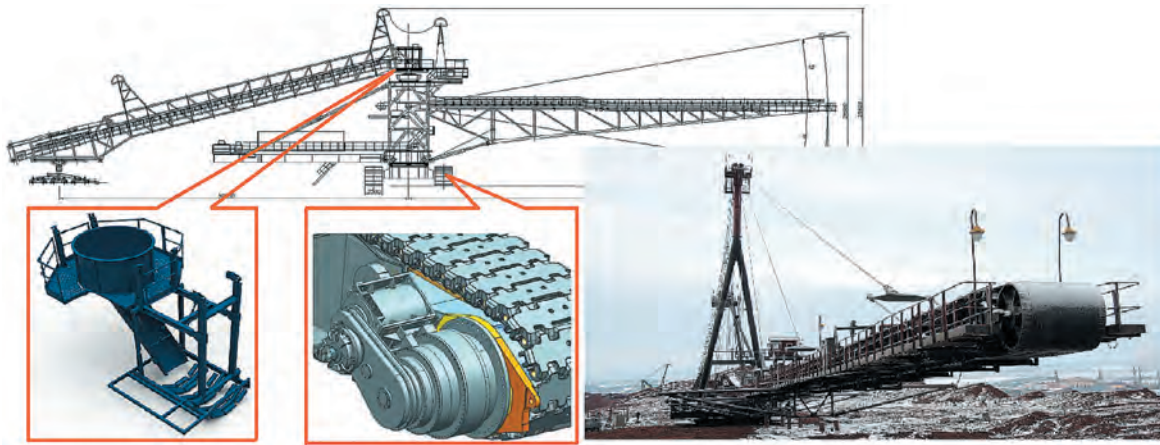
Важный параметр, который должен учитываться при проектировании ДПУ – это схема ее встраивания в горную выработку. Как правило, ограничены: разница высотных отметок между основанием ДПУ и площадкой разгрузки автосамосвалов, размеры в плане, схема подъезда автосамосвалов, схема конвейерной линии. При работе над ДПУ-7200 наряду с модульностью конструкции учтена универсальность схемы встраивания: ДПУ могут быть развернуты в пространстве относительно вертикальной оси, количество, длина и положение рам подбираются в зависимости от формы ниши в уступе и схемы движения автосамосвалов. Также компоновка ДПУ обеспечивает возможность разместить несколько установок на одном дробильно-перегрузочном пункте (рис. 6).

Безусловно, ДПУ как комплектное оборудование для опасных производственных объектов, к которым относятся горнодобывающие предприятия, должно обеспечивать безопасность. Поэтому при проектировании ДПУ в обязательном порядке учитываются горнотехнологические нагрузки и риски, предусматриваются в установленном объеме средства доступа к оборудованию для осмотра, обслуживания, ремонта, защитные ограждения как для обеспечения безопасной работы на высоте, так и для подвижных элементов оборудования, а также эвакуационные элементы конструкции (лестницы, переходы и

т.п.) с необходимым дублированием. В составе ДПУ-7200 предусмотрены сквозные лестницы, обеспечивающие сообщение всех уровней ДПУ с верхней и нижней площадками уступов. Все это накладывает дополнительные конструктивные требования к металлоконструкциям, усложняют их оптимизацию, в ряде случаев ведет к необходимости ограничить параметры, обусловленные только технологическими или компоновочными соображениями. Поэтому методика проектирования полустационарных и передвижных ДПУ должна в обязательном порядке предусматривать выполнение данного этапа в рамках основной стадии компоновки.

В настоящее время «Уралмашзавод» продолжает работу по направлению создания отечественного оборудования для мощных дробильно-конвейерных комплексов рудных карьеров. Развивается деятельность по созданию породных комплексов, предназначенных для измельчения и поточного транспортирования вскрыши с последующей механизированной разгрузкой в отвал. Неотъемлемой частью таких комплексов являются отвалообразователи – многотонные передвижные комплексные машины, предназначенные для приема руды с конвейера и ее распределения по фронту отвала (рис. 7).

Сопоставление выработанных технических и конструктивных решений ДПУ с зарубежными аналогами и



**Рис. 7**  
Отвалообразователь УЗТМ, предназначенный для работы в составе дробильно-конвейерного комплекса

**Fig. 7**  
The UZTM spreader designed for operation as part of the in-pit crushing and conveyor complex

некоторыми исследовательскими работами (например, [8–11]), а также некоторыми данными по оценке достижимых параметров конусных дробилок [12; 13] показало, что они находятся на уровне лучших мировых образцов.

Таким образом, полученные результаты обеспечивают основу импортонезависимости в области горного обогатительного оборудования для мощных дробильно-конвейерных и дробильно-перерабатывающих комплексов.

**Выводы**

1. Впервые разработана серия полустационарных дробильно-перегрузочных установок для дробильно-конвейерных комплексов транспортирования руды из карьеров, представляющих собой комплектные установки на сборно-разборных несущих металлоконструкциях. В итоге НИОКР спроектирована и изготовлена ДПУ-7200, которая отгружена и монтируется на Михайловском ГОКе.

Изготовленные ДПУ практически на 100% состоят из оборудования и элементов российского производства.

2. Комплексный подход и взаимодействие специалистов научного и инженерного профиля позволили по итогам исследований и многовариантного инженерного моделирования достичь высоких технологических параметров разработанных ДПУ, находящихся на уровне лучших мировых образцов, а по ряду показателей, превышающих их.

3. Обобщение материалов и результатов НИОКР позволило сформулировать методические основы проектирования рассмотренного типа ДПУ. Основные положения заключаются в следующем:

- в первую очередь оптимизации должны подвергаться

элементы ДПУ, относящиеся к выполнению основных технологических задач – приемный и разгрузочный бункер, дробилка, узлы перегрузки руды на конвейер и сам конвейер;

- конструкция ДПУ должна комплексно оптимизироваться по технологическим параметрам, габаритам и металлоемкости в несколько стадий с учетом параметров модуля загрузки, приемного и разгрузочного бункеров, дробилки, модуля перегрузки руды из бункера на конвейер, схемы встраивания, силовой схемы и прочности несущих металлоконструкций, грузоподъемных средств и элементов ремонтного обслуживания, а также средств доступа персонала к оборудованию и частям ДПУ;

- существенного результата в оптимизации конструкции и металлоемкости ДПУ за счет адаптации к конкретным условиям эксплуатации позволяет достичь учет сопутствующих технологических факторов – неравномерности потока автосамосвалов, технологического и временного режимов работы ДКК в целом и ДПУ в частности, расчетного графика ТОиР и т.п.

4. Для большинства горнотехнологических условий при грузоподъемности применяемых автосамосвалов более 140 т и производительности дробильно-конвейерного комплекса не более 7500 т/ч достаточно двух мест разгрузки автосамосвалов в приемный бункер ДПУ.

5. По результатам НИОКР достигнута существенная оптимизация параметров ДПУ относительно исходного технологического задания, в частности: вместимость приемного бункера на 10–20%, разгрузочного бункера на 10–35%, надежность за счет резервирования по мощности и производительности – по отдельным элементам до 80%.

**Список литературы / References**

1. Глебов А.В., Семенкин А.В., Кармаев Г.Д., Берсенева В.А. Новые подходы и решения по применению циклично-поточной технологии на карьерах. *Горный журнал*. 2017;(6):49–52. <https://doi.org/10.17580/gzh.2017.06.09>  
Glebov A.V., Semenkin A.V., Karmayev G.D., Berseneva V.A. New approaches and solutions on application of cyclical-and-continuous technology in open pit mines. *Gornyi Zhurnal*. 2017;(6):49–52. (In Russ.) <https://doi.org/10.17580/gzh.2017.06.09>
2. Журавлёв А.Г., Семёнкин А.В., Черепанов В.А., Глебов И.А., Чендырев М.А. Задачи развития перспективных циклично-поточных технологий для глубоких карьеров. *Горная промышленность*. 2022;(1S):53–62. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2022-1S-53-62>  
Zhuravlev A.G., Semenkin A.V., Cherepanov V.A., Glebov I.A., Chendyrev M.A. The purpose of developing advanced in-pit crushing and conveying technology for deep open pits. *Russian Mining Industry*. 2022;(1 Suppl.): 53–62. (In Russ.) <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2022-1S-53-62>

3. Чиркин А.А., Кантемиров В.Д. Обоснование методики проектирования передвижных дробильно-перегрузочных установок. Известия высших учебных заведений. Горный журнал. 2020;(7):33–40. <https://doi.org/10.21440/0536-1028-2020-7-33-40>  
Chirkin A.A., Kantemirov V.D. Rationale for mobile crushing plants design methodology. Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii. Gornyi Zhurnal. 2020;(7):33–40. (In Russ.) <https://doi.org/10.21440/0536-1028-2020-7-33-40>
4. Груздев А.В., Осадчий А.М., Фурин В.О. Стационарные и полустационарные дробильно-перегрузочные установки Уралмашзавода. Горный журнал. 2012;(11):70–72. Режим доступа: <https://www.rudmet.ru/journal/965/article/15181/> (дата обращения: 14.02.2024).  
Gruzdev A.V., Osadchiy A.M., Furin V.O. The stationary and semiportable crushing transfers of Uralmash Machine-Building Corporation. Gornyi Zhurnal. 2012;(11):70–72. (In Russ.) Available at: <https://www.rudmet.ru/journal/965/article/15181/> (accessed: 14.02.2024).
5. Чендырев М.А., Журавлев А.Г. Рационализация геометрических параметров приемных бункеров дробилок ККД при автомобильном транспорте. Горный информационно-аналитический бюллетень. 2022;(5-1):158–170. [https://doi.org/10.25018/0236\\_1493\\_2022\\_51\\_0\\_158](https://doi.org/10.25018/0236_1493_2022_51_0_158)  
Zhuravlev A.G., Chendyrev M.A. Rationalization of geometric parameters receptions bunkers primary gyratory cone crusher for automotive transport. Mining Informational and Analytical Bulletin. 2022;(5-1):158–170. (In Russ.) [https://doi.org/10.25018/0236\\_1493\\_2022\\_51\\_0\\_158](https://doi.org/10.25018/0236_1493_2022_51_0_158)
6. Юдин А.В., Шестаков В.С., Сайтов В.И., Абдулкаримов М.К. К определению вместимости бункера в составе перегрузочной системы при комбинированном транспорте. Известия высших учебных заведений. Горный журнал. 2020;(4):99–112. <https://doi.org/10.21440/0536-1028-2020-4-99-112>  
Iudin A.V., Shestakov V.S., Saitov V.I., Abdulkarimov M.K. Determining the capacity of a bunker as a part of the handling system with combined transport. Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii. Gornyi Zhurnal. 2020;(4):99–112. (In Russ.) <https://doi.org/10.21440/0536-1028-2020-4-99-112>
7. Липатов А.Г., Фурин В.О., Холодков А.А., Журавлев А.Г. Инновационные решения в повышении эффективности крупного дробления на железорудных горно-обогатительных комбинатах. Горная промышленность. 2023;(3):93–100. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2023-3-93-100>  
Lipatov A.G., Furin V.O., Kholodkov A.A., Zhuravlev A.G. Innovative solutions to improve the efficiency of coarse crushing in iron ore mining and processing plants. Russian Mining Industry. 2023;(3):93–100. (In Russ.) <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2023-3-93-100>
8. Fisher T. Stationary and semi-mobile crushing plants – a comparison: Theoretical considerations. Cement International. 2017;15(4):66–69.
9. Abbaspour H., Drebenshtedt C., Parisheh M., Ritter R. Optimum location and relocation plan of semi-mobile in-pit crushing and conveying systems in open-pit mines by transportation problem. International Journal of Mining Reclamation and Environment. 2019;33(5):297–317. <https://doi.org/10.1080/17480930.2018.1435968>
10. Osanloo M., Paricheh M. In-pit crushing and conveying technology in open-pit mining operations: a literature review and research agenda. International Journal of Mining, Reclamation and Environment. 2020;34(6):430–457. <https://doi.org/10.1080/17480930.2019.1565054>
11. Purhamadani E., Bagherpour R., Tudeshki H. Energy consumption in open-pit mining operations relying on reduced energy consumption for haulage using in-pit crusher systems. Journal of Cleaner Production. 2021;291:125228. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.125228>
12. Yamashita A.S., Thivierge A., Euzébio T.A.M. A review of modeling and control strategies for cone crushers in the mineral processing and quarrying industries. Minerals Engineering. 2021;170:107036. <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2021.107036>
13. Chen Z., Wang G., Xue D., Bi Q. Simulation and optimization of gyratory crusher performance based on the discrete element method. Powder Technology. 2020;376:93–103. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2020.07.034>

**Информация об авторах**

**Исмагилов Ринат Иршатович** – директор по техническому развитию, ООО УК «Металлоинвест», г. Москва, Российская Федерация

**Журавлев Артем Геннадиевич** – кандидат технических наук, заведующий лабораторией, Институт горного дела, Уральское отделение Российской академии наук, г. Екатеринбург, Российская Федерация; e-mail: [juravlev@igduran.ru](mailto:juravlev@igduran.ru)

**Фурии Виталий Олегович** – кандидат технических наук, заместитель главного конструктора по дроблению и измельчению, ПАО «Уралмашзавод», г. Екатеринбург, Российская Федерация; e-mail: [v.furin@uralmash.ru](mailto:v.furin@uralmash.ru)

**Information about the authors**

**Rinat I. Ismagilov** – Director of Technical Development, Metalloinvest Management Company LLC, Moscow, Russian Federation

**Artem G. Zhuravlev** – Cand. Sci. (Eng.), Laboratory Chief, Institute of Mining of Ural Branch of Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg, Russian Federation; e-mail: [juravlev@igduran.ru](mailto:juravlev@igduran.ru)

**Vitaly O. Furin** – Cand. Sci. (Eng.), Deputy Chief Designer for Crushing and Milling, Uralmashplant JSC, Ekaterinburg, Russian Federation; e-mail: [v.furin@uralmash.ru](mailto:v.furin@uralmash.ru)

**Article info**

Received: 25.03.2024

Revised: 08.05.2024

Accepted: 12.05.2024

**Информация о статье**

Поступила в редакцию: 25.03.2024

Поступила после рецензирования: 08.05.2024

Принята к публикации: 12.05.2024

# Сетевая платформа автоматизации прогнозирования отказов карьерных самосвалов

И.В. Зырянов<sup>1, 2</sup>✉, М.В. Корняков<sup>2</sup>, К.А. Непомнящих<sup>2</sup>, А.И. Труфанов<sup>2</sup>, В.А. Храмовских<sup>2</sup>, А.Н. Шевченко<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Политехнический институт (филиал) Северо-Восточного Федерального университета им. М.К. Аммосова в г. Мирном, г. Мирный, Российская Федерация

<sup>2</sup> Иркутский национальный исследовательский технический университет, г. Иркутск, Российская Федерация  
✉ zryyanoviv@inbox.ru

**Резюме:** В статье рассматриваются возможности разработки автоматизированной системы контроля и прогнозирования технического состояния карьерного автотранспорта на стадии эксплуатации на основе статистики отказов и сетевого анализа данных, поступающих с датчиков состояния работоспособности горных машин. Настоящее исследование обусловлено необходимостью снижения аварийных простоев в горнодобывающей отрасли за счет внедрения современных информационно-коммуникационных технологий. Проведена оценка применимости существующих методов для анализа цифровых сигналов, снимаемых с сенсоров, установленных на горном оборудовании. В качестве перспективного рассматривается подход, использующий достижения науки о сетях и преобразование сигнала временного ряда в комплексные сети. Как инновационная предложена последовательность выполнения работы, включая сбор и анализ данных, разработку сетевых моделей прогнозирования и внедрение полученных результатов на практике. Применение подобной последовательности шагов сможет своевременно оповестить о необходимости ремонта оборудования, тем самым сократить время простоя, что, в свою очередь, будет способствовать повышению производительности и снижению затрат на эксплуатацию. Сформулированы и представлены основные этапы исследования, реализация которых направлена на прогнозирование технического состояния оборудования, выявление необходимости постановки его на внеплановый ремонт, что приведет к снижению числа или полному предотвращению аварийных отказов в реальных условиях эксплуатации горнодобывающих предприятий.

**Ключевые слова:** надёжность горных машин и оборудования, цифровой сигнал, сетевой анализ временных рядов, сетевые маркеры работоспособности оборудования, прогнозирование отказов, карьерные самосвалы, двигатель внутреннего сгорания

**Благодарности:** Исследование выполнено при частичной финансовой поддержке РФФИ и МОКНСМ в рамках научного проекта №20-57-44002.

**Для цитирования:** Зырянов И.В., Корняков М.В., Непомнящих К.А., Труфанов А.И., Храмовских В.А., Шевченко А.Н. Сетевая платформа автоматизации прогнозирования отказов карьерных самосвалов. *Горная промышленность*. 2024;(3):56–63. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2024-3-56-63>

## Network platform for automation of pit dump truck failure prediction

I.V. Zyryanov<sup>1, 2</sup>✉, M.V. Korniyakov<sup>2</sup>, K.A. Nepomnyashchikh<sup>2</sup>, A.I. Trufanov<sup>2</sup>, V.A. Khramovskikh<sup>2</sup>, A.N. Shevchenko<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Polytechnic Institute (branch), M.K. Ammosov North-Eastern Federal University, Mirniy, Russian Federation

<sup>2</sup> Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russian Federation

✉ Ivanov\_SL@pers.spmi.ru

**Abstract:** The article considers the possibilities of developing an automated system for monitoring and predicting the technical condition of in-pit vehicles at the operation stage based on failure statistics and network analysis of data received from health sensors of the mining machines. This study seeks to reduce emergency downtime in the mining industry by introducing modern information and communication technologies. The applicability of existing methods to analyze digital signals received from the sensors installed on the mining equipment was assessed. A promising approach is considered, using the progress achieved in network engineering and conversion of the time series signals into the integrated networks. A sequence of operations is proposed as an innovation, including collection and analysis of data, development of network prediction models and practical implementation of the results. It is expected that using such a sequence of steps will be able to promptly notify of the need to repair equipment, thereby reducing downtime, which in turn will increase productivity and reduce the operating costs. The main stages of the study are formulated and presented, the implementation of which is aimed at predicting the health of the equipment, identifying the need for unscheduled repairs, which will lead to a decrease in the number of emergency failures or their prevention in real operating conditions of mining enterprises.

**Keywords:** reliability of mining machinery and equipment, digital signal, network analysis of time series, network markers of equipment operability, failure prediction, mining dump trucks, internal combustion engine

**Acknowledgements:** The research was partially financed by the Russian Foundation for Basic Research and the Ministry of Education, Culture, Science and Sports of Mongolia under Research Project No.20-57-44002.

**For citation:** Zyryanov I.V., Korniyakov M.V., Nepomnyashchikh K.A., Trufanov A.I., Khramovskikh V.A., Shevchenko A.N. Network platform for automation of pit dump truck failure prediction. *Russian Mining Industry*. 2024;(3):56–63. (In Russ.) <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2024-3-56-63>

## Введение

Развитие мировой горнодобывающей отрасли в настоящее время определяется рядом важных факторов, необходимых для достижения технико-экономических результатов. Речь идет о комплексном подходе к решению теоретических и практических вопросов в области горного дела с применением основных принципов Индустрии 4.0. В ближайшей перспективе наиболее важным с точки зрения экономики и безопасности останется открытый способ добычи ресурсов, так как имеет ряд преимуществ перед подземным способом, которые объясняются следующими факторами: экономическая эффективность, безопасность, рациональность использования ресурсов, улучшение окружающей среды и более быстрый ввод в эксплуатацию [1].

Статистическая информация, предлагаемая во множественных (многих) источниках, указывает на то, что за последние десятилетия значительных успехов в снижении значений такого важного показателя эффективности в горном производстве, как время простоя основного оборудования, добиться не удалось. Частично препятствуют этому низкие темпы обновления техники. Но не менее значимым на пути к сокращению числа отказов горных машин должно явиться использование новых систем оптимизации режимов их эксплуатации и своевременного выявления критического состояния. Здесь перспективным видится внедрение ИТ инструментов, прогнозирования отказов, на основе анализа технического состояния горного оборудования [1; 2].

Необходимо отметить, что на сегодняшний день в качественных моделях прогноза испытывают потребность многие отрасли, в том числе и горнодобывающая промышленность [3; 4]. Так как в связи текущей геополитической обстановкой, в условиях которой наблюдается массовый уход западных компаний с российского рынка, поставляющих горную технику и занимающихся техническим и сервисным обслуживанием, возникает потребность в создании отечественных инструментов для прогноза остаточного ресурса и контроля технического состояния горных машин и оборудования.

В теории надежности большое внимание уделяется решению задач по предсказанию отказов оборудования, особенно на этапе его эксплуатации в конкретных условиях. Со второй половины XX в. техническое обслуживание в горной промышленности чаще всего основывалось на системе планово-предупредительного ремонта (ППР). Однако такой подход не учитывает различную степень износа каждой отдельной единицы оборудования, горно-геологические условия его эксплуатации, накопленные нагрузки и различные уровни износа, что в итоге приводит к перерасходу материальных ресурсов. Поэтому дальнейшие исследования в области минимизации отказов горнотранспортного оборудования являются актуальными, так как на их основании можно принять правильное решение о необходимости вывода его

в ремонт либо о продлении эксплуатации на определенный период [1–3].

Подобные исследования невозможны без использования новейших технологий, в первую очередь представляемых в перспективе глобального перехода множественных сфер современного общества на цифровые технологии.

## Материалы и методы

В рамках сотрудничества горнодобывающих компаний и ИРНИТУ по направлению надежности горных машин и оборудования принято решение о разработке автоматизированной системы контроля и прогноза работоспособности основных узлов и агрегатов карьерных автосамосвалов, на основе статистических данных датчиков, отслеживающих работоспособность машин с целью снижения аварийных (внеплановых) простоев.

Отвечая на современные цифровые вызовы, тщательно проанализированы методы и подходы в сфере информационных технологий, потенциально полезные для планируемой разработки.

В настоящее время на предприятиях горной промышленности современные технологии позволяют оперировать оцифрованными данными, поэтому принципиальными при построении эффективной модели функционирования узлов и агрегатов являются анализ оцифрованного сигнала и сопутствующий прогноз поведения системы, процесса, объекта. Среди практически полезных подходов к анализу оцифрованного сигнала в рассматриваемой предметной области следует обратить внимание на следующие.

### 1. Преобразование Фурье

Хорошо известное преобразование Фурье дает возможность представить непрерывный сигнал  $f(x)$ , определенный на отрезке  $\{0, T\}$ , как сумму бесконечного ряда тригонометрических функций с некоторыми амплитудами и фазами, определенными на отрезке  $\{0, T\}$ . Классическое Фурье-преобразование не предполагает нестационарности анализируемого сигнала. Для преодоления этого препятствия и изучения сигналов, критически изменяющихся во времени, было предложено оконное преобразование Фурье [5]. При таком важном качестве, как простота метода, преобразование Фурье не обеспечивает информацией о тренде изменения частотных параметров со временем, что необходимо для прогнозных оценок настоящего исследования.

### 2. Вейвлет-анализ

Основой вейвлет-анализа является преобразование сигнала в вейвлет-спектр с помощью выбранной вейвлет-функции. Вейвлет-преобразования [6] используют окна без четких границ, а в качестве базовых функций берутся не периодические функции, но которые заметно убывают вне рассматриваемого окна, и при сокращении размеров окна частота этих функций растет. Преимущества вейвлет-преобразования становятся заметными

при обработке данных явно нестационарных процессов.

В целом к принципиальным претензиям к вейвлет-преобразованию относят следующие:

- амплитудные искажения;
- высокую погрешность;
- недостаточную масштабируемость.

Использование вейвлет-преобразования в реализации задач технической и производственной сфер осложняет его высокая трудоемкость.

### **3. Фрактальный (мультифрактальный) анализ**

Измерение фрактальной размерности  $D$  (степени изрезанности) сигнала позволяет установить связь изменений его реальных физических характеристик и  $D$ , выявить особенности сигнала как временного ряда [7].

Сопоставление диапазонов сигнала, имеющих различные значения  $D$ , и причин, вызывающих изменение этого сигнала, является основой для прогнозирования дальнейшего состояния сущности в целом и критических моментов.

Несомненное достоинство фрактального подхода заключается в том, что визуализация разномасштабных окон сигнала с определением  $D$ -размерности обеспечивает качественное понимание исследуемого процесса.

Как правило, методы теории фракталов используются совместно с вейвлет-анализом, повышая тем самым и сложность задачи, и трудоемкость ее решения.

### **4. Рекуррентный анализ**

Это анализ, основанный на рекуррентном квантовании, – привлекательная методика изучения динамики сложных нелинейных систем [8].

Однако высокая чувствительность метода к выбору множественных параметров: внедрения фазового пространства (локального вычисления фазы активации), порогов рекуррентной частоты и ряда других (показателей детерминизма, периодичности, хаоса) в значительной степени ограничивают его практическое применение.

### **5. Сетевой анализ**

#### **5.1. Искусственные нейронные сети**

Методология искусственных нейронных сетей (ИНС) находит всё большее применение в различных областях знаний, в том числе и для анализа сигналов. При этом анализировать с помощью искусственной нейронной сети можно как сам сигнал [9], так и его отображения (например, вейвлет-отображения) [10].

Наряду с общей привлекательностью и огромными достоинствами ИНС-подхода в анализе сигналов, эксперты отмечают следующие сложности его применения:

1. Переобучение. ИНС, «привыкая» к одним и тем же данным обеспечивает качественный прогноз на обучающей выборке, но на тестовой выборке с новыми данными предлагает неверные прогнозы.

2. Искусственные нейронные сети функционируют по принципу черного ящика, подход неприменим в случае, когда важно пояснить причину принятия решения.

3. Обученная ИНС способна дать ответ за ничтожное время, однако относительно высокая вычислительная стоимость процесса обучения (по времени и объему занимаемой памяти) ограничивает возможности использования данного подхода.

4. Искусственным нейронным сетям присуща неспособность опираться на предшествующие навыки в процессе обучения новой задаче.

5. Ответы носят вероятностный характер, что неприемлемо для производственной сферы.

6. Трудоемкость и продолжительность разработки.

7. Высокие требования к объему данных: для обучения ИНС обычно требуется в значительной степени больше данных, чем для любых традиционных алгоритмов анализа.

#### **5.2. Комплексные сети**

Этот подход к расчету и анализу связей между акторами – объектами, процессами и системами, использует их математическое описание на основе современной науки о сетях [11], вовлекающей в обработку данных теорию графов, линейную алгебру и теорию вероятностей.

В одномерных конструкциях анализ временных рядов (сигналов) является достаточно развитым, но в многомерных случаях традиционно проблематичен. Для решения этих проблем в последние два десятилетия были разработаны новые уникальные методы, базирующиеся на использовании комплексных сетей. Эти методы предусматривают конвертирование сигналов в комплексные сети, последние подвергаются анализу мощными математическими инструментами, что обеспечивает понимание сути исходных сигналов. Системный обзор большинства существующих методов преобразования временных рядов в сети представлен в [12]. При этом сами методы постоянно развиваются и совершенствуются [13–15]. К одному из недостатков подхода можно отнести необходимость глубокого проникновения в содержание предметной области исследования и ее специфику при разработке сетевой онтологии и последующего создания модели, позволяющей проводить необходимый анализ сигналов с ощутимым практическим результатом. Сам по себе метод ориентирован на кросс-дисциплинарные, в значительной степени коллективные усилия разработчиков, что может натолкнуться на организационные проблемы.

Одним из явных преимуществ сетевого подхода, продолжающим указанный ранее недостаток, является его междисциплинарность. С помощью общего простого языка и наглядных визуализаций без использования специальной математики сетевые модели, как правило, понятны специалистам различных областей – как исследователям, так и техническим экспертам и управленцам. При этом, способствуя большему взаимопониманию, за счет объединенных усилий, подход позволяет внести корректировки и дополнения, обогащая сетевые модели, углубляя их смысл и одновременно предлагая простое применение на практике.

#### **Результаты**

Для разработки модели прогнозирования отказов карьерных самосвалов нами был выбран подход анализа данных, использующий в своей основе комплексные сети.

Целью исследования является снижение внеплановых простоев за счет установления взаимосвязи между отказами и временными рядами сигналов датчиков, фиксирующих параметры систем горных машин и оборудования, и последующего прогнозирования момента наступления отказа на основе разработанных сетевых моделей показателей работоспособности горных машин.

В качестве исходных данных для анализа используются показатели датчиков карьерных автосамосвалов, которые фиксируют текущее техническое состояние машин, статистику отказов основных систем, технико-эксплуатационные и технико-экономические показатели работы оборудования.

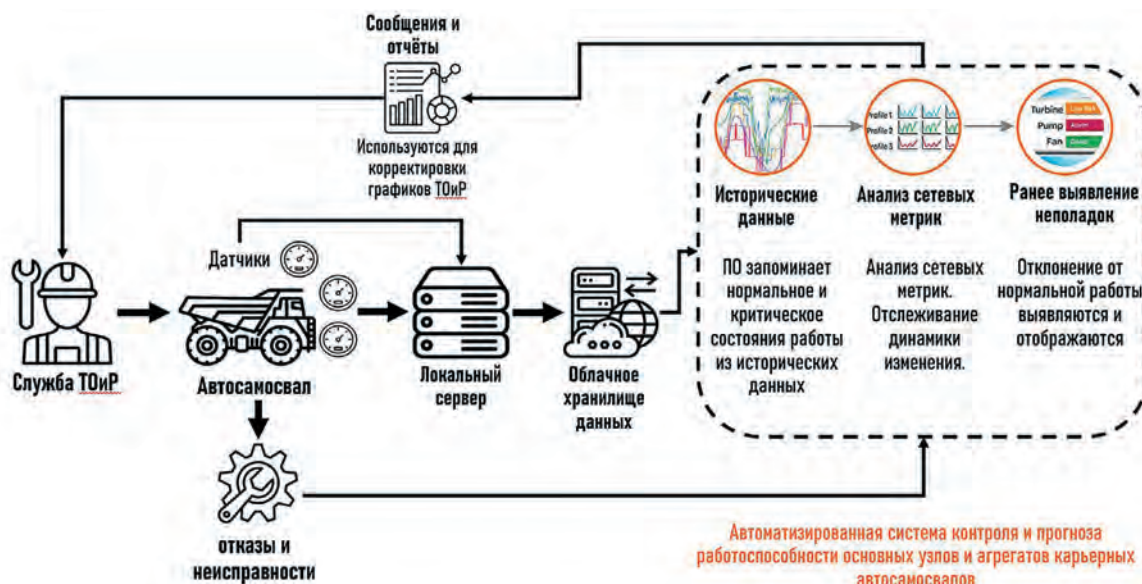


Рис. 1  
Логика работы автоматизированной системы

Fig. 1  
The logic of the automated system

После изучения статистики отказов за продолжительный период эксплуатации карьерных автосамосвалов Komatsu HD-1500-8, работающих в условиях горнодобывающего предприятия Восточной Сибири, был составлен топ-5 систем, наиболее подверженных отказам: ДВС, ходовая часть, электрооборудование, топливная система и прочие. Общее количество аварийных отказов за время эксплуатации составляет 1299 общей продолжительностью 13699,6 ч. Лидирующую позицию по продолжительности простоя занимает система ДВС, на которую приходится 9847,92 ч простоя, что составляет приблизительно 72% от общего времени простоя за исследуемый период эксплуатации самосвалов. Результаты анализа свидетельствуют о необходимости в дополнительном контроле этой системы. Исходя из анализа отказов и учёта наличия датчиков в качестве основной для прогноза отказов была выбрана система ДВС в совокупности с КПП.

Самосвалы Komatsu HD-1500-8 оснащены базовой системой контроля технического состояния, которая интегрирована в программу SAP PM. Система контроля включает в себя порядка 80 датчиков на всю машину. На выбранных для исследования системах это количество: ДВС – 29 датчиков (контролирующих температуру, давление, обороты, степень загрузки, расход и т.д.), КПП – 5 датчиков. Данные с датчиков поступают на локальный сервер с различной частотой и формируют базу данных, которая может использоваться при разработке системы прогнозирования отказов.

Процедура сбора и обработки для возможного использования выходной информации в системе представлена на рис. 1.

В основании автоматизированной системы контроля и прогноза работоспособности горных машин и оборудования заложена взаимосвязь между отказами карьерных автосамосвалов и особенностями сигналов с датчиков, фиксирующих параметры основных систем машины, что позволит своевременно выявить риск наступления отказа.

Для достижения целей и реализации задач заявленной работы предложено последовательное выполнение следующих ее этапов.

### Этап № 1. Анализ статистики отказов и датчиков

Этот этап включает в себя следующие работы:

- анализ статистики отказов машин с целью выявления степени зависимости между отказами и временными рядами сигналов, снимаемых с датчиков;
- оптимизация числа датчиков, сокращение общего числа датчиков до приемлемого значения с учетом экспертного мнения;
- выбор нескольких основных систем машины, наиболее зависимых к отказам.

### Этап №2. Анализ временных диапазонов сигналов

На втором этапе предстоит следующая работа:

- Поиск временных интервалов (как модельных для последующего анализа сигналов) на основе хронологических данных. Для решения этой задачи необходимо будет рассмотреть следующие интервалы работы машин (табл. 1).

Таблица 1  
Интервалы работы машины, необходимые для исследования

Table 1  
Machine operation intervals required for the study

Блок данных	Интервал работы
1	Интервал в процессе безотказной работы машины
2	Интервал в работе машины за 1–2 дня до отказа (системы)
3	Временной интервал в процессе отказа работы машины (системы)

### Этап №3. Предварительная подготовка данных

- Нормализация и очистка данных;
- Сетевизация: конвертирование временного ряда в сетевую структуру.

Подготовка алгоритма сетевизации для конкретной задачи является, как правило, трудоемким процессом. Подходящий алгоритм может быть выбран из набора, представленного в [12], который требует адаптации с учетом специфики данных, поступающих с датчиков состояния работоспособности горных машин. Для автоматизации



Рис. 2 Процедура нормализации и сетевизации данных

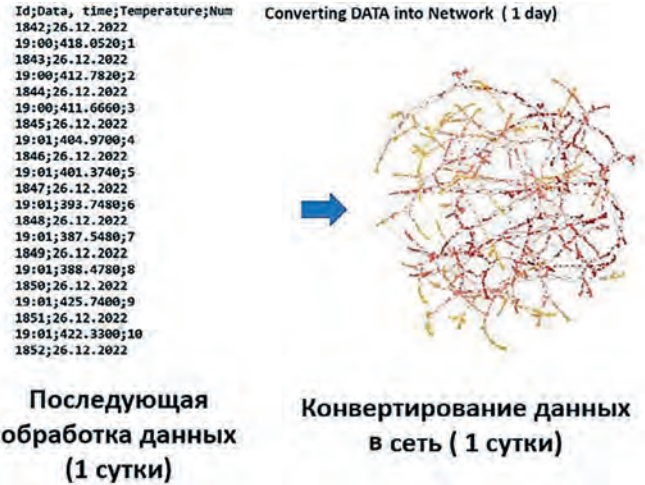


Fig. 2 Data normalization and networking procedure

преобразования временного ряда в сетевую структуру стандартными алгоритмами будет полезен недавно выпущенный общедоступный пакет ts2net [13].

Для апробации платформы в качестве пилотного варианта подготовлен программный код на языке Python, использующий алгоритм горизонтальной видимости HVG [14], дополненный скользящим окном [15] (рис. 2).

**Этап №4. Анализ сетевых структур**

Самый важный и трудоемкий этап, который включает в себя следующую работу:

- анализ сетевой структуры, поиск наиболее чувствительной метрики сети к отказу машины (сетевой маркера отказа) (рис. 3);
- разработка комплексного сетевого показателя работоспособности машины (сетевая метрика + надежность);
- отслеживание динамики изменения метрик во времени (вплоть до отказа машины) (рис. 4).

В качестве основного инструмента для автоматизации расчета метрик сетевых моделей и визуализации сетей использован популярный свободно распространяемый программный пакет обработки и визуализации сетевых структур Gephi [16]. Текущая версия Gephi 0.10.1, предлагающая консоль для ввода команд (язык программирова-

ния, подобный языку Python), позволяет устанавливать связи между узлами сети в соответствии с выбранной моделью конвертирования сигнала, поступающего с датчика, в комплексную сеть

**Этап № 5. Верификация и тестирование**

- Верификация и тестирование предлагаемой системы прогнозирования на статистически значимой выборке данных (сигналов, снимаемых с датчиков других машин).
- Внесение изменений в систему прогнозирования (согласование параметров и показателей по этапам 1–4).

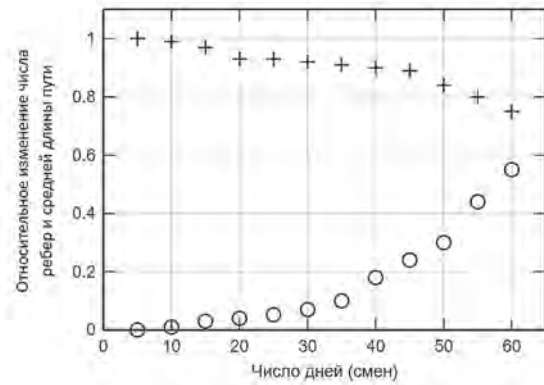


Рис. 4 Отслеживание динамики изменения метрик во времени  
○ число ребер графа сети, + средняя длина пути

Fig. 4 Tracking the dynamics of metrics changes over time  
○ number of network (graph) edges; + average path length

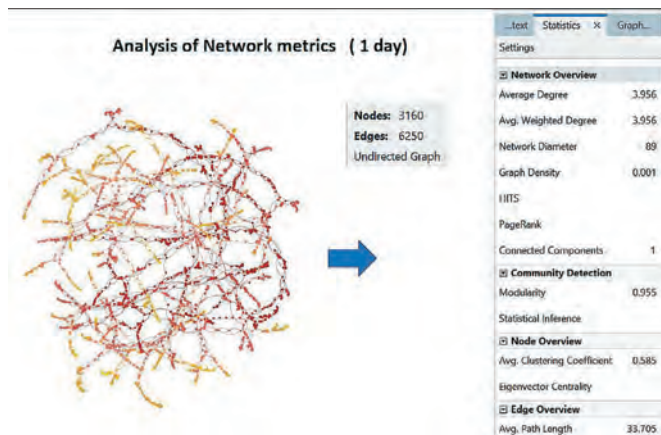


Рис. 3 Общий вид комплексной сети с метриками

Fig. 3 General view of an integrated network with metrics

Изложенная методика опробована авторами при выявлении взаимосвязи между отказами топливной системы автосамосвалов Komatsu HD 1500-8 и данными, снятыми с датчиков, установленных на машинах.

**Этап №1. Анализ статистики отказов и датчиков.**

В качестве отслеживаемых параметров использовались значения датчиков: расхода топлива и оборотов двигателя. В табл. 2 приведены неисправности топливной системы для одной из исследуемых машин.

**Этап №2. Анализ временных диапазонов сигналов.**

По значениям даты и времени неисправностей выбраны контрольные точки (блоки данных для дальнейшей обработки) (табл. 3).

Таблица 2  
Неисправности топливной системы

Дата неисправности	Причина неисправности	Вито ТООР
12.01.2023	Загрязнение топлива и топливных фильтров	Замена топливного фильтра
15.01.2023	Загрязнение топлива и топливных фильтров	Очистка топливной сетки фильтра
17.01.2023	Неисправность топливной системы; Причины: Индикация ошибки топливной систем	Ревизия топливной системы
18.01.2023	Неисправность топливной системы	Замена фильтров
18.01.2023	Неисправность топливной системы – Нестабильная работа датчика управления подачей топлива	–

Table 2  
Fuel system malfunctions

Таблица 3  
Дни, выбранные для анализа

Дата	Характеристика дня	Общее количество значений показателя	
		Датчик «Расхода топлива двигателя»	Датчик «Оборотов двигателя»
30.12.2022	День, далёкий от неисправности	17280	17280
11.01.2023	Пограничный день	16954	16954
12.01.2023	День, когда была неисправность	16404	16404
13.01.2023	День после неисправности	4628	4628
14.01.2023	Пограничный день	3550	3550
17.01.2023	День, когда была неисправность	7128	7128

Table 3  
The days selected for analysis

ки изменения как для исследуемой машины, так и для аналогичной без вышеуказанных неисправностей топливной системы (рис. 5) для установления промежуточной связи отказа и значениями датчиков.

На рис. 5 синим цветом показано изменение расхода топлива для машины с неисправностями, красным цветом – для машины без неисправностей. Среднемесячные значения получились следующими: 87,39 л/ч для машины с неисправностями и 80,25 л/ч без неисправностей, причем различие составило порядка 10%. Также из рисунка видно, что пик приходится на 06.01.23, после чего последовал ряд неисправностей. Следует уточнить, что машины работали в одинаковых условиях.

**Этап № 4. Анализ сетевых структур.** После нормализации временные ряды выбранных дней были конвертированы в сетевую структуру и проанализированы, в результате чего предложена гипотеза о количестве связей как наиболее чувствительной метрики, значение которой растет к дню, когда были зафиксированы неисправности.

**Этап №3. Предобработка данных.** Далее для выбранных блоков данных проведена нормализация и очистка: структурирование временного ряда; удаление повторяющихся значений показателей в пределах одной минуты. Затем, после усреднения суточных расходов топлива были построены диаграммы для отслеживания динамики

**Закключение**

Разработка автоматизированной системы контроля и прогнозирования работоспособности карьерного автотранспорта является актуальной и перспективной задачей, решение которой позволит: оптимизировать функционирование оборудования; своевременно проводить ТОиР; снизить аварийные простои и, как следствие, повы-



Рис. 5  
Сравнительная диаграмма среднесуточного расхода топлива в январе для машины с неисправностями (синяя линия) и без (красная линия)

Fig. 5  
Comparative diagram of the average daily fuel consumption in January for a car with (Blue line) and without malfunctions (Red line)

свить производительность горнодобывающих предприятий.

В ходе исследования авторами были:

1. Проанализированы и уточнены понятия и термины тематики цифровой трансформации в применении к горнодобывающей промышленности.

2. Проведено краткое сравнение современных методов анализа оцифрованного сигнала и сопутствующего прогноза поведения исследуемой системы. Данная проблематика является ключевой при построении модели функционирования узлов и агрегатов для отслеживания процесса снижения ресурса горнотранспортного оборудования.

3. Выбран сетевой подход анализа данных на основе комплексных сетей в качестве основы для разработки модели прогнозирования отказов горных машин.

По завершении исследования предложена следующая последовательность этапов проектных работ:

- анализ статистики отказов и датчиков;
- определение временных диапазонов сигналов;
- сетевизация (конвертирование в сетевые структуры) данных;

- выявление связи метрик сетевых структур со снижением ресурса машин;

- верификация и тестирование системы прогнозирования.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что предложенный подход вполне работоспособен и позволяет установить взаимосвязь между данными, снимаемыми с датчиков, и отказами систем. Изменяющиеся метрики сети могут сигнализировать о возможных отказах, что позволит разработать комплексный сетевой показатель количественной оценки модели прогноза.

Далее планируется пилотная реализация данной концепции прогноза отказов горнотранспортного оборудования на основе данных для ДВС.

В последующем авторы предполагают осуществить разработку и внедрение автоматизированной системы контроля и прогноза работоспособности основных узлов и агрегатов карьерных автосамосвалов с отслеживанием динамики изменения метрик и поиском их предельных значений.

**Список литературы / References**

1. Великанов В.С., Мусонов О.С., Панфилова О.Р., Ильина Е.А., Дёрина Н.В. Инструменты предиктивной аналитики в минимизации отказов горнотранспортного оборудования. *Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова*. 2021;19(4):5–15. <https://doi.org/10.18503/1995-2732-2021-19-4-5-15>  
Velikanov V.S., Musonov O.S., Panfilova O.R., Ilina E.A., Dyorina N.V. Predictive analytics tools in minimising mining equipment failures. *Vestnik of Novos Magnitogorsk State Technical University*. 2021;19(4):5–15. (In Russ.) <https://doi.org/10.18503/1995-2732-2021-19-4-5-15>
2. Балакин Ю.А., Вылцан С.С., Должко Д.М. Влияние технического диагностирования на повышение точности прогнозирования остаточного срока службы горнотранспортного оборудования. *Молодой ученый*. 2015;(7):88–91. Режим доступа: <https://moluch.ru/archive/87/16626/> (дата обращения: 04.12.2023).  
Balakin N.A., Vyltsan S.S., Dolzhko D.M. The influence of a feasibility study on improving the accuracy of forecasting using the mining equipment service. *Molodoy Ucheniy*. 2015;(7):88–91. (In Russ.) Available at: <https://moluch.ru/archive/87/16626/> (accessed: 04.12.2023).
3. Храмовских В.А., Шевченко А.Н., Непомнящих К.А. Адаптивный интеллектуальный анализ данных как инструмент для прогнозирования ресурса узлов горных машин и оборудования. *Науки о Земле и недروпользование*. 2023;46(2):212–225. <https://doi.org/10.21285/2686-9993-2023-46-2-212-225>  
Khramovskikh V.A., Shevchenko A.N., Nepomnyashchikh K.A. Adaptive data mining as a tool to predict mining machinery and equipment assembly life. *Earth Sciences and Subsoil Use*. 2023;46(2):212–225. (In Russ.) <https://doi.org/10.21285/2686-9993-2023-46-2-212-225>.
4. Гришин И.А., Великанов В.С., Назаров О.В., Дёрина Н.В. О возможности использования метода локальной аппроксимации для прогноза нерегулярных временных рядов отказов горнотранспортных машин. *Уголь*. 2022;(3):84–89. <https://doi.org/10.18796/0041-5790-2022-3-84-89>  
Grishin I.A., Velikanov V.S., Nazarov O.V., Dyorina N.V. On the possibility of using the local approximation method to predict irregular time series of mining machine failures. *Ugol*. 2022;(3):84–89. (In Russ.) <https://doi.org/10.18796/0041-5790-2022-3-84-89>
5. Ромашихин М.Ю., Горбоконенко П.А. Реализация оконного преобразования Фурье на FPGA для спектрального анализа нестационарных сигналов. В кн.: Юрасова Н.В. (ред.) *Инновационные технологии, в электронике и приборостроении: сб. докл. Российской науч.-техн. конф. с междунар. участием, г. Москва, 5–12 апр. 2021 г.* М.: МИРЭА – Российский технологический университет; 2021. Т. 1. С. 177–182.
6. Долгих Н.Н., Набиуллин Р.А., Шаповалов П.В., Шумская Н.В. Обзор методов применения вейвлет преобразования для анализа искажения показателей качества электроэнергии в системах электроснабжения. В кн.: *Технические науки – от теории к практике: сб. материалов 52-й Междунар. науч.-практ. конф.* Новосибирск: СибАК; 2015. С. 114–120.
7. Потапов А.А. Фрактальные модели и методы на основе скейлинга в фундаментальных и прикладных проблемах современной физики. В кн.: Горелик В.С., Морозов А.Н. (ред.) *Необратимые процессы в природе и технике: сб. науч. тр.* М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана; 2008. Вып. 2. С. 5–107.
8. Marwan N., Carmen Romano M., Thiel M., Kurths J. Recurrence plots for the analysis of complex systems. *Physics Reports*. 2007;438:237–329. <https://doi.org/10.1016/j.physrep.2006.11.001>
9. Бельков С.А., Малыгин И.В. Использование нейронной сети для обнаружения и идентификации помех при приеме шумоподобного сигнала. *Физика волновых процессов и радиотехнические системы*. 2019;22(2):37–43. <https://doi.org/10.18469/1810-3189.2019.22.2.37-43>  
Belkov S.A., Malygin I.V. Use of the neural network for detection and identification of interference when receiving a spread spectrum signal. *Physics of Wave Processes and Radio Systems*. 2019;22(2):37–43. (In Russ.) <https://doi.org/10.18469/1810-3189.2019.22.2.37-43>

10. Меркушева А.В. Применение нейронной сети для текущего анализа нестационарного сигнала (речи), представленного его вейвлет-отображением. II. Исследование и оптимизация нейронной сети. *Научное приборостроение*. 2003;13(1):72–84.  
Merkusheva A.V. Application of a neural network to on-line analysis of non-stationary (speech) signals represented by their wavelet transform. II. Study and optimization of the neural network. *Nauchnoe Priborostroenie*. 2003;13(1):72–84. (In Russ.)
11. Vespignani A. Twenty years of network science. *Nature*. 2018;558(7711):528–529. <https://doi.org/10.1038/d41586-018-05444-y>
12. Silva V.F., Silva M.E., Ribeiro P., Silva F. Time series analysis via network science: Concepts and algorithms. *WIREs Data Mining and Knowledge Discovery*. 2021;11(3):e1404. <https://doi.org/10.1002/widm.1404>
13. Ferreira L.N. *From Time Series to Networks in R with the ts2net Package*. arXiv:2208.09660 [cs.SI]. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2208.09660>
14. Luque B., Lacasa L., Ballesteros F., Luque J. Horizontal visibility graphs: Exact results for random time series. *Physical Review E*. 2009;80(4):046103. <https://doi.org/10.1103/physreve.80.046103>
15. Carmona-Cabezas R., Gomez-Gomez J., Gutierrez de Rave E., Jimenez-Hornero F.J. A sliding window-based algorithm for faster transformation of time series into complex networks. *Chaos*. 2019;29(10):103121. <https://doi.org/10.1063/1.5112782>
16. Bastian M., Heymann S., Jacomy M. Gephi: An Open Source Software for Exploring and Manipulating Networks. *Proceedings of the International AAAI Conference on Web and Social Media*. 2009;3(1):361–362. <https://doi.org/10.1609/icwsm.v3i1.13937>

#### Информация об авторах

**Зырянов Игорь Владимирович** – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой горного дела, Политехнический институт (филиал) Северо-Восточного Федерального университета им. М.К. Аммосова в г. Мирном, г. Мирный, Российская Федерация; профессор кафедры горных машин и электромеханических систем, Институт недропользования, Иркутский национальный исследовательский технический университет, г. Иркутск, Российская Федерация; e-mail: [zyryanoviv@inbox.ru](mailto:zyryanoviv@inbox.ru)

**Корняков Михаил Викторович** – доктор технических наук, доцент, ректор, председатель ученого совета, Институт недропользования, Иркутский национальный исследовательский технический университет, г. Иркутск, Российская Федерация; e-mail: [rector@istu.edu](mailto:rector@istu.edu)

**Непомнящих Кирилл Андреевич** – аспирант, ассистент кафедры горных машин и электромеханических систем, Институт недропользования, Иркутский национальный исследовательский технический университет, г. Иркутск, Российская Федерация; e-mail: [nka@istu.edu](mailto:nka@istu.edu)

**Труфанов Андрей Иванович** – кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник, доцент института информационных технологий и анализа данных, Иркутский национальный исследовательский технический университет, г. Иркутск, Российская Федерация; e-mail: [troufan@istu.edu](mailto:troufan@istu.edu)

**Храмовских Виталий Александрович** – кандидат технических наук, доцент кафедры горных машин и электромеханических систем, и.о. заведующего кафедрой горных машин и электромеханических систем, Институт недропользования, Иркутский национальный исследовательский технический университет, г. Иркутск, Российская Федерация; e-mail: [wax@istu.edu](mailto:wax@istu.edu)

**Шевченко Алексей Николаевич** – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры горных машин и электромеханических систем, директор Института недропользования, Иркутский национальный исследовательский технический университет, г. Иркутск, Российская Федерация; e-mail: [shan@istu.edu](mailto:shan@istu.edu)

#### Information about the authors

**Igor V. Zyryanov** – Dr. Sci. (Eng.), Professor, Head of the Mining Department of the Polytechnic Institute (branch), M.K. Ammosov North-Eastern Federal University, Mirnyy, Russian Federation; Professor the Department of Mining Machinery and Electromechanical Systems, Institute of Subsoil Use, Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russian Federation, e-mail: [zyryanoviv@inbox.ru](mailto:zyryanoviv@inbox.ru)

**Mikhail V. Korniyakov** – Dr. Sci. (Eng.), Associate Professor, Rector, Chairman of the Academic Council, Chairman of the Scientific and Technical Council, President of the bandy team, President of the All-Russian Student Bandy League. Institute of Subsoil Use, Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russian Federation; e-mail: [rector@istu.edu](mailto:rector@istu.edu)

**Kirill A. Nepomnyashchikh** – Postgraduate Student, Assistant at the Department of Mining Machinery and Electromechanical Systems, Institute of Subsoil Use, Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russian Federation; e-mail: [nka@istu.edu](mailto:nka@istu.edu)

**Andrey I. Troufanov** – Candi. Sci. (Phys. and Math.), Associate Professor, Institute of Information Technology and Data Analysis, Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russian Federation; e-mail: [troufan@istu.edu](mailto:troufan@istu.edu)

**Vitaly A. Khramovskikh** – Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Mining Machines and Electromechanical Systems, Acting Head of the Department of GMiEMS, Institute of Subsoil Use, Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russian Federation; e-mail: [wax@istu.edu](mailto:wax@istu.edu)

**Alexey N. Shevchenko** – Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Mining Machinery and Electromechanical Systems, Director of the Institute of Subsoil Use, Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russian Federation; e-mail: [shan@istu.edu](mailto:shan@istu.edu)

#### Article info

Received: 27.03.2024

Revised: 08.05.2024

Accepted: 12.05.2024

#### Информация о статье

Поступила в редакцию: 27.03.2024

Поступила после рецензирования: 08.05.2024

Принята к публикации: 12.05.2024

# Формирование цифровой модели угольного месторождения в горно-геологической информационной системе МАЙНФРЭЙМ

К.Ю. Анистратов✉, О.В. Наговицын, Г.О. Наговицын, М.О. Васильева

Горный институт Кольского научного центра Российской академии наук, г. Апатиты, Российская Федерация

✉ k.anistratov@yandex.ru

**Резюме:** Цифровизация управления предприятиями на основе внедрения российского программного обеспечения является основной тенденцией развития горнодобывающей отрасли страны. Резкие колебания спроса и цен на рынках минерального сырья, а также развитие технических средств механизации и автоматизации технологических процессов при системном росте их стоимости влияют на финансовые показатели работы горнодобывающих предприятий. Это обуславливает необходимость быстрого принятия технических, технологических и организационных решений, что наряду с требованиями собственников предприятий и регуляторов к получению оперативной, достоверной и максимально полной информации о работе определяет острую потребность в скорейшем внедрении цифровой системы управления горным производством. В статье описывается алгоритм формирования цифровой модели горно-геологической системы, включающей в себя цифровую геологическую модель месторождения, цифровые модели горных выработок и топоповерхности, на основе опыта создания трехмерных цифровых моделей сложноструктурных угольных месторождений. Базовым программным комплексом построения цифровой системы управления горнодобывающих предприятий является горно-геологическая информационная система МАЙНФРЕЙМ, разработанная в Горном институте Кольского научного центра РАН. МАЙНФРЕЙМ позволяет выполнять полный комплекс работ, направленных на создание цифровой трехмерной модели горно-геологической системы угольного месторождения с возможностью учитывать в моделировании сложную структуру залегания пластов. Точность и корректность введенных данных геологического опробования достигаются за счет инструментов проверки на ошибки в таблицах координат устьев скважин, инклинометрии и опробования. Методы каркасного моделирования, реализованные в МАЙНФРЕЙМ, обеспечивают возможность создания каркасных моделей пластов с высокой детализацией в местах разрывных нарушений.

**Ключевые слова:** горно-геологическая информационная система, МАЙНФРЕЙМ, цифровая модель угольного месторождения, каркасная модель угольных пластов, блочная модель угольных пластов

**Для цитирования:** Анистратов К.Ю., Наговицын О.В., Наговицын Г.О., Васильева М.О. Формирование цифровой модели угольного месторождения в горно-геологической информационной системе МАЙНФРЭЙМ. Горная промышленность. 2024;(3):64–69. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2024-3-64-69>

## Designing a digital model of a coal deposit in the MINEFRAME mining and geological information system

K.Y. Anistratov✉, O.V. Nagovitsyn, G.O. Nagovitsyn, M.O. Vasileva

Mining Institute Kola Science Centre of the Russian Academy of Sciences, Apatity, Russian Federation

✉ k.anistratov@yandex.ru

**Abstract:** Digitalization of enterprise management using Russian software is the main trend in the development of the country's mining sector. Sharp fluctuations in demand and prices in the mineral markets, as well as the development of technical tools for mechanization and automation of technological processes along with a systematic increase in their cost affect the financial performance of mining companies. This determines the need for a rapid adoption of technical, technological and organizational decisions, which, along with the requirements of the company's owners and regulators to obtain prompt, reliable and the most complete information about the production process explains the urgent need for the prompt introduction of digital control systems for mining operations. In the article the authors describe an algorithm to design a digital model of the mining and geological system, including a digital geological model of the deposit, digital models of mine workings and the surface topography, based on the experience of creating three-dimensional digital models of complex-structured coal deposits. The basic software suite for designing a digital management system for mining operations is the MINEFRAME mining and geological information system developed at the Mining Institute of the Kola Scientific Center of the Russian Academy of Sciences. MINEFRAME allows to perform a full range of tasks aimed at creation of a digital 3D model of the mining and geological system for a coal deposit with the possibility to account for the complex bedding in the modelling. High accuracy and correctness of the input geological sampling data is achieved by means of tools to check for errors in the tables of borehole collar coordinates, inclinometry and sampling. The

wireframe modelling methods implemented in MINEFRAME provide the possibility to create wireframe models of seams with high detail in the fracture zones.

**Keywords:** mining and geological information system, MINEFRAME, digital model of coal deposit, wireframe model of coal seams, block model of coal seams

**For citation:** Anistratov K.Y., Nagovitsyn O.V., Nagovitsyn G.O., Vasileva M.O. Designing of a digital model of a coal deposit in the MINEFRAME mining and geological information system. *Russian Mining Industry*. 2024;(3):64–69. (In Russ.) <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2024-3-64-69>

**Введение**

Основной тенденцией развития горнодобывающей отрасли России является **цифровизация управления горными предприятиями на основе внедрения отечественного программного обеспечения**, обеспечивающего технологический суверенитет страны [1].

Разработка месторождений полезных ископаемых ведется в изменяющихся природно-технологических условиях, характеризующихся изменением геометрии выработанного пространства, пополнением данных о геологии залежей по мере отработки, динамикой показателей работы горного оборудования, определяющих структуру комплексной механизации карьеров.

Резкие колебания спроса и цен на рынках минерально-го сырья, а также развитие технических средств механизации и автоматизации технологических процессов при системном росте их стоимости влияют на финансовые показатели работы горнодобывающих предприятий, обуславливая необходимость быстрого принятия технических, технологических и организационных решений.

Все это совместно с требованиями собственников предприятий и регуляторов к получению оперативной, достоверной и максимально полной информации о работе определяет острую потребность в скорейшем внедрении **Цифровой системы управления горным производством**.

Конечной целью внедрения **Цифровой системы управления горным производством** является формирование технико-экономической модели горного предприятия как инструмента для анализа операционной и финансово-экономической деятельности предприятия и моделирования различных сценариев развития, на основе которой обеспечивается принятие оптимальных решений при оперативном управлении, планировании текущей деятельности, формировании планов развития предприятия в средней и долгосрочной перспективе, проектировании, а также инвестиционной деятельности с учетом изменения спроса и цен на минерально-сырьевые ресурсы, оборудование и технологии на мировом рынке [2–4].

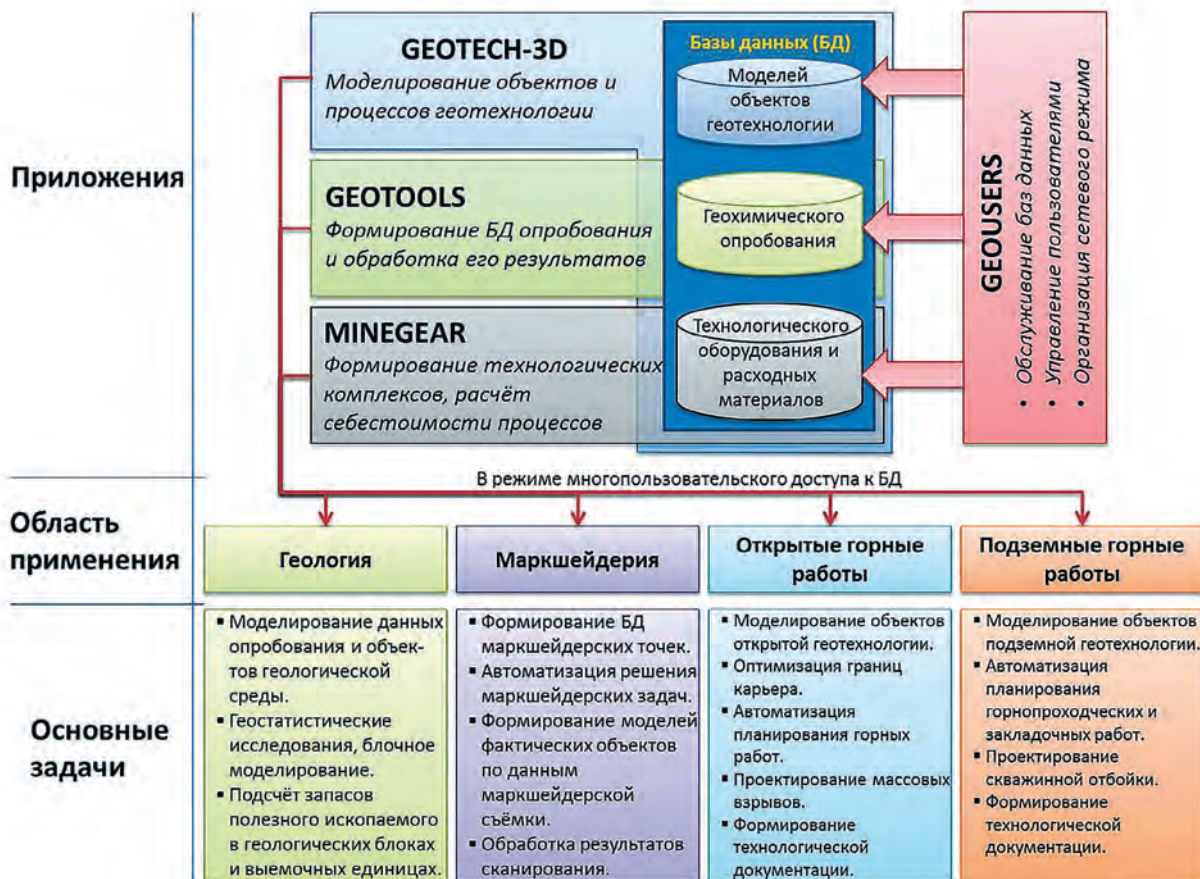


Рис. 1  
Структура ГГИС МАЙНФРЕЙМ

Fig. 1  
Structure of the MINEFRAME

Базовым программным комплексом построения цифровой системы управления горнодобывающих предприятий является горно-геологическая информационная система (ГИС) **МАЙНФРЕЙМ**<sup>1</sup>, разработанная в Горном институте Кольского научного центра РАН, в состав которой входят средства для решения широкого перечня геологических, маркшейдерских и технологических задач [5; 6]. Инструменты и программные модули ГИС базируются на едином моделирующем ядре, унифицированном доступе к моделям объектов, хранящихся в базе данных (БД), и единообразном пользовательском интерфейсе.

В состав ГИС **МАЙНФРЕЙМ** входят четыре приложения [7]:

1. многооконный графический редактор **GEOTECH-3D**, содержащий инструменты для работы с моделями объектов горной технологии (ОГТ) в 3D-виртуальном пространстве;
2. редактор геологической БД **GEOTOOLS**, обеспечивающий формирование БД геологического опробования (ГО) месторождения, формирование геологической колонки и выделение рудных интервалов;
3. программа управления БД **GEOUSERS**, содержащая список пользователей, имеющих доступ к данным с установленными ограничениями, а также инструменты восстановления изменённых моделей объектов;
4. программа-справочник БД технологического оборудования и расходных материалов **MINEGEAR**, предназначенная для формирования моделей технологических комплексов.

Функционал и архитектура ГИС **МАЙНФРЕЙМ** позволяют использовать ее как в качестве индивидуальных рабочих мест геологов, маркшейдеров, технологов, так и в качестве геоинформационной системы горнодобывающего предприятия<sup>2</sup>, обеспечивающей за счет режима коллективного доступа к моделям ОГТ и развитых средств 3D-визуализации формирование единого виртуального пространства предприятия.

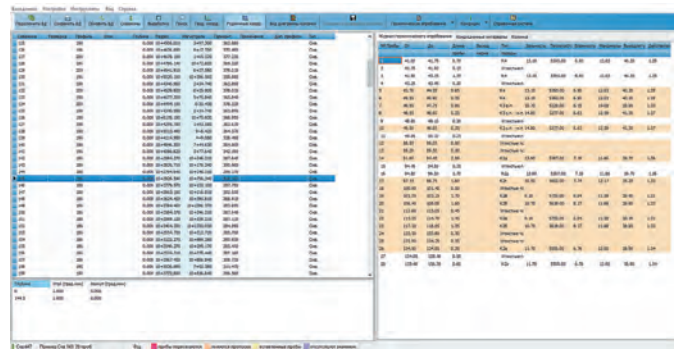
Основополагающей цифровой моделью (ЦМ) в цифровой системе управления горным производством является **цифровая трехмерная модель горно-геологической системы**, объединяющая в себе цифровую геологическую модель, цифровые модели горных выработок и топоповерхности месторождения, опыт создания которых к настоящему времени уже достаточно широк в различных ГИС [8–11].

**Формирование цифровой модели**

Процесс создания цифровых геологических моделей в ГИС **МАЙНФРЕЙМ** выполняется последовательно и включает следующие этапы:

- формирование БД геологического опробования;
- отрисовка контуров угольных пластов на разрезах по разведочным линиям;
- моделирование каркасных ЦМ угольных пластов;
- моделирование блочных ЦМ угольных пластов;
- расчет качественных показателей.

Формирование БД геологического опробования осу-



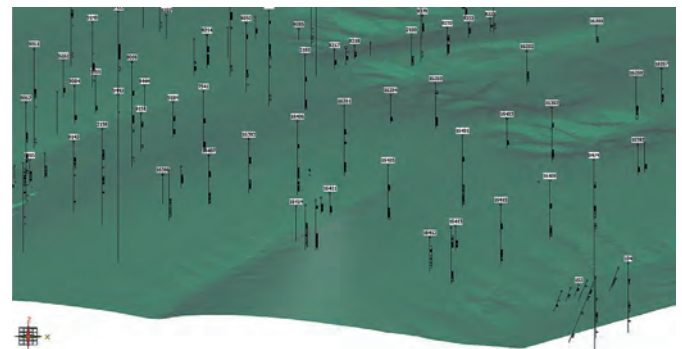
**Рис. 2**  
Отображение экранной формы БД скважин геологического опробования в ГИС **МАЙНФРЕЙМ**

**Fig. 2**  
A view of a screen form of the geologic database in the **MINEFRAME**

ществляется на основании данных геологической разведки. Геологическая БД (рис. 2) содержит в себе данные геологоразведочных скважин месторождения и интервалов опробования. Информация, которой наполняется БД, включает в себя данные о координатах устьев скважин, принадлежности их к разведочным линиям, инклинометрии скважин или интервалов скважин, данные интервалов опробования и качественные показатели. Геологическая БД является редактируемой с возможностью ее пополнения. Предусмотрен экспорт и импорт данных в файлы текстового и табличного формата.

На рис. 3 представлена визуализация данных опробования геологоразведочных скважин (ЦМ скважин в трехмерном рабочем пространстве) совместно с ЦМ топоповерхности месторождения.

ЦМ угольных пластов содержат элементы трехмерной графики: сечения и контуры, необходимые для построения каркасов объектов. Поэтому следующий этап формирования геологической ЦМ месторождения заключается в создании контуров контактов угольных пластов. Создаваемые контуры принадлежат сечениям модели. Расположение сечений в трехмерном пространстве моделирования соответствует расположению разведочных линий. Функционал ГИС **МАЙНФРЕЙМ** позволяет созда-

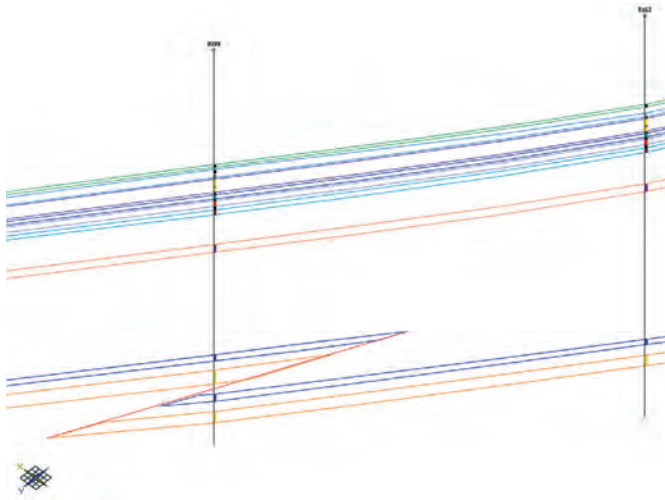


**Рис. 3**  
Цифровые модели геологоразведочных скважин и топоповерхности месторождения в трехмерном пространстве в ГИС **МАЙНФРЕЙМ**

**Fig. 3**  
Digital models of prospecting holes and topographic surface in three-dimensional space in the **MINEFRAME**

<sup>1</sup> **МАЙНФРЕЙМ** – горно-геологическая информационная система, предназначенная для комплексного решения широкого круга геологических, маркшейдерских и технологических задач, встречающихся в практике работы горнодобывающих предприятий, научных и проектных организаций.

<sup>2</sup> Лаборатория **МАЙНФРЕЙМ**. Режим доступа: <http://h406062474.nichost.ru/> (дата обращения 13.05.2024)



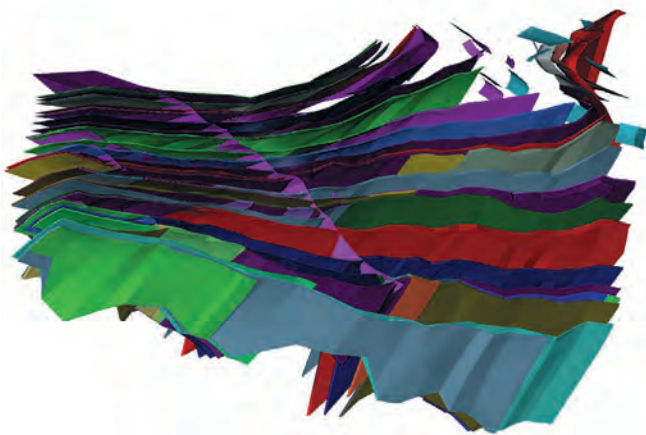
**Рис. 4**  
Импортированные из DXF в ГИС МАЙНФРЕЙМ контуры контактов угольных пластов

**Fig. 4**  
Coal seam contact contours imported from DXF to the MINEFRAME

X	Y	Z	dx	dy	dz	COAL_ASH	WAST_ASH	SEAM_ASH	COAL_MTK	SEAM_MTK	SEAM_DSP	DMK	
1	21404.128	87427.500	262.089	5.00	5.00	5.00	7.23	22.25	10.83	5.07	5.17	12.25	-1.00
2	21409.066	87425.500	261.267	5.00	5.00	5.00	7.29	22.61	10.82	5.11	5.19	12.26	-1.00
3	21399.189	87427.500	262.871	5.00	5.00	5.00	7.87	21.96	11.42	5.04	5.13	12.30	-1.00
4	21454.128	87427.500	262.889	5.00	5.00	5.00	7.36	22.53	10.86	5.09	5.17	12.25	-1.00
5	21409.066	87427.500	261.267	5.00	5.00	5.00	7.32	22.69	11.45	5.16	5.22	12.44	-1.00
6	21408.284	87427.500	258.389	5.00	5.00	5.00	9.89	19.32	14.49	5.19	5.25	12.62	-1.00
7	21414.005	87425.500	265.525	5.00	5.00	5.00	9.49	19.28	14.56	5.28	5.33	12.46	-1.00
8	21415.222	87427.500	255.884	5.00	5.00	5.00	8.21	-8.10	13.20	5.27	5.31	12.61	-1.00
9	21399.189	87432.500	262.871	5.00	5.00	5.00	8.22	-8.89	10.49	5.09	5.17	12.35	-1.00
10	21454.128	87432.500	262.889	5.00	5.00	5.00	7.63	26.87	8.61	5.13	5.20	12.36	-1.00
11	21409.066	87425.500	261.267	5.00	5.00	5.00	7.88	22.77	8.56	5.16	5.21	12.42	-1.00
12	21408.284	87425.500	256.389	5.00	5.00	5.00	10.33	19.24	14.47	5.24	5.29	12.39	-1.00
13	21414.005	87425.500	265.525	5.00	5.00	5.00	9.76	19.62	14.52	5.18	5.23	12.41	-1.00
14	21415.222	87424.500	255.886	5.00	5.00	5.00	9.19	-8.69	11.82	5.20	5.23	12.69	-1.00
15	21418.161	87432.500	254.804	5.00	5.00	5.00	8.74	-8.12	12.25	4.15	4.17	9.92	-1.00
16	21394.251	87432.500	263.654	5.00	5.00	5.00	8.16	-26.51	10.52	3.87	3.93	8.51	-1.00
17	21398.189	87439.500	262.871	5.00	5.00	5.00	8.14	-26.79	10.34	5.08	5.16	12.82	-1.00
18	21404.128	87425.500	262.089	5.00	5.00	5.00	7.55	27.66	8.65	5.13	5.19	12.37	-1.00
19	21405.346	87429.500	257.151	5.00	5.00	5.00	15.68	15.62	14.68	5.19	5.24	12.50	-1.00
20	21409.066	87427.500	261.267	5.00	5.00	5.00	7.80	27.33	8.60	5.16	5.20	12.39	-1.00
21	21408.284	87432.500	258.389	5.00	5.00	5.00	10.33	14.30	14.43	5.16	5.23	12.36	-1.00
22	21414.005	87427.500	265.525	5.00	5.00	5.00	9.75	19.27	12.66	5.16	5.18	12.24	-1.00
23	21415.222	87425.500	255.886	5.00	5.00	5.00	8.20	-8.68	11.81	4.14	4.15	9.88	-1.00
24	21418.161	87427.500	254.804	5.00	5.00	5.00	9.62	16.73	13.43	5.10	5.11	10.16	-1.00
25	21418.161	87432.500	254.804	5.00	5.00	5.00	8.74	-8.11	11.42	4.15	4.26	10.12	-1.00
26	21399.189	87442.500	264.406	5.00	5.00	5.00	8.20	20.87	10.56	4.29	4.51	10.04	-1.00
27	21394.251	87442.500	263.654	5.00	5.00	5.00	8.26	-26.81	10.59	4.17	4.26	9.60	-1.00
28	21399.189	87442.500	262.871	5.00	5.00	5.00	8.18	-26.90	10.60	5.20	5.48	12.55	-1.00

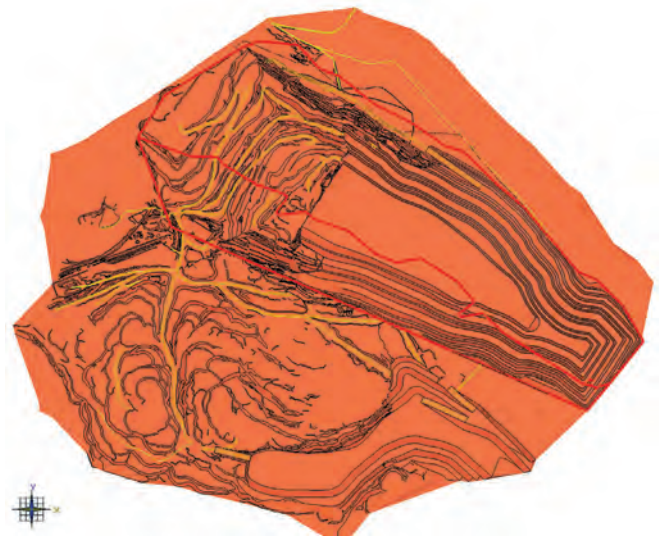
**Рис. 6**  
Табличное представление блочной модели в ГИС МАЙНФРЕЙМ

**Fig. 6**  
Tabular form of the block model in the MINEFRAME



**Рис. 5**  
Цифровая геологическая модель угольного месторождения в ГИС МАЙНФРЕЙМ

**Fig. 5**  
A digital geological model of a coal deposit in the MINEFRAME



**Рис. 7**  
Цифровая модель горных выработок на конец отработки месторождения в ГИС МАЙНФРЕЙМ

**Fig. 7**  
A digital model of a quarry at the end of mine phase in the MINEFRAME

вать контуры с привязкой к интервалам геологического опробования (рис. 4), обеспечивая тем самым точность положения точек контуров кровли и почвы пласта.

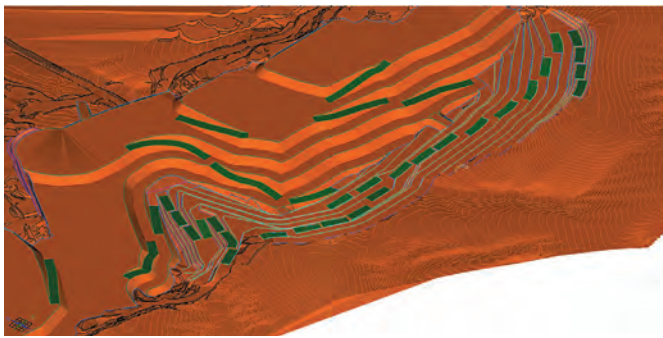
Для каркасного моделирования в ГИС разработаны автоматизированные инструменты, с помощью которых триангуляция выполняется с учетом всех контуров твердотельного объекта либо объекта поверхности. Для моделирования каркасных моделей угольных пластов, имеющих неправильные формы, сложное строение, большое количество разломов и нарушений, функционал МАЙНФРЕЙМ позволяет выполнять триангуляцию этапами, последовательно заполняя каркасом участки модели. В таком случае формирование поверхностей позволяет учитывать контакты пластов, принадлежащие разной системе разрезов.

На рис. 5 представлен результат каркасного моделирования сложноструктурного угольного месторождения, слагаемого пластами среднего падения, методом Кунса.

Поверхность, полученная таким способом моделирования, является более гладкой, плавной, детальной, что делает ее более схожей с реальными объектами.

На следующем этапе в границах цифровой каркасной модели каждого пласта создается блочная модель путем создания блоков заданных размеров. На основе данных геологического опробования выполняется автоматизированный расчет качественных показателей в каждом блоке блочных моделей. В ГИС МАЙНФРЕМ реализованы следующие методы расчета качества: обратных расстояний, ближайшей пробы, обычный и индикаторный кригинг. Полученное распределение качества можно отследить с помощью табличного представления блочной модели (рис. 6), а также визуально, наложив на блочную модель палитру с заданными цветами для значений качества по любому из компонентов.

ЦМ горных выработок и топоповерхности в ГИС могут быть созданы путем импорта их из DXF-файлов с сохране-



**Рис. 8**  
Цифровая модель горных выработок в ГГИС МАЙНФРЕЙМ

**Fig. 8**  
A digital model of mine workings in the MINEFRAME

нием всех элементов (слоев), наполняющих его. При этом в случае отсутствия трёхмерности объекта, то есть если контурам первоначально не были присвоены высотные отметки, объект может быть отредактирован в трехмерной рабочей области (рис. 7). После чего создается каркасная модель объекта.

Инструменты для проектирования открытых горных работ в ГГИС МАЙНФРЕЙМ позволяют автоматически при заданных условиях отстраивать уступы, элементы схемы вскрытия (траншеи и полутраншеи), ярусы отвалов в трехмерном пространстве моделирования (рис. 8).

Верификация созданных цифровых геологических моделей осуществляется путем подсчета запасов и сопоставления их с проектными данными. На рис. 9 приведена форма автоматизированного инструмента погоризонтного подсчета запасов, позволяющего произвести подсчет весовых и объемных показателей по каждому пласту с разбивкой на горизонты в заданном контуре.

**Рис. 9**  
Погоризонтный подсчет запасов в ГГИС МАЙНФРЕЙМ

**Fig. 9**  
Calculations of reserves in the MINEFRAME

### Заключение

Таким образом, отечественная горно-геологическая система МАЙНФРЕЙМ позволяет выполнять полный комплекс работ, направленных на создание цифровой трехмерной модели горно-геологической системы угольного месторождения с возможностью учитывать в моделировании сложную структуру залегания пластов. Точность и корректность введенных данных геологического опробования при формировании БД опробования с помощью геологического редактора в составе ГГИС достигаются за счет инструментов проверки на ошибки в таблицах координат устьев скважин, инклинометрии и опробования. Методы каркасного моделирования, реализованные в МАЙНФРЕЙМ, такие как триангуляция по методу Кунса и Делоне, обеспечивают возможность создания каркасных моделей пластов с высокой детализацией в местах разрывных нарушений.

### Список литературы / References

1. Лукичев С.В. Развитие отечественного программного обеспечения – это не только решение задачи импортозамещения, но и обеспечения технологической независимости страны. *Горная промышленность*. 2022;(2):12–14.  
Lukichev S.V. Development of the Russian software is not only a solution to the import substitution challenge, but also a way to ensure the country's technological independence. *Russian Mining Industry*. 2022;(2):12–14. (In Russ.)
2. Анистратов К.Ю., Васильева М.О. Принципы формирования цифровой системы управления производством горнодобывающего предприятия. В кн.: *Инновационные геотехнологии при разработке рудных и нерудных месторождений: сб. докл. 12-й Междунар. науч.-техн. конф., г. Екатеринбург, 6–7 апр. 2023 г.* Екатеринбург: Уральский государственный горный университет; 2023. С. 173–180.
3. Tivig D.F., Florea A., Manu C.S., Nache F., Nache R.A. Data collecting and processing for obtaining digital terrain and coal deposit model in mine planning and design. In: *19<sup>th</sup> International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2019, Albena, 30 June – 6 July 2019*, vol. 19, pp. 175–182. <https://doi.org/10.5593/sgem2019/1.3/S03.022>
4. Наговицын Г.О. Краткосрочное планирование открытых горных работ в горно-геологической информационной системе MINEFRAME. *Горная промышленность*. 2023;(5S):130–134. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2023-5S-130-134>  
Nagovitsyn G.O. Short-term planning of surface mining operations in the MINEFRAME mining and geological information system. *Russian Mining Industry*. 2023;(5S):130–134. (In Russ.) <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2023-5S-130-134>
5. Наговицын О.В. Развитие горно-геологической информационной системы в современных реалиях российской горнодобывающей отрасли. *Горная промышленность*. 2023;(5S):35–40. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2023-5S-35-40>  
Nagovitsyn O.V. Development of mining and geological information system in the present-day situation in the Russian mining industry. *Russian Mining Industry*. 2023;(5S):35–40. (In Russ.) <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2023-5S-35-40>

6. Лукичев С.В., Наговицын О.В., Ильин Е.А., Рудин Р.С. Цифровые технологии инженерного обеспечения горных работ – первый шаг к созданию «умного» добычного производства. *Горный журнал*. 2018;(7):86–90. <https://doi.org/10.17580/gzh.2018.07.17>  
Lukichev S.V., Nagovitsyn O.V., Ilin E.A., Rudin R.S. Digital technologies for sustainable engineering in mining – The first step towards a “smart mine”. *Gornyi Zhurnal*. 2018;(7):86–90. (In Russ.) <https://doi.org/10.17580/gzh.2018.07.17>
7. Лукичев С.В., Наговицын О.В. Компьютерная технология инженерного обеспечения горных работ при освоении месторождений твердых полезных ископаемых. *Горный журнал*. 2010;(9):15–20. Режим доступа: <https://www.rudmet.ru/journal/476/article/4435/> (дата обращения: 13.05.2024).  
Lukichev S.V., Nagovitsyn O.V. Computer technology of engineering support of mining operations during development of deposits of hard mineral resources. *Gornyi Zhurnal*. 2010;(9):15–20. (In Russ.) Available at: <https://www.rudmet.ru/journal/476/article/4435/> (accessed: 13.05.2024).
8. Алтаева А., Сьедина С., Балтиева А., Кашников Ю. Методика создания 3D-модели месторождения с применением геоинформационных технологий. *Вестник КазНУ. Серия географическая*. 2017;(2):94–102. Режим доступа: <https://bulletin-geography.kaznu.kz/index.php/1-geo/article/view/386/366> (дата обращения: 13.05.2024).  
Altaeva A., Sedina S., Baltieva A., Kashnikov Ju. Method for creating a 3D model of the field with the use of geoinformation technologies. *Journal of Geography and Environmental Management*. 2017;(2):94–102. (In Russ.) Available at: <https://bulletin-geography.kaznu.kz/index.php/1-geo/article/view/386/366> (accessed: 13.05.2024).
9. Гаврилов В.Л., Хюютанов Е.А. Особенности моделирования сложных по строению месторождений твердых полезных ископаемых. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2019;(S37):122–131.  
Gavrilov V.L., Khoutanov E.A. Particularities of modelling of structurally complicated solid mineral deposit. *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 2019;(S37):122–131. (In Russ.)
10. Liu J. Research and application of mineral deposit modeling technology. *Modelling Measurement and Control C*. 2017;78(4):478–495. Available at: [https://iicta.org/sites/default/files/Journals/MMC/MMC\\_C/78.04\\_06.pdf](https://iicta.org/sites/default/files/Journals/MMC/MMC_C/78.04_06.pdf) (accessed: 13.05.2024).
11. Sokoła-Szewioła V., Poniewiera M. Application of a digital model of deposit in Polish hard coal mines on the example of Polish Mining Group Ltd. In: Mueller C., Assibey-Bonsu W., Baafi E., Dauber C., Doran C., Jaszczuk M., Nagovitsyn O. (eds) *Mining Goes Digital: Proceedings of the 39<sup>th</sup> International Symposium “Application of Computers and Operations Research in the Mineral Industry” (APCOM 2019), June 4–6, 2019, Wrocław, Poland*. London: Taylor & Francis Group; 2019, pp. 344–353. Available at: <https://www.taylorfrancis.com/chapters/oa-edit/10.1201/9780429320774-40/application-digital-model-deposit-polish-hard-coal-mines-example-polish-mining-group-ltd-soko%C5%82a-szewio%C5%82a-poniewiera> (accessed: 13.05.2024).

#### Информация об авторах

**Анистратов Константин Юрьевич** – доктор технических наук, главный научный сотрудник, Горный институт Кольского научного центра Российской академии наук, г. Апатиты, Российская Федерация; e-mail: k.anistratov@yandex.ru

**Наговицын Олег Владимирович** – доктор технических наук, заместитель директора института по научной работе, заведующий лабораторией теории комплексного освоения и сохранения недр, Горный институт Кольского научного центра Российской академии наук, г. Апатиты, Российская Федерация; e-mail: o.nagovitsyn@ksc.ru

**Наговицын Григорий Олегович** – научный сотрудник, Горный институт Кольского научного центра Российской академии наук, г. Апатиты, Российская Федерация;

**Васильева Марианна Олеговна** – ведущий инженер, Горный институт Кольского научного центра Российской академии наук, г. Апатиты, Российская Федерация

#### Information about the authors

**Konstantin Yu. Anistratov** – Dr. Sci. (Eng.), Chief Research Associate, Mining Institute of the Kola Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, Apatity, Russian Federation; e-mail: k.anistratov@yandex.ru

**Oleg V. Nagovitsyn** – Dr. Sci. (Eng.), Deputy Director for Research, Head of Laboratory of Integrated Subsoil Development and Conservation Theory, Mining Institute of the Kola Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, Apatity, Russian Federation; e-mail: o.nagovitsyn@ksc.ru

**Gregory O. Nagovitsyn** – Research Associate, Mining Institute of the Kola Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, Apatity, Russian Federation; e-mail: g.nagovitsyn@ksc.ru

**Marianna O. Vasileva** – Lead Engineer, Mining Institute of the Kola Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, Apatity, Russian Federation

#### Article info

Received: 26.04.2024

Revised: 27.05.2024

Accepted: 31.05.2024

#### Информация о статье

Поступила в редакцию: 26.04.2024

Поступила после рецензирования: 27.05.2024

Принята к публикации: 31.05.2024

# Матрица бизнес-выгод как инструмент исследования потенциала цифровизации на примере мини-завода для производства невзрывчатых компонентов эмульсионных взрывчатых веществ

Т.С. Сахапова<sup>1</sup>✉, Д.М. Круть<sup>2</sup>, Е.Д. Обидина<sup>2</sup>, М.Д. Данилов<sup>2</sup>

<sup>1</sup> ООО «АЗОТТЕХ», г. Москва, Российская Федерация

<sup>2</sup> Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана, г. Москва, Российская Федерация

✉ t.sahapova@azottech.ru

**Резюме:** Современные решения построения бизнеса задают тенденцию к интеграции цифровых технологий во все сферы организации работы компании. Цифровизация играет ключевую роль в современном бизнесе, позволяя компаниям повышать эффективность процессов, сокращать издержки, улучшать качество продукции и обслуживания. Она также помогает быть конкурентоспособной на рынке и приспосабливаться к изменяющимся требованиям потребителей. Чтобы достичь максимальной эффективности от внедрения цифровизации, трансформация должна охватывать не только локальные бизнес-процессы и бизнес-модели, но и корпоративную культуру. В исследовании проведен анализ процесса изучения потенциала цифровизации для модульной передвижной установки (мини-завода) производства невзрывчатых компонентов эмульсионных взрывчатых веществ, разработанной компанией «АЗОТТЕХ». В ходе исследования были выявлены ключевые точки, необходимые для успешной реализации процесса цифровизации на мини-заводе, что может послужить основой для разработки стратегии внедрения цифрового двойника, а также применен современный подход в оценке эффективности с использованием матрицы бизнес-выгод.

**Ключевые слова:** Индустрия 4.0, матрица бизнес-выгод, цифровизация, цифровая трансформация, цифровой двойник

**Для цитирования:** Сахапова Т.С., Круть Д.М., Обидина Е.Д., Данилов М.Д. Матрица бизнес-выгод как инструмент исследования потенциала цифровизации на примере мини-завода для производства невзрывчатых компонентов эмульсионных взрывчатых веществ. *Горная промышленность*. 2024;(3):70–76. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2024-3-70-76>

## Matrix of business benefits as a tool to study the digitalization potential using a mini-plant to prepare non-explosive components of emulsion explosives

T.S. Sakhapova<sup>1</sup>✉, D.M. Krut<sup>2</sup>, E.D. Obidina<sup>2</sup>, M.D. Danilov<sup>2</sup>

<sup>1</sup> AZOTTECH LLC, Moscow, Russian Federation

<sup>2</sup> Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation

✉ t.sahapova@azottech.ru

**Abstract:** Modern business solutions set a trend towards integrating digital technologies into all areas of corporate organization. Digitalization plays a key role in modern business, enabling companies to increase the process efficiency, reduce costs, and improve product quality and maintenance efficiency. It also helps to be competitive in the marketplace and adapt to changing customer demands. In order to maximize the effects of implementing digitalization, the transformation needs to encompass not only the local business processes and business models, but also the corporate culture. The study analyses the process of exploring the digitalization potential for a modular mobile plant (mini-plant) that produces non-explosive components of emulsion explosives developed by AZOTTECH. The paper identifies the key points necessary for successful implementation of the digitalization process at the mini-plant, which can serve as a basis for designing a digital twin implementation strategy. It also describes application of a modern approach in performance evaluation using the matrix of business benefits.

**Keywords:** Industry 4.0, matrix of business benefits, digitalization, digital transformation, digital twin

**For citation:** Sakhapova T.S., Krut D.M., Obidina E.D., Danilov M.D. Matrix of business benefits as a tool to study the digitalization potential using a mini-plant to prepare non-explosive components of emulsion explosives. *Russian Mining Industry*. 2024;(3):70–76. (In Russ.) <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2024-3-70-76>

**Введение**

Современные решения построения бизнеса в условиях Индустрии 4.0 задают тенденцию к интеграции цифровых технологий во все сферы организации работы компании. Чтобы достичь максимальной эффективности от внедрения цифровизации, трансформация должна охватывать не только локальные бизнес-процессы и бизнес-модели, но и корпоративную культуру. Поэтому в рамках общей стратегии цифровой трансформации компания ООО «АЗОТТЕХ» (АЗОТТЕХ) сформировала концепцию развития бизнеса [1].

АЗОТТЕХ является одной из ведущих сервисных и производственных компаний для горной промышленности. Деятельность фирмы охватывает сервис в области буровзрывных работ, производство компонентов взрывчатого вещества с торговым наименованием «Березит®» [2], а также специализируется на изготовлении и обслуживании оборудования горнодобывающей отрасли. Используя IT-технологии, АЗОТТЕХ интегрирует свои процессы в общую цифровую экосистему, оптимизирует производство и взаимодействие с надзорными органами власти (органы Ростехнадзора и Гостехнадзора, налоговая служба и т.д.).

Цифровая трансформация представляет собой процесс модификации устаревших бизнес-процессов через внедрение передовых цифровых технологий. Всего можно выделить четыре этапа цифровой трансформации:

1. Ручное управление: нулевой этап цифровой трансформации, при котором поиск и исполнение всех решений осуществляются человеком.

2. Автоматизация: с внедрением автоматизации появляется поиск решений совместно человеком и системой, но исполнение остается в компетенции человека. Этот этап характеризуется внедрением существующих технологий, созданием аппаратной и информационной базы для будущего развития, началом цифровизации производственных процессов и тестированием перспективных технологий с упором на развитие мобильных решений.

3. Цифровизация: на стадии цифровизации поиск решений осуществляется системой, но ответственность за исполнение остается на человеке. На этом этапе происходит формирование единой ИТ-платформы, единого источника данных путем интеграции существующих баз данных.

4. Цифровая трансформация: внедрение цифровых технологий в систему управления компанией для того, чтобы полностью заменить устаревшие способы ведения бизнеса современными альтернативами.

С прохождением этапов снижается уровень участия в процессах человека и повышается уровень автономности системы. Полная цифровая трансформация, включающая поиск и исполнение решений с помощью систем, наступает на последнем уровне за счет внедрения технологий

работы с Большими данными и машинного обучения, завершая развертывание технологий третьего уровня.

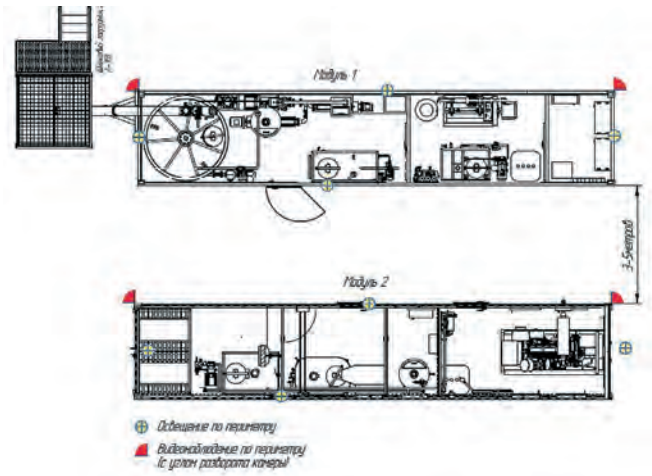
АЗОТТЕХ стоит на третьем этапе цифровой трансформации, одним из решений которого является внедрение цифрового двойника в реальное производство. В качестве объекта реального производства был выбран мини-завод – Установка модульная передвижная производства невзрывчатых компонентов эмульсионных взрывчатых веществ (УМПП НК ЭВВ) [3]. УМПП НК ЭВВ предназначена для изготовления невзрывчатых компонентов эмульсионных взрывчатых веществ с последующей их подачей в доставщики или непосредственно в зарядную машину и представляет собой технологическое оборудование, размещенное в модулях с размерами стандартных контейнеров, конфигурация и количество которых предусматривает раздельное нахождение основного узла (производство эмульсионной матрицы) и узла приготовления газогенерирующей добавки (ГГД). Этот инновационный завод обладает рядом преимуществ:

1. **Автономность:** благодаря встроенному электрогенератору, мини-завод не требует капитального строительства и подключения к инженерным коммуникациям.

2. **Эффективность:** мини-завод на колесах обеспечивает производительность до 10 000 т НК ЭВВ в год при полной загрузке, функционируя как полноценный завод.

3. **Мобильность:** возможность быстрого перемещения производства на другой объект и изготовления НК ЭВВ в непосредственной близости от месторождения обеспечивает заводу высокую универсальность.

Мини-завод состоит из двух модулей, описание которых представлено в табл. 1. Расположение модулей представлено на рис. 1.



**Рис. 1**  
Расположение модулей мини-завода электрического исполнения

**Fig. 1**  
Arrangement of the mini-plant modules in the electric version

**Таблица 1**  
Описание состава модулей мини-завода

**Table 1**  
Description of the mini-plant module's composition

Модуль	Назначение	Состав	Примечание
1.	Приготовление раствора окислителя, топливного раствора, эмульсионной матрицы	1. Система приготовления ГРО 2. Система приготовления ТР 3. Система приготовления ЭМ 4. Система подачи воды 5. Отделение с гидравлической станцией и жидкостным котлом при гидравлическом исполнении / электрооборудование при электрическом исполнении	Системы приготовления компонентов включают в себя емкости приготовления, насосы подачи, перемешивающие устройства
2.	Приготовление ГГД, нагрев компонентов ТР	1. Помещение для хранения и нагрева компонентов ТР 2. Система приготовления ГГД 3. Зона высокого напряжения	

**Цифровизация мини-завода**

Цифровой двойник – интегрированная мультифизическая вероятностная симуляция системы, которая использует наилучшие из доступных физические модели с целью отражения этой системы [4].

Понятие цифрового двойника представляет собой виртуальную модель объекта, процесса или системы, созданную на основе данных реального мира. В современном мире цифровой двойник играет ключевую роль в различных отраслях промышленности, обеспечивая возможность визуализации, анализа и управления объектами в виртуальной среде. В горнодобывающей отрасли цифровой двойник сокращает время разработки различных процессов, повышает эффективность добычи, обогащения и транспортировки полезных ископаемых, а также улучшает принятие обоснованных решений, способствуя повышению операционной эффективности предприятий.

В горной добыче в России цифровой двойник активно используется для моделирования горных массивов, планирования буровзрывных работ, мониторинга состояния оборудования и предсказания возможных аварийных ситуаций. Примеры применения включают в себя создание трехмерных моделей шахт, анализ и оптимизацию горных работ, а также управление процессами добычи и техническим обслуживанием.

Один из примеров использования цифрового двойника в горной добыче – это создание трёхмерных моделей угольных разрезов компанией «Кузбассразрезуголь». Эти модели позволяют детально планировать производственные процессы, буровзрывные работы и определять качественные показатели угля<sup>1</sup>.

Ещё один пример использования цифрового двойника в горной добыче – проект «Цифровой рудник», который реализует компания «Норникель». В рамках этого проекта создаются виртуальные копии горнодобывающих предприятий, которые используются для оптимизации процессов добычи и повышения безопасности<sup>2</sup>.

Преимущества использования цифрового двойника в горной добыче включают увеличение производительности, снижение затрат на техническое обслуживание, повышение безопасности труда за счет предварительного анализа и оптимизации процессов. Благодаря возможности в реальном времени отслеживать и управлять производственными процессами компании могут быстрее реагировать на изменения и повышать эффективность своей деятельности. Использование цифрового двойника сопряжено с высокой сложностью внедрения и затратами на разработку и поддержку системы: необходимостью постоянного обновления данных, обучения персонала и обеспечения безопасности информации. Однако при правильной реализации потенциал цифрового двойника значительно превышает затраты и риски, способствуя развитию отрасли и повышению конкурентоспособности предприятий.

В современном контексте производства на мини-заводах активно внедряются автоматизированные системы для оптимизации процессов и повышения производ-

ственной эффективности. На текущем этапе используются системы датчиков для сбора данных о текущем состоянии оборудования и процессов производства, а также панели управления, обеспечивающие координацию работы всех систем на предприятии. Дашборды используются для визуализации данных и мониторинга производственных процессов удаленно. Тем не менее для перехода на уровень цифровизации необходимо внедрить умные алгоритмы, способные анализировать собранные данные и принимать решения на основе аналитики. Это позволит не только оптимизировать производственные процессы на мини-заводе, но и предугадывать потенциальные проблемы и принимать меры заранее.

Несмотря на простоту эксплуатации и стабильность мини-заводов существует необходимость внедрения цифровых технологий для оптимизации производственных процессов и повышения эффективности. Одним из ключевых вопросов, с которым сталкиваются предприятия при внедрении цифровых двойников, является определение того, какой объем цифровых технологий следует внедрить и в какие процессы их интегрировать для достижения максимальной эффективности производства. Это требует комплексного анализа производственных процессов, выявления узких мест и возможностей для автоматизации, а также определения оптимальной стратегии цифровой трансформации мини-завода. При этом особую важность приобретает задача выбора показателей эффективности проекта: финансовые показатели проекта позволяют оценить проект и принять решение об инвестировании, опираясь на видимый положительный финансовый результат. Однако существуют бизнес-выгоды, дать финансовую оценку которым представляется затруднительным, но они могут быть оценены как качественные, измеримые и количественные. Под качественными параметрами мы будем понимать те параметры, которые после внедрения продукта должны улучшить текущую ситуацию, однако количественную оценку которым дать сложно. Измеримые параметры возможно измерить до внедрения, но нельзя предсказать их значение после. Количественные возможно измерить как до, так и после внедрения.

Цель данной статьи – исследовать и сравнить различные бизнес-выгоды, которые могут быть связаны с цифровым двойником проекта, и предложить инструмент для их оценки. Такой подход позволит всем участникам проекта более полно и объективно оценить потенциальную выгоду от внедрения цифрового двойника, учитывая как финансовые, так и качественные и количественные параметры.

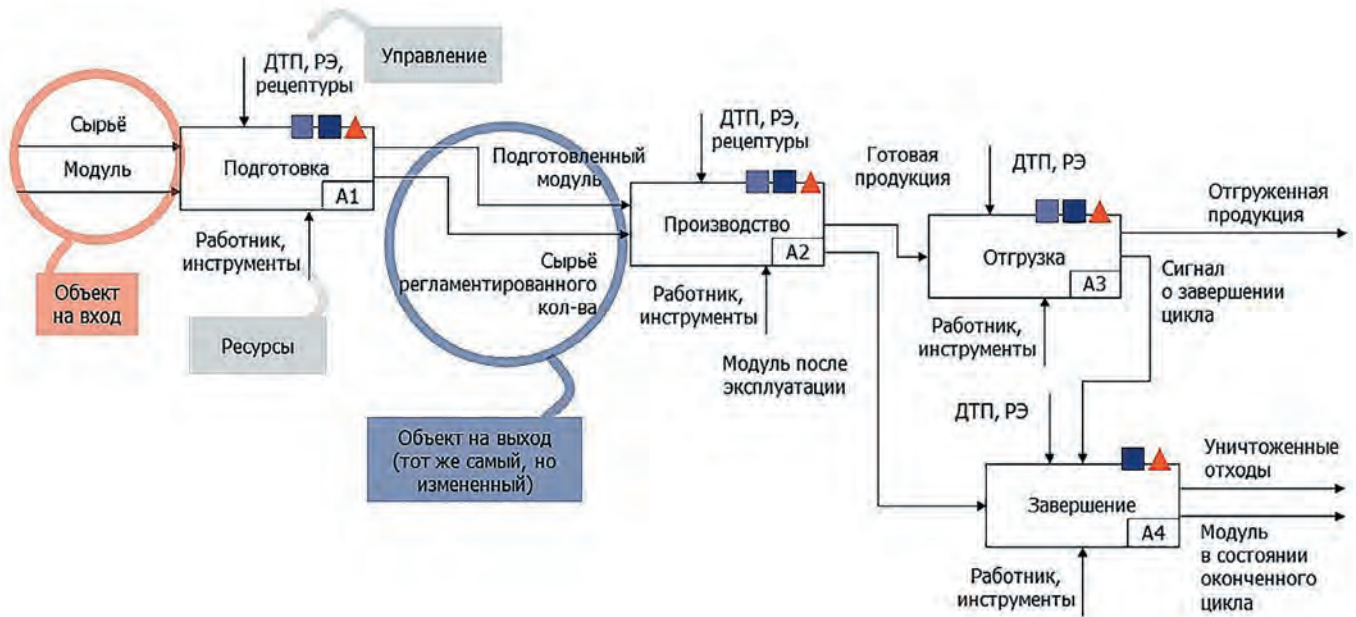
**Исследование бизнес-процессов мини-завода**

Для составления наиболее полного представления о процессе производства взрывчатого вещества были проведены интервью с экспертами: инженерами, операторами, техническими специалистами. Сотрудники АЗОТТЕ-ХА поделились детальной информацией о выполняемых ими операциях. В соответствии с Руководством по эксплуатации и проведенным экспертным интервью были разработаны модели текущих бизнес-процессов производства эмульсии для наливных эмульсионных взрывчатых веществ в нотации IDEF0 (рис. 2).

IDEF0 (Integration Definition for Function Modeling) – это графический метод моделирования, который позволяет описать бизнес-процессы с точки зрения выполня-

<sup>1</sup> УК «Кузбассразрезуголь» создает цифровые двойники угольных разрезов. Горная промышленность. 22 ноября 2023 г. Режим доступа: <https://mining-media.ru/ru/news/18301-uk-kuzbassrazrezugol-sozdaet-tsifrovye-dvojniki-ugolnykh-razrezov> (дата обращения: 21.05.2024).

<sup>2</sup> Цифровой рудник: как 3D меняет жизнь в шахте: «Норникель» внедрил систему имитационного моделирования рудника. Газета.ру. 11 октября 2019 г. Режим доступа: <https://www.gazeta.ru/business/2019/10/11/12750128.shtml> (дата обращения: 21.05.2024).



**Рис. 2**  
Графическая нотация IDEF0  
верхнего уровня. Каждый из  
представленных процессов  
детализирован вглубь еще  
на 3 уровня

**Fig. 2**  
Top level IDEF0 graphical  
notation. Each of the  
presented processes is  
detailed further  
by 3 more levels

емых функций. Использование IDEF0 позволяет детально описать последовательность действий, взаимосвязи между функциями, а также ресурсы, необходимые для их выполнения. Описание бизнес-процессов улучшает понимание процессов внутри организации и выявляет возможности для их оптимизации, что способствует повышению эффективности работы организации в целом.

В ходе исследования процессы на низших уровнях детализации были классифицированы на полностью автоматизированные, процессы со значительным влиянием человеческого фактора (отказаться от участия человека в данных операциях невозможно) и процессы с потенциалом к цифровизации. Именно процессы с потенциалом к цифровизации были приняты к более глубокой проработке на предмет подбора технологии Индустрии 4.0, оптимальной по стоимости внедрения и получаемым эффектам.

На основании информации, полученной от экспертов, был сделан вывод, что с наибольшей частотой происходит ситуация, при которой наблюдаются отклонения физико-химических показателей компонентов взрывчатого вещества по физико-химическим показателям (4% в год). Фиксация таких отклонений производится человеком через специальные пробоотборники. После чего на основании опыта и знаний сотрудника корректируются условия варки, при этом продолжительность варки увеличивается. Учитывая человеческий фактор, можно утверждать, что эти показатели напрямую зависят от знаний сотрудника на месте возникновения неисправности или отклонения показателя, а с уходом работника, компания может потерять и накопленные им знания. Для улучшения качества компонентов и оптимизации процесса их приготовления предлагается установить дополнительные датчики в пробоотборники и внедрение машинного обучения для подбора оптимальных выходных параметров смесей при

снятых с датчиков входных. Большой плюс данного подхода заключается в возможности накопления статистических данных.

Второй по частоте возникновения является ситуация, при которой происходит забивание фильтров. Забивание фильтра ведет к падению давления и не позволяет перейти к следующему этапу производственного процесса. Насос может выйти из строя или работать неэффективно, что приводит к снижению производительности системы, повышению износа других компонентов и дополнительным ремонтным расходам. При моделировании было обнаружено пять процессов, эффективность которых зависит от работоспособности фильтров. Проблему планируется решать применением алгоритма, который будет сигнализировать оператору о приближении к критическому значению степени забитости фильтра.

Чуть реже происходит выход из строя торцевых уплотнений коллоидного диспергатора. Данная проблема была описана в статье [5]. Потенциальные потери при данной поломке включают в себя дополнительные трудозатраты в связи с заменой оборудования, простой работника и саму стоимость новых торцевых уплотнителей. Для снижения вышеперечисленных затрат предлагается использовать предиктивную аналитику.

С наименьшей вероятностью происходит поломка коллоидной мельницы. Однако данной критической точке следует уделить особое внимание. Поскольку коллоидная мельница является дорогостоящим оборудованием иностранного производства, внезапный выход из строя такого оборудования приведет к остановке всего производственного процесса. Применение предиктивной аналитики позволит вовремя зафиксировать возможность выхода оборудования из строя. Это позволит снизить временные и денежные потери за счет своевременного оформления заказа на новую мельницу.

Результаты проведенного исследования позволили выявить критические точки и потенциальные потери в производственном процессе. Анализ данных о причинах сбоев и их влиянии на эффективность работы системы послужил основой для создания инструмента – матрицы бизнес-выгод. Основные этапы исследования представлены на рис. 3.



**Рис. 3**  
Блок-схема этапов исследования бизнес-процессов мини-завода

**Fig. 3**  
A block diagram of the stages in studying the business processes of a mini-plant

**Матрица бизнес-выгод**

Матрица бизнес-выгод представляет собой инструмент анализа, который помогает компаниям оценить потенциальную выгоду, которую они могут получить от реализации конкретного проекта. Использование матрицы позволяет выявить не только потенциальную выгоду, но и возможности развития проекта и ключевые факторы, влияющие на его успешность. Таким образом, проведение анализа с помощью матрицы бизнес-выгод после исследований поможет более осознанно принять решение о внедрении проекта и определить оптимальную стратегию развития.

Данная матрица основана на двух основных критериях:

**Таблица 2**  
Описание показателей характера воздействия на бизнес

**Table 2**  
A description of the business impact indicators

Показатель	Характер воздействия на бизнес
Новые возможности	Принципиально новые бизнес-процессы, обстоятельства, решения, возникающие в результате внедрения проекта
Повышение эффективности операций	Процессы, которые существовали до внедрения, однако их эффективность увеличилась после внедрения проекта
Отказ от операций	Ликвидация определенных операций после внедрения проекта

**Таблица 3**  
Описание степени определенности бизнес-выгод

**Table 3**  
A description of the certainty of business benefits

Бизнес-выгоды	Степень определенности
Финансовые	Бизнес-выгоды, когда можно предоставить финансовую оценку результатов внедрения проекта
Количественные	Бизнес-выгоды, где известны значения параметра как до, так и после внедрения проекта
Измеримые	Бизнес-выгоды, где известно значение параметра до внедрения проекта, но неизвестно значение после
Качественные	Бизнес-выгоды, когда невозможно точно определить эффект от внедрения, но ожидается общее улучшение ситуации

характер воздействия на бизнес (табл. 2) и степень определенности бизнес-выгод (табл. 3).

При составлении и анализе матрицы бизнес-выгод необходимо использовать экспертные оценки или релевантные кейсы успешной реализации подобных инноваций другими компаниями. Наиболее очевидным при оценке финансовой выгоды компании является сложение финансовых выгод, получаемых от новых возможностей, повышения эффективности операций и отказа от операций. Однако далеко не всегда возможно оценить финансовую выгоду напрямую, потому проще определить, какие параметры изменились при внедрении проекта. Эти изменения можно оценить в качественных, измеримых и количественных показателях, однако в дальнейшем наиболее целесообразно путем технико-экономического анализа или с использованием корреляционных моделей определить финансовую выгоду.

Таким образом, матрица бизнес-выгод позволяет полностью определить все положительные стороны предлагаемого нововведения, в том числе те, которые могут быть упущены при выявлении только финансовых выгод.

В ходе исследования потенциала цифровизации мини-завода была проведена аналитическая работа, в рамках которой была собрана информация о бизнес-выгодах, выделенных экспертами в данной области. На основе полученных данных был разработан инструмент, предназначенный для предварительной оценки контура проекта цифровизации и возможных эффектов применения цифровых технологий в горнодобывающей отрасли.

Для использования данного инструмента необходимо на этапе разработки стратегии цифровизации отметить в матрице бизнес-выгоды, которые могут быть достигнуты в результате внедрения запланированных мероприятий. Затем нужно посчитать сумму баллов отмеченных выгод. Баллы назначаются по результатам оценки экспертов: например, если за бизнес-выгоду проголосовало 5 человек, то данному показателю назначается балл – 5. В табл. 4 представлены ранжированные по степени определенности и характеру воздействия все бизнес-выгоды, выявленные в ходе исследования, на примере которых можно составить свою матрицу по методу, описанному ниже.

Чтобы успешно использовать этот инструмент при разработке стратегии цифровизации, необходимо определить и отметить в матрице бизнес-выгод те сферы, которые могут быть улучшены благодаря внедрению запланированных мероприятий. Затем нужно подсчитать общее количество баллов, присвоенных полученным выгодам.

Если результат подсчета составляет от 0 до 35 баллов, это означает, что проект принесёт только качественные выгоды. Однако оценить его экономическую привлекательность может быть сложно, поскольку прямых мотивов для его внедрения может оказаться недостаточно.

Таблица 4  
Матрица бизнес-выгод цифровизации мини-завода компании «АЗОТТЕХ»

Table 4  
Matrix of business benefits from digitalization of the AZOTTECH's mini-plant

		Характер воздействия на бизнес		
		Создание новых возможностей	Повышение эффективности операций	Отказ от операций
Степень определённости	Финансовые	?	?	Сокращение штата (15)
	Количественные	?	Снижение числа внеочередных технических обслуживаний (12)	Автоматический расчет количества закупаемого сырья (11) Автоматическое производственное планирование (11) Автоматическое формирование отчетности (11)
	Измеримые	Повышение спроса (6) Повышение узнаваемости бренда (6)	Повышение эффективности производства (10) Снижение количества поломок из-за некачественного технического обслуживания (8) Упрощение передачи вахты (6)	?
	Качественные	Выявление некачественных партий сырья, возможность анализа качества сырья по поставщикам (5) Моделирование новых рецептур (4) Моделирование интеграции нового оборудования в производственный процесс (3) Выявление слабых мест и улучшение конструктивных особенностей объекта (3) Соответствие трендам развития экономики (2)	Снижение требуемого уровня знаний и опыта для оператора (5) Упрощение процесса обучения (5) Повышение уровня сервиса (3)	Прозрачность расхода сырья в процессе производства (3)

Если сумма баллов находится в диапазоне от 35 до 70, это говорит о том, что проект направлен на повышение эффективности производства. Это позитивный сигнал для его осуществления и внедрения.

Когда сумма баллов составляет от 70 до 105, проект планирует принести значительные положительные изменения в бизнес-процессы. Это важный этап в его развитии и реализации.

Наконец, если общая сумма баллов оценки проекта составляет от 105 до 140, это свидетельствует о его способности оказать значительное влияние на бизнес и прибыль. В таком случае рекомендуется как можно скорее внедрить проект, чтобы достичь максимальных положительных результатов.

От проекта по цифровизации мини-завода АЗОТТЕХ ожидается следующий перечень бизнес-выгод:

- снижение числа внеочередных технических обслуживаний (12);
- повышение эффективности производства (10);
- снижение количества поломок из-за некачественного технического обслуживания (8);
- повышение спроса (6);
- повышение узнаваемости бренда (6);
- выявление некачественных партий сырья, возможность анализа качества сырья по поставщикам (5);

- снижение требуемого уровня знаний и опыта для оператора (5);
- упрощение процесса обучения (5);
- повышение уровня сервиса (3);
- соответствие трендам развития экономики (2);

При подсчете суммы баллов получается:  $12 + 10 + 8 + 6 + 6 + 5 + 5 + 5 + 3 + 2 = 56$ .

Это означает, что проект, за который получили 56 баллов, будет способствовать повышению эффективности производства. Такой результат сигнализирует о том, что работа над проектом имеет потенциал принести значительную пользу и улучшить производственные процессы. В целом это хороший знак для реализации данного проекта, который позволяет переходить к составлению дорожной карты реализации и внедрения проекта.

### Заключение

Цифровизация играет ключевую роль в современном бизнесе, позволяя компаниям повышать эффективность процессов, сокращать издержки, улучшать качество продукции и обслуживания. Она также помогает быть конкурентоспособной на рынке и приспосабливаться к изменяющимся требованиям потребителей.

АЗОТТЕХ стремится к повышению автономности про-

цессов, поскольку это позволяет компании быть более гибкой, быстрой и адаптивной к изменяющимся условиям. Это также способствует повышению производительности и качества продукции.

Оценка экономической целесообразности цифровизации и определение контура проекта могут представлять определенные трудности из-за множества факторов, включая неочевидность бизнес-выгод, стоимость внедрения новых технологий, сроки окупаемости, возможные риски и препятствия.

Исследование показало важность предварительной оценки эффективности внедрения цифровых решений

на примере расчета показателей бизнес-выгод. Для данного расчета был использован такой инструмент, как матрица бизнес-выгод. В статье описан метод расчета и анализа по матрице бизнес-выгод с использованием балльной системы. Результаты реализации данного подхода показали, что использование матрицы бизнес-выгод с балльной системой позволило эффективно оценить потенциальные выгоды от цифровизации объекта. Таким образом, мы полагаем, что подход, описанный в данной работе, может быть полезным для оценки бизнес-выгод от цифровизации объектов в горнодобывающей промышленности.

### Список литературы / References

- Сахапова Т.С., Исмагилов Т.Ш., Тихонов В.А. Цифровой двойник производства как этап новой цифровой бизнес-модели промышленного предприятия. *Горная промышленность*. 2023;(2):62–68. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2023-2-62-68>  
Sakhapova T.S., Ismagilov T.Sh., Tikhonov V.A. A digital twin of the manufacturing system as a stage in the new digital business model of an industrial company. *Russian Mining Industry*. 2023;(2):62–68. (In Russ.) <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2023-2-62-68>
- Морозова Т.С. Влияние качества применяемого сырья на эксплуатацию смесительно-зарядных машин при буровзрывных работах. *Горная промышленность*. 2021;(1):69–73. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2021-1-69-73>  
Morozova T.S. Impact of raw material quality on performance of mixing and charging machines in drilling and blasting operations. *Russian Mining Industry*. 2021;(1):69–73. (In Russ.) <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2021-1-69-73>
- Тихонов В.А., Радков В.В., Морозова Т.С. Особенности мини-завода для производства невзрывчатых компонентов эмульсионных взрывчатых веществ. *Горная промышленность*. 2021;(3):92–97. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2021-3-92-97>  
Tikhonov V.A., Radkov V.V., Morozova T.S. Specific features of a mini-plant to prepare non-explosive components of emulsion explosives. *Russian Mining Industry*. 2021;(3):92–97. (In Russ.) <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2021-3-92-97>
- Иванова Д.А. Цифровой двойник как ключевой элемент устойчивого развития предприятий горной промышленности. В кн.: *Развитие современной экономики России: Сборник материалов Международной конференции молодых ученых-экономистов, г. Санкт-Петербург, 14–17 апр. 2021 г.* СПб.: ООО «Скифия-принт»; 2021. С. 191–196.
- Морозова Т.С., Радков В.В., Дудник Г.А., Тихонов В.А. Особенности процесса эмульгирования. Опыт использования коллоидного диспергатора. *Горная промышленность*. 2020;(2):104–109. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2020-2-104-109>  
Morozova T.S., Radkov V.V., Dudnik G.A., Tikhonov V.A. Specific features of emulsifying process. experience of colloid disperser application. *Russian Mining Industry*. 2020;(2):104–109. (In Russ.) <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2020-2-104-109>

#### Информация об авторах

**Сахапова Татьяна Сергеевна** – ведущий технический писатель, ООО «АЗОТТЕХ», г. Москва, Российская Федерация; e-mail: t.sahapova@azottech.ru

**Круть Дарья Максимовна** – студент, Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана, г. Москва, Российская Федерация

**Обидина Екатерина Дмитриевна** – студент, Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана, г. Москва, Российская Федерация

**Данилов Максим Денисович** – студент, Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана, г. Москва, Российская Федерация

#### Information about the authors

**Tatyana S. Sakhapova** – Technical Writer, AZOTTECH LLC, Moscow, Russian Federation; e-mail: t.sahapova@azottech.ru

**Darya M. Krut** – Student, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation

**Ekaterina D. Obidina** – Student, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation

**Maxim D. Danilov** – Student, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation

#### Article info

Received: 21.05.2024

Revised: 03.06.2024

Accepted: 03.06.2024

#### Информация о статье

Поступила в редакцию: 21.05.2024

Поступила после рецензирования: 03.06.2024

Принята к публикации: 03.06.2024

# Перспективы увеличения минеральной базы цветной металлургии

В.И. Голик<sup>1</sup>✉, А.В. Титова<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Московский государственный политехнический университет, г. Москва, Российская Федерация

<sup>2</sup>Государственный геологический музей им. В.И. Вернадского Российской академии наук, г. Москва, Российская Федерация

✉ [v.i.golik@mail.ru](mailto:v.i.golik@mail.ru)

**Резюме:** Рассмотрены вопросы упрочнения минерально-сырьевой базы цветной металлургии путем вовлечения в производство отходов обогащения вскрываемых руд. Актуальность исследования объясняется снижением уровня обеспеченности минеральными ресурсами. Традиционные технологии переработки руд увеличивают объем хвостов переработки в хранилищах. Не развивается безотходная утилизация отходов первичной переработки, которые нередко используют без извлечения из них металлов до норм санитарных требований. Острые кризисные экологические проблемы усугубляются в первую очередь отсутствием рычагов централизованного учета и регулирования накопившихся отходов. Эффективность технологий с выщелачиванием доказывается комплексным методом, включающим в себя эксперименты и расчеты с сопоставлением показателей вариантов переработки. Получены количественные значения и выполнены графики зависимости извлечения металла от участвующих факторов, которые позволяют характеризовать процессы выщелачивания хвостов обогащения в дезинтеграторе. Доказано, что при механохимической активации процесса выщелачивания извлечение металлов превышает извлечение при переработке отходов традиционными технологиями с обеспечением безопасного по санитарным требованиям уровня. Определено, что активация в дезинтеграторе в процессе выщелачивания металлов повышает прочность бетонных смесей на основе вторичных хвостов. Сделан вывод, что активация процессов выщелачивания в дезинтеграторе обеспечивает извлечение из хвостов обогащения от 50 до 80% теряемых ранее металлов. Освоение техногенных месторождений инновационными технологиями с выщелачиванием металлов является реальным шагом по пути расширения минерально-сырьевой базы металлургии и улучшения экологической обстановки в горнодобывающих регионах. В отличие от родственных по тематике и целевому назначению технологий рассматриваемая технология позволяет осуществить безотходную переработку руд.

**Ключевые слова:** сырьевая база, отходы обогащения, руда, выщелачивание, дезинтегратор, механохимия, металл, прочность бетона, безотходность

**Для цитирования:** Голик В.И., Титова А.В. Перспективы увеличения минеральной базы цветной металлургии. *Горная промышленность*. 2024;(3):77–84. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2024-3-77-84>

## Prospects for increasing the mineral base of the non-ferrous metallurgy

V.I. Golik<sup>1</sup>✉, A.V. Titova<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Moscow State Polytechnic University, Moscow, Russian Federation

<sup>2</sup>Vernadsky State Geological Museum of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation

✉ [v.i.golik@mail.ru](mailto:v.i.golik@mail.ru)

**Abstract:** The article discusses the issues of strengthening the mineral resource base of non-ferrous metallurgy by introducing ore processing wastes into the production cycle. The relevance of the study is explained by the decreasing availability of mineral resources. The conventional ore processing technologies increase the volume of processing tailings in storages. Waste-free disposal of primary processing waste is not developing, and this waste is often used without extracting metals from it to match the sanitary requirements. The acute environmental problems are aggravated primarily by the lack of leverage for centralized accounting and regulation of the accumulated waste. The efficiency of leaching technologies is proved by a comprehensive method that includes experiments and calculations with a comparison of processing options. Quantitative values have been obtained and dependence diagrams of metal extraction on the contributing factors have been plotted, which make it possible to characterize the processes of leaching the mill tailings using a disintegrator. It has been proved that during the mechanochemical activation of the leaching process, metals extraction exceeds the extraction efficiency of the conventional waste processing technologies and ensures a safe level according to the sanitary requirements. It is determined that the mechanochemical activation in the disintegrator during metal leaching increases the strength of concrete mixtures based on secondary tailings. It is concluded that activation of the leaching processes in the disintegrator ensures the extraction of 50 to 80% of the previously lost metals from the mill tailings. The development of man-made deposits with innovative technologies with metal leaching is a real step towards expanding the mineral resource base of metallurgy and improving the environmental situation in the mining regions. Unlike the technologies related in terms of the application area and the purpose, the discussed technology enables waste-free processing of ores.

**Keywords:** raw material base, ore processing waste, ore, leaching, disintegrator, mechanochemistry, metal, concrete strength, waste-free

**For citation:** Golik V.I., Titova A.V. Prospects for increasing the mineral base of the non-ferrous metallurgy. *Russian Mining Industry*. 2024;(3):77–84. (In Russ.) <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2024-3-77-84>

**Введение**

Россия занимает ведущие позиции по запасам основных видов полезных ископаемых, но качество ее запасов по ряду позиций ниже, чем в других странах. Ей принадлежит первое место в мире по запасам железных руд, но руд с содержанием железа 60% менее 9%, тогда как у Австралии, Бразилии и Китая их около двух третей. По меди богатые руды выработаны. Цинковые и свинцовые руды в разы уступают рудам Австралии и Канады, а по качеству бокситов – Австралии, Гвинее и Греции. Наши запасы оловянных руд в два-три раза уступают бразильским, индонезийским и малайзийским. Несмотря на обладание самыми большими запасами титановых руд, Россия титан импортирует. Содержание металла в наших вольфрамовых рудах в два с лишним раза ниже, чем в Китае, а в молибденовых – в три-четыре раза ниже, чем в США.

Если оперировать цифрами наших дней по добыче, можно привести следующие примеры. При добыче полезных ископаемых теряется около 12% угля, 3% меди и 4% железа. В общей структуре ресурсов и запасов золота России на долю техногенных объектов приходится около 7–12%. При этом себестоимость извлечения золота из техногенных месторождений иногда бывает ниже, чем при обогащении исходных руд и песков, поскольку из технологической цепочки исключаются дорогостоящие операции, связанные с добычей, дроблением и классификацией.

При добыче цветных и редких металлов удельные показатели образования отходов на единицу полезного продукта многократно возрастают. В частности, на 1 т цветных металлов образуется не менее 100–150 т отходов при добыче и более 50–60 т при переработке. На 1 т редких, благородных и радиоактивных металлов образуется до 5–10 тыс. т отходов в процессах добычи и от 10 до 100 тыс. т при переработке (табл. 1).

**Таблица 1**  
Показатели образования отходов при добыче и переработке различных полезных ископаемых

**Table 1.**  
Waste generation indicators for mining and processing of various minerals

Полезный продукт	Полезный продукт	
	в процессе добычи	в процессе переработки
1 т угля	3 т	0,2–0,3 т
1 т стали	5–6 т	0,5–0,7 т
1 т цветных металлов	100–150 т	Более 50–60 т
1 т редких, благородных и радиоактивных металлов	До 5–10 тыс. т	От 10 до 100 тыс. т

Актуальность исследования путей модернизации технологий добычи металлов объясняется снижением уровня обеспеченности минеральными ресурсами из-за несоответствия традиционных технологий разработки условиям рынка и экологическим требованиям [1–3]. Так, реализуется стратегия ликвидации «бесперспективных» месторождений, например, угля в Донбассе, вольфрама, молибдена и полиметаллов на Северном Кавказе и др., хотя эффективность их может быть обеспечена использованием новых подходов к добыче и переработке сырья.

Слабыми темпами развивается эффективное направление – утилизация отходов первичной переработки, кото-

рые используют для строительных целей, повышая при этом опасность химического загрязнения экосистем [3–6].

Традиционные технологии добычи и переработки руд характеризуются потерей в недрах некондиционных запасов и накоплением хвостов переработки на земной поверхности. Редкие металлы и рассеянные элементы практически не добываются, а внутренний спрос на них удовлетворяется преимущественно импортной продукцией.

Одной из причин слабых темпов освоения металлической базы субъективного характера является увеличивающийся разрыв между возможностями добычи и переработки руд. Многие запасы не добываются из-за отсутствия рентабельных технологий извлечения металлов. В таких условиях возрастает актуальность разработки новых технологий извлечения металлов из ранее некондиционных для традиционных методов переработки руд [7–10].

Обладая крупнейшими запасами руд цветных металлов и добывая минерального сырья на сумму 5% от стоимости добываемого в мире, Россия не обеспечивает свою минерально-сырьевую национальную безопасность. Экспортируются не добываемые металлы, а полуфабрикаты – продукты переделов руд, в том числе, свинца, вольфрама, цинка и др. металлов.

Переработка некондиционных запасов неэффективна, в то время как совместная добыча и переработка балансовых и забалансовых металлических руд может быть рентабельной. Для извлечения металлов из таких запасов могут быть использованы новые технологии, в том числе подземного и кучного выщелачивания руд и хвостов переработки в активаторах [11–13].

Демографические процессы и научно-техническая революция увеличивают по-требность промышленности в металлах. Так, потребление цветных и легирующих металлов за минувшее столетие увеличилось в 5 раз.

Одной из причин слабых темпов освоения металлической базы является увеличивающийся разрыв между возможностями добычи и переработки руд. Многие руды не добываются из-за отсутствия технологий извлечения из них металлов.

Поэтому целью исследований последнего времени является разработка новых и совершенствование уже освоенных технологий с оптимизацией по критерию полноты использования ресурсов недр.

В основе хозяйственной деятельности человека лежит использование природных ресурсов. В России используется не более 10% добытого металлического сырья, а остальные теряются в виде отходов, загрязняя окружающую природную среду. Экономические и демографические изменения увеличивают номенклатуру и объем используемых материалов и побуждают реализовать направления утилизации отходов, большая часть которых может быть сырьем для изготовления товаров при извлечении из них металлов, в том числе дефицитных и ценных.

Обоснование новых способов утилизации некондиционного металлосодержащего сырья является одним из приоритетных направлений исследований, целью которых является создание технологических основ безотходного производства.

Оптимизация технологий добычи и обогащения руд цветных металлов базируется на системном анализе запасов месторождений с учетом их географического положения и динамики развития в сопоставлении с мировой конъюнктурой (табл. 2).

**Таблица 2**  
Добыча цветных металлов в России

**Table 2**  
Mining of non-ferrous metals in Russia

Руды металлов	Запасы, млн т	Производство 2015 г., тыс. т	Доля в мире, %
Цинк	59,8	388,8	2
Свинец	8,2	156	4
Никель	7,3	310	14
Медь	58	741	4
Титан	118	89	1
Вольфрам	0,199	3,3	3
Олово	0,776	0,6	0,2
Алюминий (бокситы)	518,4	6,85	2
Молибден	1070	3,2	1

Целью исследований последнего времени является разработка новых и совершенствование освоенных технологий с оптимизацией по критерию полноты использования ресурсов извлеченного из недр некондиционного сырья в виде отходов первичной переработки руд.

Для решения проблем выщелачивания металлов может быть использован богатый опыт горнодобывающей отрасли атомной энергетики СССР, где эти технологии начали применяться в 1960-х годах. В настоящее время Приаргунский горно-химический комбинат способами выщелачивания производит более 30% продукции.

### Методы

Эффективность технологий с выщелачиванием доказывается комплексным методом, включающим в себя: натурные и лабораторные эксперименты, расчеты и полупромышленные эксперименты по отбойке и дроблению руд, по переводу металлов в раствор и извлечению их из раствора. Полученные результаты корректируются по данным отечественной и зарубежной практики.

Исследования являются компонентом концепции повышения эффективности использования недр за счет вовлечения в производство некондиционных руд в недрах и хвостов первичной переработки.

Эффективность технологий доказывается сопоставлением показателей базового и нового вариантов переработки по критерию извлечения металлов.

Возможность использования хвостов обогащения в качестве сырья для изготовления твердеющих смесей оценена в ходе полнофакторных исследований по программам государственных грантов: государственный контракт № 02.740.11.0323 «Исследование и разработка инновационных технологий комбинированной механохимической активации извлечения металлов из некондиционного сырья» и государственный контракт № 14.740.11.0427 «Снижение риска и уменьшения последствий техногенных катастроф путем создания экологически безопасных технологий разработки техногенных месторождений с добычей из них полезных компонентов методами механохимической активации», а также в рамках федеральной целевой программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2007–2013 годы».

Проба отобрана в хранилище №4 Лебединского ГОКа и исследована в лаборатории СКГМИ с использованием дезинтегратора DESI-11, изготовленного фирмой «Гефест». Показатели новой технологии сравнивали с показателями традиционной технологии методом Венкена–Бокса с интерпретацией результатов в форме логарифмической или полиномиальной интерполяции.

Активация хвостов обогащения осуществлялась различными способами:

- агитационное выщелачивание металлов в аппаратах-агитаторах или емкостях с перемешиванием выщелачиваемой массы;

- воздействие в дезинтеграторах на минералы высокой механической энергией на атомарном уровне до состояния, когда тонкодисперсная фракция изменяет активность минералов.

В ходе исследования параметров выщелачивания в каждом опыте использовали 50 г измельченных до крупности –2 мм хвостов, раствор смешивали с хвостами и подвергали выщелачиванию с постоянной для каждого способа скоростью вращения.

Исследованы варианты активации хвостов обогащения:

- агитационное выщелачивание;
- агитационное выщелачивание после механической активации;

- выщелачивание в дезинтеграторе;
- агитационное выщелачивание после выщелачивания в дезинтеграторе.

Независимые факторы, влияющие на извлечение металлов в продукционный раствор, варьировались на трех уровнях – минимальном, нулевом и максимальном:

- содержание серной кислоты, г/л: 2, 6,10;
- содержание хлорида натрия, г/л: 20, 90,160;
- отношение массы жидкого вещества к массе твердого, раз: 4, 7,10,

- время выщелачивания, ч: 0,25, 0,625, 1;
- частота вращения роторов дезинтегратора: 50, 125, 200 Гц;

- количество опытов: 3, 5, 7.

Нелинейный регрессионный анализ полученных показателей осуществляли приведением уравнения к линейной форме. Алгоритм регрессионного анализа представлен в виде компьютерной программы на языке MATLAB. Коэффициент детерминации для зависимости извлечения железа  $R^2 = 0,94$ .

Для анализа параметров активации минералов строили графики зависимости извлечения металла от каждого из предикторов.

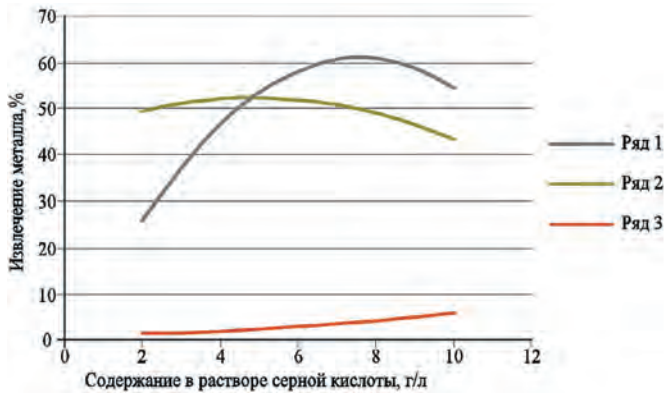
### Результаты

Извлечение железа в течение 1 ч составило, %: агитационное выщелачивание – 4,75, агитационное выщелачивание после механической активации в дезинтеграторе – 8,5, однократное выщелачивание в дезинтеграторе – 12,5.

Содержание сопутствующих металлов во вторичных хвостах после однократного выщелачивания уменьшается примерно в 3–4 раза.

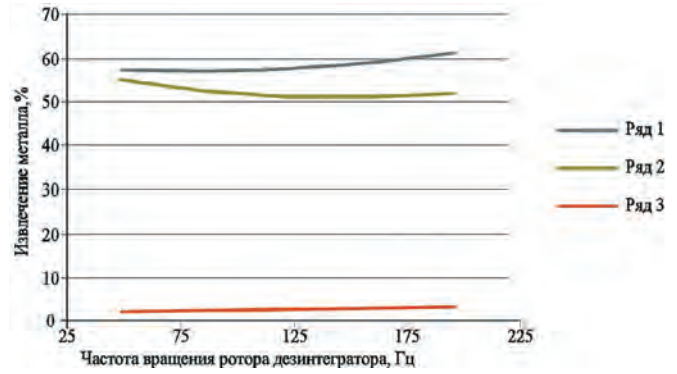
Графики зависимости извлечения металла от участвующих факторов представлены на рис. 1–4.

В процессе механохимической активации в продукционный раствор извлекается большее количество минеральных веществ, чем при агитационном выщелачивании (табл. 3).



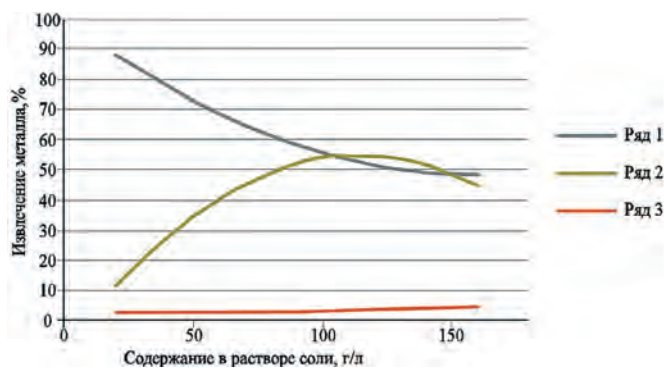
**Рис. 1**  
Зависимость извлечения металла от содержания в растворе серной кислоты: 1 – извлечение в производственный раствор цинка; 2 – извлечение в производственный раствор свинца; 3 – извлечение в производственный раствор железа

**Fig. 1**  
Dependence of metal extraction on the content of sulfuric acid in the solution: row 1 – extraction of zinc into the production solution; row 2 – extraction of lead into the production solution; 3 – extraction of iron into the production solution



**Рис. 4**  
Зависимость извлечения металла от частоты вращения роторов дезинтегратора

**Fig. 4**  
Dependence of metal extraction on the rotational speed of the disintegrator rotors



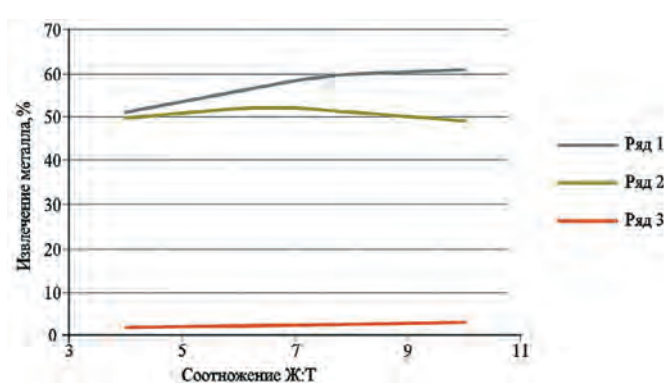
**Рис. 2**  
Зависимость извлечения металла от содержания в растворе соли

**Fig. 2**  
Dependence of metal recovery on the content of salt in solution

**Таблица 3**  
Показатели вариантов выщелачивания хвостов обогащения

**Table 3**  
Indicators of various options for tailings leaching

Вариант активации	Остаток во вторичных хвостах, %					
	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Mn	K <sub>2</sub> O	P	Ca	Mg O
Агитационное выщелачивание без подготовки	4,9	2,8	0,3	0,07	0,25	0,16
Агитационное выщелачивание после механической активации	4,2	2,5	0,2	0,07	0,23	0,14
Выщелачивание в дезинтеграторе с механо-химической активацией	3,7	2,3	0,2	0,06	0,20	0,11



**Рис. 3**  
Зависимость извлечения металла от соотношения твердой и жидкой фаз

**Fig. 3**  
Dependence of metal recovery on the ratio of solid and liquid phases

Большее извлечение металлов из крупных фракций сырья и более высокая производительность при меньшей крупности продолжительности выщелачивания характерны для кислотного выщелачивания.

Скорость извлечения металлов возрастает пропорционально увеличению концентрации металла в руде.

Для интерпретации результатов исследований данного направления применен метод линейного множественного регрессионного анализа. При построении графиков переменным является один параметр, а остальным параметрам придают средние значения в интервалах, например, для Садонских руд: содержание H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, г/дм<sup>3</sup>, 6; содержание соли, г/дм<sup>3</sup>, 90; соотношение жидкого и твердого 7; время выщелачивания, ч, 0,625; скорость вращения роторов, Гц, 125.

Очевидно резкое различие извлечения в раствор свинца 25–28% и цинка 25–80% при равной концентрации кислоты.

Извлечение свинца и цинка в раствор хлоридом натрия характеризуется асимметрией графиков с пересечением в области значений 120 г/дм<sup>3</sup>.

Соотношение жидкого и твердого вещества влияет на извлечение металлов в раствор. Если для цинка этот показатель остается практически неизменным, то для свинца

он резко увеличивается. Если для свинца интенсивность извлечения со временем увеличивается, то для цинка она заметно уменьшается. Графики извлечения по направленности совпадают при существенно большей активности цинка. Графики извлечения свинца и цинка в раствор хлоридом натрия характеризуется асимметрией с пересечением в области значений 140 г/дм<sup>3</sup>.

Параметры извлечения металлов в дезинтеграторе в зависимости от соотношения жидкого и твердого веществ имеют различную направленность, причем более активен свинец.

Графики извлечения металлов в дезинтеграторе в зависимости от скорости вращения обладают одинаковой направленностью, причем приращение активности имеет одинаковую для обоих величину.

Полученные результаты позволяют охарактеризовать процессы выщелачивания:

- активация сырья в дезинтеграторе с последующим выщелачиванием вне его по сравнению с традиционным выщелачиванием увеличивает извлечение из хвостов обогащения: по свинцу – в 1,36 раза, по цинку – в 1,13 раза;
- активация сырья в дезинтеграторе одновременно с выщелачиванием по сравнению с вариантом раздельной активации и выщелачивания увеличивает извлечение на величину в первые проценты за на 2 порядка меньшее время.

Результаты исследования: извлечение металлов в раствор практически совпадает с достигнутым максимальным:

- при агитационном выщелачивании хвостов;
- при агитационном выщелачивании хвостов, предварительно подвергнутых активации в дезинтеграторе вместе с выщелачивающими растворами;

- при многократном выщелачивании хвостов в дезинтеграторе.

При агитационном выщелачивании хвостов, активированных в сухом состоянии, или при однократном выщелачивании хвостов в дезинтеграторе в раствор переходит меньшее количество металлов.

Извлечение металлов в раствор практически одинаково как при многократном пропускании через дезинтегратор, так и при агитационном выщелачивании, или агитационном выщелачивании хвостов или руды, предварительно подвергнутых активации в дезинтеграторе с выщелачивающими растворами.

На извлечение металлов в раствор наибольшее влияние оказывает содержание в выщелачивающем растворе хлорида натрия. Далее в порядке убывания следуют: содержание в выщелачивающем растворе серной кислоты, частота вращения роторов дезинтегратора и число циклов пропускания выщелачиваемой пульпы через дезинтегратор или соотношение Ж : Т.

Из исследованных хвостов обогащения цинк выщелачивается легче, чем свинец.

Из регулируемых параметров механохимического выщелачивания наибольшее влияние на процесс оказывает время выщелачивания. Средние значения содержания свинца и цинка в продуктивных растворах близки к максимальным и практически совпадают:

- при агитационном выщелачивании хвостов и руды;
- при агитационном выщелачивании хвостов или руды, предварительно подвергнутых активации в дезинтеграторе совместно с выщелачивающими растворами;
- при выщелачивании хвостов или руды при активации

в ходе многократного пропускания вместе с выщелачивающими растворами через дезинтегратор.

### Обсуждение результатов

Результаты исследования позволяют утверждать:

- процесс перевода металлов в раствор адекватен и управляем;

- подготовка руд для выщелачивания имеет отличительные особенности;

- добыча металлов выщелачиванием забалансовых руд эффективна при соблюдении определенного соотношения объемов добычи балансовых и забалансовых руд.

Перспективы комбинированных технологий связаны в первую очередь с диверсификацией горного производства. Тенденция увеличения объемов переработки некондиционного сырья выщелачиванием показана в табл. 4.

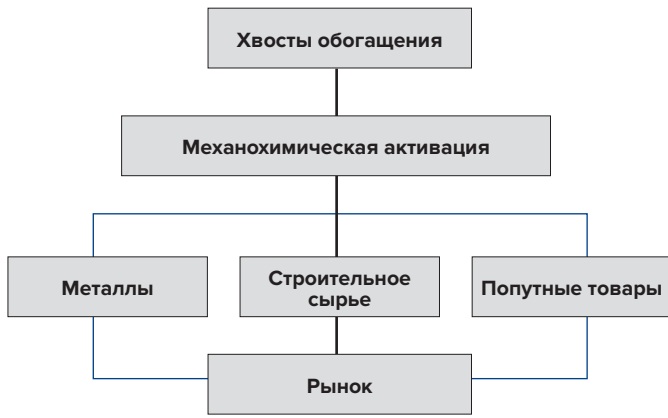
**Таблица 4**  
Объекты выщелачивания цветных металлов

**Table 4**  
Sites for leaching of non-ferrous metals

Металл	Месторождение, технология	Регион
Медь	Техногенные месторождения	Свердловская обл. (2)
		Мурманская обл. (1)
		Красноярский край (1)
	Гумешевское, подземное выщелачивание	Свердловская обл.
Никель-кобальт	Аллареченское	Мурманская обл.
	Хвостохранилище №1	Красноярский край
	Озеро Барьерное	
Цинк	Шлакоотвал	Свердловская обл.
Олово	Техногенные месторождения	–
	Барун-Нарынское	Бурятия
Вольфрам	Спокойнинское	Забайкальский край
	Стрельцовское, подземное и кучное выщелачивание	Читинская обл.
Молибден с ураном	Кручининское, перспектива скважинного выщелачивания	Забайкальский край

Добыча руд и впредь будет характеризоваться увеличением объема производства, уменьшением содержания металлов и усложнением условий отработки месторождений с увеличением глубины работ. Воздействие горного производства на окружающую среду будет усиливаться прежде всего за счет химизации продуктами переработки сырья.

В результате обработки минералов по дезинтеграторной технологии создаются активные рабочие плоскости и ослабляются межмолекулярные связи. Свойства материалов изменяются во время физико-химических процессов разделения и концентрирования компонентов минералов.



**Рис. 5**  
Схема получения новых материалов на основе хвостов обогащения

**Fig. 5**  
A block diagram of obtaining new materials based using mill tailings

Изменение свойств исходных материалов позволяет создать единую систему ресурсосбережения (рис. 5).

Кроме металлических продуктов выщелачивания хвостов обогащения, товарными продуктами являются: песок для строительной индустрии, низкотемпературного каменного литья и изготовления стекла, иловая фракция и др.

Извлечение металлов при механохимической обработке в интервале от 60 до 90% от исходной величины существенно превышает извлечение при переработке отходов традиционными технологиями (до 45%). Важным свойством является возможность извлечения металлов до безопасного по санитарным требованиям уровня.

Для горной промышленности представляет интерес важный аспект рассматриваемой проблемы. Активация в дезинтеграторе в процессе выщелачивания металлов повышает прочность бетонных смесей. Изменение прочности выщелоченных хвостов в смеси с цементом во времени при неизменном количестве ингредиентов приведено в табл. 5.

**Таблица 5**  
Прочность смеси с цементом в зависимости от варианта активации хвостов

**Table 5**  
Strength of the mixture with cement depending on the tailings activation option

Вариант активации	Прочность, МПа, продолжительность, сутки		
	7	14	28
Агитационное выщелачивание	1,04	1,11	1,20
Агитационное выщелачивание после механической активации	1,16	1,25	1,32
Выщелачивание в дезинтеграторе с механохимической активацией	0,68	0,73	0,88

Примечание: состав смеси, кг/м<sup>3</sup>: хвосты 1445, цемент 10, вода 380.

**Таблица 6**  
Прочность смеси без цемента в зависимости от варианта активации хвостов

**Table 6**  
Strength of the mixture without cement depending on the option of tailings activation

Вариант активации	Прочность, МПа, продолжительность, сутки		
	7	14	28
Агитационное выщелачивание	0,64	0,81	1,01
Агитационное выщелачивание после механической активации	0,86	0,95	1,12
Однократное выщелачивание в дезинтеграторе механохимической активацией	0,60	0,69	0,78

Примечание: состав смеси, кг/м<sup>3</sup>: хвосты 1445, цемент 10, вода 380.

Та же закономерность прослеживается и при изготовлении бесцементных смесей на основе вторичных хвостов как в качестве заполнителя, так и в качестве вяжущего (табл. 6).

Активация хвостов обогащения повышает прочность смесей на их основе при одинаковом расходе цемента на 10%, а бесцементная смесь после дезинтегратора по прочности сравнима со смесью при среднем расходе цемента по традиционной технологии.

**Предложения по направлению будущих исследований**

Достижения в области выщелачивания металлов из некондиционного для традиционных технологий сырья заслуживают реализации на современных предприятиях для выживания в условиях депрессии на ряде предприятий.

Как и любое новое начинание, технологии механохимической активации процессов выщелачивания требуют совершенствования все составляющие ее элементы – от подготовки хвостов выщелачивания и руд до утилизации твердых и жидких вторичных хвостов переработки.

Способы интенсификации процессов выщелачивания включают в себя: химическое воздействие окислителями, поверхностно-активными веществами, бактериями; физическое воздействие электромагнитными полями, давлением или вакуумом, повышение температуры, воздействие взрывом и т.п.; подача окислителей пирита или пиролюзита и др.

Показатель извлечения основных полезных ископаемых составляет 65–78%, а попутных элементов в цветной металлургии – от 10 до 30%.

Наличие таких резервов определяет перспективы использования технологии для переработки техногенных запасов на предприятиях, эксплуатирующих месторождения вскрываемых руд, прежде всего меди, золота, урана и др.

Отходы медной подотрасли Урала объединяют 220 млн т хвостов обогащения с содержанием меди 0,34–0,37%, которое близко к кондиционному значению 0,35–0,5%.

Хвосты обогащения медно-никелевых руд Норильского рудного узла содержат промышленные для современных технологий концентрации платиноидов, золота и серебра. На Тырнаузском вольфрамowo-молибденовом месторождении кондиционными считаются руды с содержанием более 0,1% триоксида вольфрама, а в хвостах его содержание превышает 0,04%.

Результаты настоящего исследования могут быть использованы при проектировании горных предприятий, преподавании горных и геологических дисциплин в вузах и практической инженерной работе. Они корреспондируют с выводами российских и зарубежных исследователей данного направления горного дела [14–17].

### Заключение

Обобщение и детализация теории и практики извлечения металлов выщелачиванием из некондиционного сырья в дезинтеграторах является звеном концепции перевооружения горного производства.

Вовлечение в производство некондиционных минеральных ресурсов формирует сырьевую базу для промышленности и избавляет от необходимости разведки и освоения новых месторождений.

Механохимическая активация процессов выщелачивания в дезинтеграторе обеспечивает извлечение из хвостов обогащения от 50 до 80% металлов.

Полнота извлечения металлов из материалов адекватно зависит от типа и количества реагентов, соотношения жидкой и твердой компонент и скорости обработки в дезинтеграторе, что позволяет управлять процессом с получением продуктов нужного качества.

Освоение техногенных месторождений инновационными технологиями с выщелачиванием металлов является реальным шагом по пути расширения минерально-сырьевой базы металлургии и улучшения экологической обстановки в горнодобывающих регионах.

### Список литературы / References

1. Малышев Ю.Н., Ряховский В.М., Банников В.Ф., Ряховская С.К. Минералого-геохимические исследования – действенный инструмент совершенствования технологии переработки техногенных отходов. *Горный журнал*. 2016;(1):73–76. <https://doi.org/10.17580/gzh.2016.01.15>  
Malyshev Yu.N., Ryakhovsky V.M., Bannikov V.F., Ryakhovskaya S.K. Mineralogy and geochemistry research – An efficient tool of improvement of mining waste processing technology. *Gornyi Zhurnal*. 2016;(1):73–76. (In Russ.) <https://doi.org/10.17580/gzh.2016.01.15>
2. Малышев Ю.Н., Титова А.В. Твердые отходы промышленности – как основа формирования дополнительной минерально-сырьевой базы стратегического сырья РФ. *Маркшейдерия и недропользование*. 2014;(1):23–32.  
Malyshev Yu.N., Titova A.V. Solid mine wastes as a foundation of the supplementary mineral and raw materials base of strategic materials in Russia. *Mine Surveying and Subsurface Use*. 2014;(1):23–32. (In Russ.)
3. Golik V.I., Klyuev R.V., Martyshev N.V., Zyukin D.A., Karlina A.I. Technology for nonwaste recovery of tailings of the Mizur mining and processing plant. *Metallurgist*. 2023;66(11-12):1476–1480. <https://doi.org/10.1007/s11015-023-01462-y>
4. Титова А.В., Наумов Г.Б. Экологические проблемы современности. *Горная промышленность*. 2018;(2):75–78.  
Titova A.V., Naumov G.B. Environmental problems of the present. *Russian Mining Industry*. 2018;(2):75–78. (In Russ.)
5. Sánchez F., Hartlieb P. Innovation in the mining industry: technological trends and a case study of the challenges of disruptive innovation. *Mining, Metallurgy & Exploration*. 2020;37(5):1385–1399. <https://doi.org/10.1007/s42461-020-00262-1>
6. Ключев Р.В., Босиков И.И., Майер А.В. Комплексный анализ генетических особенностей минерального вещества и технологических свойств полезных компонентов Дзержкаганского месторождения. *Устойчивое развитие горных территорий*. 2019;11(3):321–330.  
Klyuev R.V., Bosikov I.I., Mayer A.V. Complex analysis of genetic features of mineral substance and technological properties of useful components of Dzhezkazgan deposit. *Sustainable Development of Mountain Territories*. 2019;11(3):321–330. (In Russ.)
7. Пухова В.П., Воропанова Л.А. Очистка сточных вод горно-перерабатывающих предприятий путем использования природных продуктов. *Устойчивое развитие горных территорий*. 2019;11(2):134–141.  
Pukhova V.P., Voropanova L.A. Wastewater treatment of mining and processing plants using the natural products. *Sustainable Development of Mountain Territories*. 2019;11(2):134–141. (In Russ.)
8. Валиев Н.Г., Пропп В.Д., Вандышев А.М. Кафедре горного дела УГТУ – 100 лет. *Известия высших учебных заведений. Горный журнал*. 2020;(8):130–143. <https://doi.org/10.21440/0536-1028-2020-8-130-143>  
Valiev N.G., Propp V.D., Vandyshchev A.M. The 100<sup>th</sup> anniversary of the department of mining engineering of URSMU. *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii. Gornyi Zhurnal*. 2020;(8):130–143. (In Russ.) <https://doi.org/10.21440/0536-1028-2020-8-130-143>

9. Lyashenko V.I., Dudchenko A.H., Rakhmanov R.A. Scientific and methodological support and technical maintenance for drilling and blasting preparation of rock ores for underground block leaching. *Explosion Technology*. 2020;(127/84):102–134.
10. Tayebi-Khorami M., Edraki M., Corder G., Golev A. Re-thinking mining waste through an integrative approach led by circular economy aspirations. *Minerals*. 2019;9(5):286. <https://doi.org/10.3390/min9050286>
11. Yang Y., Qiu W., Liu Z., Song J., Wu J., Dou Z. et al. Quantifying the impact of mineralogical heterogeneity on reactive transport modeling of CO<sub>2</sub> + O<sub>2</sub> in-situ leaching of uranium. *Acta Geochimica*. 2022;41:50–63. <https://doi.org/10.1007/s11631-021-00502-1>
12. Brigida V.S., Golik V.I., Klyuev R.V., Sabirova L.B., Mambetalieva A.R., Karlina Yu.I. Efficiency gains when using activated mill tailings in underground mining. *Metallurgist*. 2023;67(3-4):398–408. <https://doi.org/10.1007/s11015-023-01526-z>
13. Рыбак Я., Хайрутдинов М.М., Конгар-Сюрюн Ч.Б., Тюляева Ю.С. Ресурсосберегающие технологии освоения месторождений полезных ископаемых. *Устойчивое развитие горных территорий*. 2021;13(3):405–415. Rybak Ya., Khayrutdinov M.M., Kongar-Syuryun Ch.B., Tyulyayeva Yu.S. Resource-saving technologies for development of mineral deposits. *Sustainable Development of Mountain Territories*. 2021;13(3):405–415. (In Russ.)
14. Adero N.J., Drebenstedt C., Prokofeva E.N., Vostrikov A.V. Spatial data and technologies for geomonitoring of land use under aspect of mineral resource sector development. *Eurasian Mining*. 2020;(1):69–74. <https://doi.org/10.17580/em.2020.01.14>
15. Yin S., Shao Y., Wu A., Wang H., Liu X., Wang Y. A systematic review of paste technology in metal mines for cleaner production in China. *Journal of Cleaner Production*. 2020;247:119590. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119590>
16. Хайрутдинов М.М., Конгар-Сюрюн Ч.Б., Тюляева Ю.С., Хайрутдинов А.М. Бесцементные закладочные смеси на основе водорастворимых техногенных отходов. *Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов*. 2020;331(11):30–36. <https://doi.org/10.18799/24131830/2020/11/2883> Khayrutdinov M.M., Kongar-Syuryun Ch.B., Tyulyayeva Yu.S., Khayrutdinov A.M. Cementless backfill mixtures based on water-soluble manmade waste. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering*. 2020;331(11):30–36. (In Russ.) <https://doi.org/10.18799/24131830/2020/11/2883>
17. Xie H., Zhao J.W., Zhou W., Ren S.H., Zhang R.X. Secondary utilizations and perspectives of mined underground space. *Tunnelling and Underground Space Technology*. 2020;96:103129. <https://doi.org/10.1016/j.tust.2019.103129>

**Информация об авторах**

**Голик Владимир Иванович** – доктор технических наук, профессор кафедры металлургии, Московский политехнический университет, г. Москва, Российская Федерация; <https://orcid.org/0000-0002-1181-8452>; e-mail: [vi.golik@mail.ru](mailto:vi.golik@mail.ru)

**Титова Ася Владимировна** – доктор технических наук, заместитель директора по развитию, Государственный геологический музей им. В.И. Вернадского Российской академии наук, г. Москва, Российская Федерация; e-mail: [vikt\\_s@mail.ru](mailto:vikt_s@mail.ru)

**Information about the authors**

**Vladimir I. Golik** – Dr. Sci. (Eng.), Professor of the Department of Metallurgy of Moscow Polytechnic University, Moscow, Russian Federation; <https://orcid.org/0000-0002-1181-8452>, e-mail: [vi.golik@mail.ru](mailto:vi.golik@mail.ru)

**Asya V. Titova** – Dr. Sci. (Eng.), Deputy Director for Development, V.I. Vernadsky State Geological Museum of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation; e-mail: [vikt\\_s@mail.ru](mailto:vikt_s@mail.ru)

**Article info**

Received: 29.03.2024

Revised: 13.05.2024

Accepted: 18.05.2024

**Информация о статье**

Поступила в редакцию: 29.03.2024

Поступила после рецензирования: 13.05.2024

Принята к публикации: 18.05.2024



# ШИНЫ ДЛЯ СПЕЦТЕХНИКИ



В НАЛИЧИИ  
БОЛЬШОЙ  
АССОРТИМЕНТ



СЕРВИСНОЕ  
ОБСЛУЖИВАНИЕ И  
ИНСПЕКТИРОВАНИЕ



ОПТИМАЛЬНОЕ  
СООТНОШЕНИЕ  
ЦЕНА/КАЧЕСТВО

16+

РЕКЛАМА

Официальный представитель ООО «Майнеринг СНГ»

+7 (343) 385-00-25

+7 (343) 385-00-30

Заявка на сайте



[info@minering.ru](mailto:info@minering.ru)

[rda@minering.ru](mailto:rda@minering.ru)

[www.minering.ru](http://www.minering.ru)

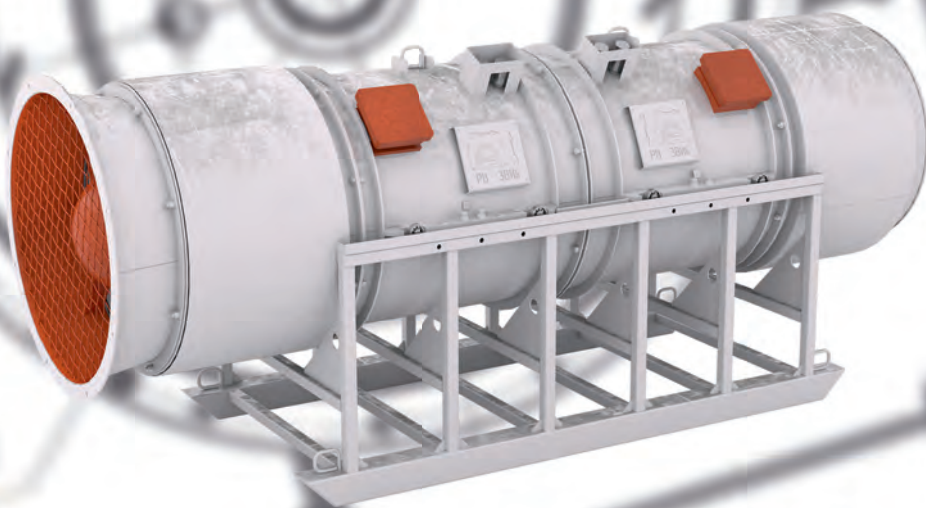
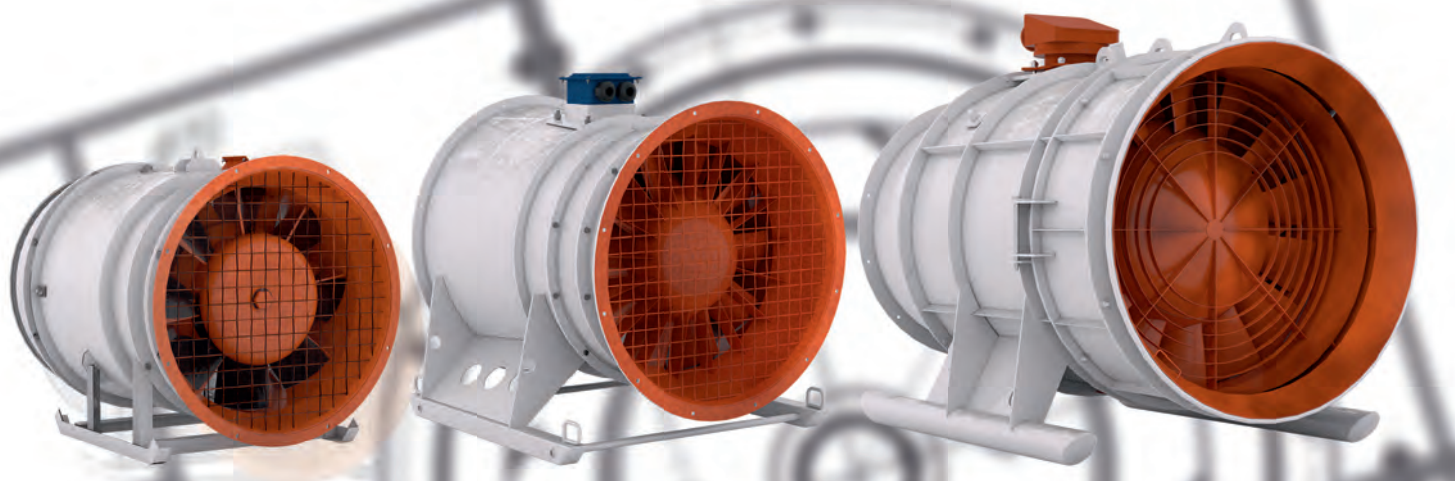


**MINERING**



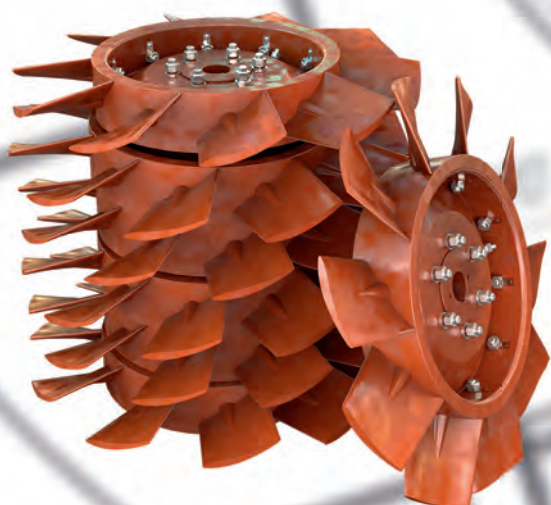
НЕВЬЯНСКИЙ ЗАВОД  
ГОРНОГО МАШИНОСТРОЕНИЯ

# ТЯГОДУТЬЕВЫЕ МАШИНЫ ДЫМОСОСЫ ЦЕНТРОБЕЖНЫЕ И ОСЕВЫЕ ВЕНТИЛЯТОРЫ



16+

РЕКЛАМА



вентиляторы местного проветривания ВМЭ  
взрывозащищенного исполнения РВ Ex I Mb с  
рудничного исполнения РН  
композитные рабочие колеса

Невьянский завод горного машиностроения  
ООО «ЕРТ-ГРУПП» Россия, Екатеринбург  
тел: +7 (343) 346-97-11, info@nzgm.ru, NZGM.RU



# Систематизация рабочих органов машин глубокого фрезерования

Д.С. Юсов, П.В. Иванова, С.Л. Иванов✉

Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

✉ Ivanov\_SL@pers.spmi.ru

**Резюме:** В настоящее время гарантированная энергобезопасность страны является главным приоритетом. Торфяное сырье составляет треть всего энергетического потенциала страны. Торф, кроме энергетики, широко используется в сельском хозяйстве, химической промышленности, строительстве и производстве строительных материалов. В настоящее время фрезерный торф составляет основной объем производства в стране. Технология его добычи предполагает подготовку площадей и удаление мелколесья, пней и древесных включений при подготовке залежи путем корчевания или глубокого фрезерования. Однако в силу несовершенства оборудования происходит засорение торфяного сырья и потеря его качества. В статье приведен анализ средств для производства подготовительных операций по формированию поверхности залежи. Рассмотрены конструкции рабочих органов машин глубокого фрезерования, их вооружения и особенности применяемых инструментов – ножей, резцов, фрез, цепей. Предложена систематизация средств рабочих органов торфяных машин и инструментов для осуществления глубокого фрезерования поверхности залежи. Систематизация предполагает выделение классификационных признаков по типу машин, воздействию на древесное сырье, движению рабочего органа, его расположению и конструкции, а также по параметрам и типам вооружения рабочего органа. Статья может быть полезна инженерам, научным работникам, аспирантам и структурам, занимающимся проектированием и исследованием процессов подготовки торфяной залежи.

**Ключевые слова:** торф, глубокое фрезерование, добыча торфа, ножи, резцы, торфяная залежь, горные машины

**Для цитирования:** Юсов Д.С., Иванова П.В., Иванов С.Л. Систематизация рабочих органов машин глубокого фрезерования. *Горная промышленность*. 2024;(3):85–89. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2024-3-85-89>

# Systematization of end effectors of deep milling machines for peat extraction

D.S. Yusov, P.V. Ivanova, S.L. Ivanov✉

Empress Catherine II Saint Petersburg Mining University, St. Petersburg, Russian Federation

✉ Ivanov\_SL@pers.spmi.ru

**Abstract:** Currently, ensuring energy security is a key priority for the country. Peat resources account for one-third of the country's total energy potential. Apart from energy production, peat finds extensive use in agriculture, chemical industry, construction, and the production of construction materials. Presently, milled peat constitutes the main volume of production in the country. The technology of its extraction involves preparing areas and removing undergrowth, stumps, and wood debris during preparation of the deposit by trenching or deep milling. However, due to the imperfections of the equipment, peat contamination and loss of its quality occur. This article analyzes means for carrying out preparatory operations to condition the surface of the deposit. It discusses the designs of end effectors for deep milling machines, their cutting structures, and the specific features of the tools used, i.e. blades, cutters, mills, chains. Classification of end effectors for peat machines as well as tools for deep milling of the deposit surface is proposed. This systematization involves identifying classification features by the type of machines, impact on the wood debris, movement of the end effector, its arrangement and design, as well as by parameters and types of the end effector's cutting structures. The article may be useful for engineers, researchers, graduate students, and organizations involved in designing and studying processes of peat deposits conditioning.

**Keywords:** peat, deep milling, peat extraction, blades, cutters, peat deposit, mining machines

**For citation:** Yusov D.S., Ivanova P.V., Ivanov S.L. Systematization of end effectors of deep milling machines for peat extraction. *Russian Mining Industry*. 2024;(3):85–89. (In Russ.) <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2024-3-85-89>

**Введение**

В Российской Федерации сосредоточено около 60% мировых запасов торфа. Торф как энергетический ресурс составляет третью часть в пересчете на условное топливо энергетического потенциала страны, тем самым обеспечивая ее энергобезопасность. Особую роль торф играет как местный вид топлива в удаленных и труднодоступных регионах [1]. Кроме энергетической составляющей, торфяное сырье широко применяется в сельском хозяйстве, при рекультивации земель, как важная составляющая грунтов и др. Этот уникальный материал находит широкое применение в производстве удобрений и химических продуктов, сельском хозяйстве, строительстве и производстве строительных материалов [2].

Добыча торфяного сырья осуществляется экскаваторным и послойным способами [3]. До последнего времени именно послойный способ был преобладающим. Болотно-подготовительные операции, а также операции по ремонту технологических полей при разработке торфяных месторождений занимают значительный объем в общем перечне работ. В зависимости от конкретных условий подготовительные работы включают сводку крупной древесной растительности диаметром ствола более 120 мм, удаление кустарников и мелколесья [4]. Принципиальные различия технологических схем подготовки состоят в методе освобождения подготавливаемого слоя торфяной залежи от древесных включений – корчевкой или глубоким фрезерованием [5].

**Методология исследования**

В зависимости от размеров и условия залегания пни и крупные куски древесных остатков корчуют гидравлическими экскаваторами, а также специальным агрегатом: РКШ-4, МП-4, СП-6,7, КМ-1, 1А, МРП-2,2А. Технические решения, оптимизирующие функционирование корчевателей, предложены в изобретениях (А.С.№1706464 и А.С.№1279564).

При глубоком фрезеровании для подготовки полей, поверхность которых освобождена от растительности или покрыта мелколесьем, применяют мощный агрегат МПГ-1,7, которым осуществляют фрезерование слоя до 400 мм с одновременным измельчением древесины. Последующая уборка мелких пней осуществляется агрегатами СП-6,7 или СПМ-1. Для подготовки полей также широко применяют машины для расчистки территорий: МЖ-1.0, М.4, М.8, J-2.3, JS-1.0, MJS-2.0 DT, M3S-2.5 DT. Принципы функционирования последних аналогичны группе горных и строительных машин типа Surface Miner, Continuous Surface Miner, Deep Cutting machines. Однако применение этих машин приводит к тому, что торф в поверхностном слое торфяной залежи засорен мелкими древесными остатками, что снижает качество торфяного сырья [6].

В настоящее время в горной промышленности нашли широкое применение машины МТП-42, МТП-41, МПГ-1,7, МПГ-2,24А, а также импортные МЖК-310 ST, МЖК-350 DT с фрезерующими рабочими органами, которые обладают большой производительностью. Опыт эксплуатации показал, что при их работе и встрече с древесными включениями возникают пиковые динамические нагрузки, которые во многом обусловлены недостаточной эффективностью работы вооружения рабочего органа и, как следствие, происходит засорение торфяного сырья, что требует дополнительных операций сепарации для его очистки [7]. Одним из ключевых аспектов является разви-

тие конструкции режущих инструментов, способных эффективно иссекать древесные включения при глубоком фрезеровании торфа [8].

Движение рабочего органа при подготовке поверхности залежи может быть как попутным, так и встречным по отношению к направлению движения машинно-тракторного агрегата в зависимости от выполняемых задач и придания направления перемещению торфо-древесного сырья [9]. Попутное фрезерование считается предпочтительным, однако встречное фрезерование может быть незаменимым, когда требуется повышение количества сезонных сборов торфа и уменьшение времени сушки за счет разбрасывающего эффекта при обработке торфяника встречным движением (А.С. №872864).

**Результаты**

Базовым видом фрезерующего рабочего органа принято считать конструкцию в виде тела вращения с вооружением в виде режущих, рыхлящих или разрушающих инструментов. Обычно это цилиндрический, горизонтально расположенный приводной барабан, на поверхности которого по определенной схеме установлены указанные инструменты. Ось вращения барабана расположена перпендикулярно направлению движения машинно-тракторного агрегата. В общем случае положение фрезерующего рабочего органа может быть любым – наклонным, вертикальным или расположенным под углом к направлению движения агрегата [10].

Известны и другие формы фрезерного барабана, например, конический (А.С. №782756) или специальный (А.С. № 281485, 734422), однако они не являются распространенными. К специальным можно отнести гибкие фрезы (А.С. № 881327), выполненные в виде упругих элементов, одни концы которых жестко закреплены на валу, а другие свободно опираются друг на друга, что предохраняет привод от ударных нагрузок [11].

Существуют рабочие органы в виде шнека. Рабочий орган в виде однозаходной шнек-фрезы имеет сменную режущую кромку цилиндрической или конической формы [12]. Для защиты от заклинивания при встрече с древесными включениями шнек-фрезы могут иметь виток обратной навивки (А.С. №446657).

Барабанные фрезы без ротора (ER) и барабанные фрезы с ротором (ERC), представленные фирмой «Erigos», имеющие гидравлическую систему, предназначены для фрезерования мягких и мерзлых грунтов. Они имеют вид укороченного шнека, расположенного с двух сторон от цилиндрического редуктора. По всей спирали шнек-фрезы устанавливается комплект фрезерных головок.

Секторальный (наборный) рабочий орган обычно состоит из нескольких секторов с режущими элементами на каждом, такими как ножи или фрезы, расположенными вдоль его оси вращения. Секторы могут быть съемными, что позволяет заменять их при необходимости или изменять их тип для решения различных задач. Примером может служить А.С. №106189, где фрезерующий рабочий орган выполнен в виде набора дисковых фрез, установленных на концентрично расположенных валах, с возможностью вращения в противоположных направлениях с целью повышения производительности устройства путем увеличения степени измельчения пней.

Рабочий орган также может состоять из нескольких независимых частей со своим приводом (А.С. №139299). В конструкции по А.С. №337470 для улучшения подачи

разработанного материала рабочий орган, состоящий из двух частей, снабжен лопастями, установленными на валу и винтовых линиях встречного направления с диском, разделяющим потоки разработанного материала, идущего сверху и снизу. Отдельно можно вынести специальные рабочие органы, которые представлены отдельными видами конструкций.

Рассмотрим подробнее вооружение рабочих органов. Помимо цепей для баровых рабочих органов по типу в качестве вооружения выступают фрезы, ножи и резцы [13; 14]. Дисковые фрезы могут использоваться и как самостоятельный режущий элемент, и с подрезающим и основным режущим элементом (А.С. № 782756). Существуют также вертикальные фрезы (А.С. №886842), служащие для увеличения производительности и удобства обслуживания.

В качестве вооружения используются игольчатые и штифтовые ножи, а также плоские и проходные (А.С. №1629547). Конструктивно последние схожи между собой, однако создавались для различных условий функционирования. Коэффициент сопротивления резанию мерзлой торфяной залежи у плоского ножа равняется единице, в то время как у проходного составляет 0,75 [12]. Для повышения срока службы ножей их выполняют с прорезями и регулировочными упорами в виде планок (А.С. №1504098). Помимо собственно резания ножи выполняют и вспомогательные функции – перемещение торфяного сырья (А.С. №12835) или опрокидывание торфа в другую плоскость (А.С. №35171), работая как лемех плуга для погрузки. По форме ножи, имеющие криволинейные режущие грани, бывают грибовидные, тарельчатые (А.С. №885561, А.С. №128847), дисковые (А.С. №439068) и чашечные, используемые в машинах РК-1SL C5, РК-1SL R12.

Резцы, так же как и ножи, имеют ряд специфических особенностей. Так, для повышения эффективности процесса разрушения поперечное сечение одной рабочей головки резца (А.С. №735719) выполнено в форме повернутого на 180 град относительно соответствующего поперечного сечения другой рабочей головки, при этом оси симметрии рабочих головок расположены в пересекающихся плоскостях. А для уменьшения сопротивления резания у резца имеется специальное отверстие, проходящее через заднюю грань и расположенное под тупым углом к плоскости резания (А.С. №612036).

При разработке торфяных месторождений нашли применение: тангенциальные резцы типа РПП и РКС, аналогичные резцам ТН с простым движением; радиальные поворотные резцы типа Р, аналогичные резцам РД; мульчерные – Технопарк «Импульс», устанавливаемые подвижно и шарнирно [15].

## Обсуждение

Анализ представленных материалов позволил систематизировать органы машин для глубокого фрезерования (рис. 1).

Для освобождения подготавливаемого слоя торфяной залежи от древесных включений могут быть задействованы горные машины и машинно-тракторные агрегаты, обеспечивающие корчевку пней и древесных включений, измельчение древесины поверхности, очеса, древесных включений с захоронением или вывозом измельченного материала при глубоком фрезеровании или же с объединением обеих технологий в комбинированные.

По типу горные машины, применяемые для подготовки поверхности торфяной залежи, можно выделить в отдельные группы: корчеватели для предварительной корчевки пней, мощные агрегаты глубокого фрезерования и комбинированные машины, совмещающие оба этих процесса. В последнем случае воздействие на древесное сырье будет как с выемкой древесных включений при

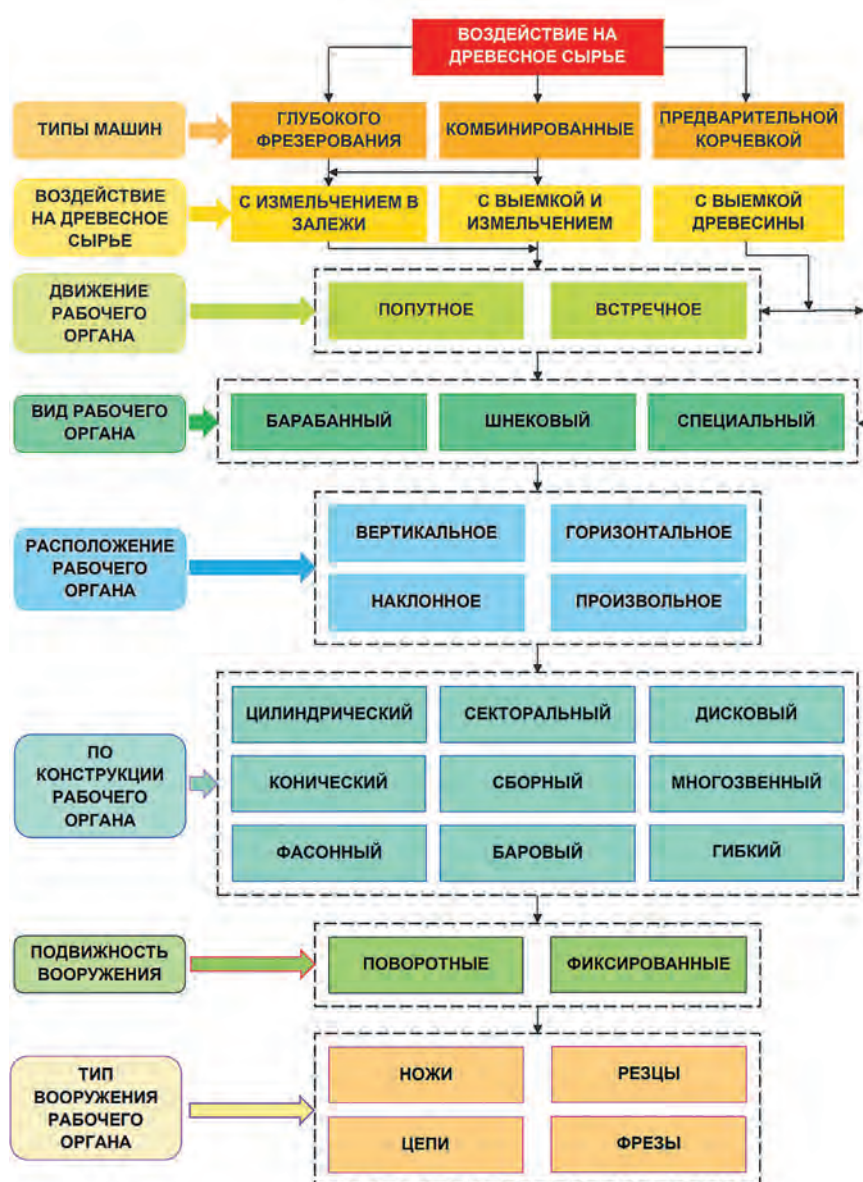


Рис. 1  
Систематизация органов машин для глубокого фрезерования

Fig. 1  
Classification of end effectors of deep milling machines

помощи корчевателя с дальнейшим измельчением, так и с фрезерованием оставшихся пней непосредственно в залежи попутным или встречным движением рабочего органа. При попутном фрезеровании линейная окружная скорость верхней части фрезы совпадает с направлением движения машины, и разрыхленный и разрушенный фрезой материал отбрасывается снизу назад. Древесные включения прижимаются к почве инструментом, и процесс резания идет достаточно интенсивно, правда, в этом случае значительно повышается динамика процесса, так как при входе лезвия в древесину образуется максимальная толщина стружки, сходящая в конце реза на нет. При встречном фрезеровании линейная окружная скорость верхней части фрезы и скорость подачи с движением машинно-тракторного агрегата направлены навстречу друг другу. Фреза взрыхляет изнутри фрезеруемый слой залежи, отбрасывая материал перед собой вверх, толщина стружки в идеале в начале резания минимальна и увеличивается к концу реза. Это значительно снижает динамику процесса резания, хотя в случае «слабой» заделки древесные включения будут «выдергиваться» фрезой как при корчевании с резким снижением эффективности резания последних.

Для решения конкретных поставленных задач могут применяться различные виды рабочих органов, которые можно разделить на три крупных блока, а именно: барабанные, они являются, безусловно, самым популярным типом в настоящее время, шнековые и специальные. Третий блок – баровые, экскаваторные, плужные и другие рабочие органы в большей степени применяются на корчевателях. При этом их ориентация в пространстве варьируется. Базовым считается горизонтальное расположение рабочего органа относительно торфяной залежи с перпендикулярным направлением к движению горной машины. Угол наклона к плоскости горизонта в интервале от 0 до 90 град позволяет обеспечить фрезерование в условиях реального рельефа поверхности. В то же время нет запрета на любую возможную ориентацию рабочего органа торфяной машины или агрегата.

По конструкции рабочих органов имеет место быть деление по форме, а именно: цилиндрические, конические и фасонные; по принципу построения: секторальные, сборные и баровые, а также по виду: дисковые, многозвенные и гибкие.

Подвижность элементов вооружения рабочего органа относительно последнего допускает поворот режущего инструмента в процессе функционирования либо их жесткое фиксирование в строго определенном положении. По типу вооружения делят на ножи, резцы, цепи и фрезы. Если про цепи и фрезы все понятно, то по поводу ножей и резцов следует уточнить их различия. Принципиальное отличие состоит в том, что нож как режущий инструмент имеет лишь одну режущую грань, образованную двумя плоскостями резания (передней и задней). Нож предназначен для выполнения технологических операций строгания и срезания с образованием стружки, в отличие от резцов, обладающих как минимум тремя основными плоскостями резания и рядом дополнительных, образующих минимально две грани резания. При взаимодействии с породой, включая торф и древесные включения, резцы выполняют операции рыхления, дробления и измельчения.

### Заключение

В данной работе представлена систематизация органов машин для глубокого фрезерования, которая включает в себя не только классификационные признаки по типу машин и по воздействию на торфяное сырье, но и по виду рабочего органа. В отличие от большинства существующих классификаций выделен дополнительный комбинированный вид машин, реализующий совместно процессы глубокого фрезерования и корчевания. Такой подход значительно расширяет возможности дальнейшего развития горной техники, предназначенной для подготовки поверхностей, что безусловно потребует специальных исследований в этой области. Это в первую очередь касается вопросов резания древесины, а также оптимизации вооружения рабочих органов подобных горных машин.

### Список литературы / References

1. Евзеров В.Я. Торф – неиспользованный сырьевой ресурс северо-запада Российской Арктики. *Труды Ферсмановской научной сессии ГИ КНЦ РАН*. 2021;(18):160–164. <https://doi.org/10.31241/FNS.2021.18.029>  
Yevzerov V.Ya. Peat – as an untapped resource of the North-Western Russian Arctic. *Trudy Fersmanovskoy Nauchnoy Sessii GI KNTs RAN*. 2021;(18):160–164. (In Russ.) <https://doi.org/10.31241/FNS.2021.18.029>
2. Utenkova T.G., Kremcheev E.A., Nagornov D.O., Ivanov S.L. Mechanical dewatering of sapropel in its small-scale mining technology. *Sustainable Development of Mountain Territories*. 2023;15(2):308–316. <https://doi.org/10.21177/1998-4502-2023-15-2-308-316>
3. Мякотных А.А., Иванова П.В., Иванов С.Л. К вопросу классификации комплексов добычи торфяного сырья. *Горная промышленность*. 2023;(6):137–142. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2023-6-137-142>  
Myakotnykh A.A., Ivanova P.V., Ivanov S.L. On classification of peat extraction complexes. *Russian Mining Industry*. 2023;(6):137–142. (In Russ.) <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2023-6-137-142>
4. Жигульская А.И., Лемешев А.В., Гусева А.М., Бурмистров И.С. Классификация машин и оборудования для добычи и переработки древесных ресурсов торфяного месторождения. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2014;(11):144–150.  
Zhigul'skaya A.I., Lemeshev A.V., Guseva A.M., Burmistrov I.S. Classification of machinery and equipment for the production and processing of wood resources peat deposits. *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 2014;(11):144–150. (In Russ.)
5. Бедретдинов Г.Х. Повышение производительности фрезерных машин при расчистке закустаренных земель. *Сельский механизатор*. 2021;(2):10–11.  
Bedretdinov G.H. Increased productivity of milling machines when clearing bushlands. *Selskiy Mechanizator*. 2021;(2):10–11.

6. Михайлов А.В., Жигульская А.И., Казаков Ю.А. Рациональная технология комплексной разработки торфяных месторождений. *Горная промышленность*. 2024;(1):66–69. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2024-1-66-69>  
Mikhailov A.V., Zhigul'skaya A.I., Kazakov Yu.A. Rational technology for integrated mining of peat deposits. *Russian Mining Industry*. 2024;(1):66–69. (In Russ.) <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2024-1-66-69>
7. Зюзин Б.Ф., Жигульская А.И., Яконовский П.А., Яконовская Т.Б. *Машины и оборудование торфяных производств*. Тверь: Тверской государственный технический университет; 2015. 160 с.
8. Фомин К.В., Крылов К.С., Харламов В.Е., Морозихин Н.Н. Моделирование повреждающих воздействий на режущих элементах фрезы при взаимодействии с древесными включениями. *Труды Инсторфа*. 2020;(21):34–39.  
Fomin K.V., Krylov K.S., Harlamov V.E., Morozikhin N.N. Modelling of damaging effects on cutting mill elements in interaction with wood inclusions. *Trudy Instorfa*. 2020;(21):34–39. (In Russ.)
9. Фомин К.В. Расчет взаимных спектральных плотностей моментов сопротивления на рабочих органах торфяного фрезерующего агрегата. *Записки Горного института*. 2021;251:745–756. <https://doi.org/10.31897/PMI.2021.5.14>  
Fomin K.V. Mutual spectral densities calculation of the moments of resistance on the peat milling unit working bodies. *Journal of Mining Institute*. 2021;251:745–756. <https://doi.org/10.31897/PMI.2021.5.14>
10. Яблонев А.Л., Жуков Н.М. Расчет момента сопротивления фрезерованию торфяной залежи при попадании фрезы на пень и определения активной ширины рабочего органа. *Вестник Тверского государственного технического университета. Серия: Технические науки*. 2021;(2):51–61. <https://doi.org/10.46573/2658-5030-2021-51-61>  
Yablonev A.L., Zhukov N.M. Calculation of the moment of resistance to milling a peat layout when the miller hits a stump and determination of the active width of the working body. *Vestnik of Tver State Technical University. Series "Technical Science"*. 2021;(2):51–61. (In Russ.) <https://doi.org/10.46573/2658-5030-2021-51-61>
11. Chertkova E., Sizova V. Economic assessment of low humidity peat production practice. *E3S Web of Conferences*. 2021;278:01024. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202127801024>
12. Солопов С.Г., Горцакалян Л.О., Самсонов Л.Н. *Торфяные машины и комплексы*. М.: Недра; 1973. 392 с.
13. Двоглазова Ю.А. Основные понятия в баровых исполнительных органах. Область применения. В кн.: Костиков К.С. (ред.) *Россия молодая: сб. материалов 13-й Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием, г. Кемерово, 20–23 апр. 2021 г.* Кемерово: Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева; 2021. С. 10302.1–10302.7.
14. Фомин К.В. Расчет спектральных плотностей, составляющих силы сопротивления на фрезе при взаимодействии с торфом. *Вестник Тверского государственного технического университета. Серия: Технические науки*. 2023;(4):45–52. Режим доступа: <https://vestnik-tekh.ru/files/65548c0eeb8ca3.07515302.506.pdf> (дата обращения: 16.04.2024).  
Fomin K.V. Calculation of spectral densities of force components resistance on the cutter when interacting with peat. *Vestnik of Tver State Technical University. Series "Technical Science"*. 2023;(4):45–52. (In Russ.) Available at: <https://vestnik-tekh.ru/files/65548c0eeb8ca3.07515302.506.pdf> (accessed: 16.04.2024).
15. Marinov K., Kostov K., Peev D. Operational properties of forestry mulchers for cleaning field protection forest belts after sanitary cuttings. *Silva Balcanica*. 2023;24(2):59–81. <https://doi.org/10.3897/silvabalcanica.24.e109161>

#### Информация об авторах

**Юсов Денис Сергеевич** – аспирант кафедры машиностроения, Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация, e-mail: denis-yus3@mail.ru

**Иванова Полина Викторовна** – кандидат технических наук, доцент кафедры машиностроения, Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация; <https://orcid.org/0000-0002-8338-418X>

**Иванов Сергей Леонидович** – доктор технических наук, профессор кафедры машиностроения, Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация; <https://orcid.org/0000-0002-7014-2464>; e-mail: Ivanov\_SL@pers.spmi.ru

#### Information about the authors

**Denis S. Yusov** – Postgraduate Student, Department of Mechanical Engineering, The St. Petersburg Mining University of Empress Catherine II, Saint Petersburg, Russian Federation; e-mail: denis-yus3@mail.ru.

**Polina V. Ivanova** – Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor, Department of Mechanical Engineering, The St. Petersburg Mining University of Empress Catherine II, Saint Petersburg, Russian Federation; <https://orcid.org/0000-0002-8338-418X>

**Sergey L. Ivanov** – Dr. Sci. (Eng.), Professor, Department of Mechanical Engineering, The St. Petersburg Mining University of Empress Catherine II, Saint Petersburg, Russian Federation; <https://orcid.org/0000-0002-7014-2464>

#### Article info

Received: 18.03.2024

Revised: 06.05.2024

Accepted: 12.05.2024

#### Информация о статье

Поступила в редакцию: 18.03.2024

Поступила после рецензирования: 06.05.2024

Принята к публикации: 12.05.2024

# История зарождения и развития геоинформатики как науки

А.А. Тедикова<sup>1</sup>, М.Д. Климоchenков<sup>1,2</sup>, И.А. Мельниченко<sup>1</sup>✉, М.А. Красноцветов<sup>1,3</sup>, С.С. Ус<sup>1</sup>, И.И. Кутлыев<sup>1</sup>, М.В. Щёкина<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС», г. Москва, Российская Федерация

<sup>2</sup> ПАО «Высочайший» (GV Gold), г. Москва, Российская Федерация

<sup>3</sup> АО «УК «Кузбассразрезуголь» филиал «Талдинский угольный разрез», с. Красулино, р-н Новокузнецкий, Российская Федерация

✉ kors-ilay@mail.ru

**Резюме:** В статье рассмотрены основные причины возникновения такой науки, как геоинформатика, изложена концепция этой науки, описаны ее предмет и объект исследований, методы, система онтологий и задачи. Обоснована актуальность исследований в данном направлении. Статья состоит из нескольких разделов: «Зарождение науки и происхождение термина «геоинформатика», «История развития геоинформатики» и «Геоинформатика в России. Краткая история, проблемы и перспективы развития». В них последовательно раскрываются исторические события и элементы, оказавшие наибольшее влияние на современное состояние геоинформатики и как науки, и как прикладной дисциплины. Первая часть во многом посвящена различным подходам к определению слова «геоинформатика», а также ветвям и направлениям, на которые эта наука разделилась. Вторая часть – «История развития геоинформатики» – состоит из этапов, на протяжении которых геоинформатика формировалась. Эта часть сконцентрирована на открытиях и достижениях в сфере геоинформатики, ее связи с другими научными дисциплинами. Третья часть статьи освещает проблематику отечественных исследований, а также возможные направления развития. В заключение подведены итоги и результаты, собрана и кратко подана главная информация, рассмотренная во всей работе.

**Ключевые слова:** геоинформатика, геологическое обеспечение недропользования, обработка данных, нормирование данных, нейронные сети, цифровое месторождение

**Для цитирования:** Тедикова А.А., Климоchenков М.Д., Мельниченко И.А., Красноцветов М.А., Ус С.С., Кутлыев И.И., Щёкина М.В. История зарождения и развития геоинформатики как науки. *Горная промышленность*. 2024;(3):90–99. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2024-3-90-99>

## The history of origin and development of geoinformatics as a science

A.A. Tedikova<sup>1</sup>, M.D. Klimochenkova<sup>1,2</sup>, I.A. Melnichenko<sup>1</sup>✉, M.A. Krasnotsvetov<sup>1,3</sup>, S.S. Us<sup>1</sup>, I.I. Kutlyev<sup>1</sup>, M.V. Shchekina<sup>1</sup>

<sup>1</sup> National University of Science and Technology "MISIS", Moscow, Russian Federation

<sup>2</sup> Vysochayshiy PJSC (GV Gold), Moscow, Russian Federation

<sup>3</sup> Coal Company Kuzbassrazrezugol JSC, Taldinsky Coal Mine, Krasulino settlement, Novokuznetskiy district, Russian Federation

✉ kors-ilay@mail.ru

**Abstract:** The article examines the main reasons for the emergence of geoinformatics as a science, outlines the concept of this science, describes its research subject and object, methods, ontology system and tasks. The relevance of studying this area is justified. The article comprises several sections: "Inception of the science and origin of the geoinformatics as the term", "History of geoinformatics development" and "Geoinformatics in Russia. Brief history, challenges and development prospects". They consistently reveal historical events and features that have had the greatest impact on the current state of geoinformatics both as a basic science and as an field of applied research. The first part is largely dedicated to different ways to define the "geoinformatics" as a term, as well as the branches and directions into which this science has divided. The second part, i.e. "History of geoinformatics development", describes the stages that shaped geoinformatics. This part focuses on discoveries and achievements in geoinformatics, its connection with other sciences. The third part of the article highlights the issues of domestic research, as well as possible directions of its development. The conclusion summarizes the results and outcomes, collects and provides a concise overview of the key information addressed in the paper.

**Keywords:** geoinformatics, geological support of subsoil use, data processing, data normalization, neural networks, digital deposit

**For citation:** Tedikova A.A., Klimochenkova M.D., Melnichenko I.A., Krasnotsvetov M.A., Us S.S., Kutlyev I.I., Shchekina M.V. The history of origin and development of geoinformatics as a science. *Russian Mining Industry*. 2024;(3):90–99. (In Russ.) <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2024-3-90-99>

## Введение

В своей статье «Объяснение, редукция и эмпиризм» Пол Фейерабенд упоминает, что «появление новой теории изменяет взгляд как на наблюдаемые, так и на ненаблюдаемые свойства мира», объясняя такую позицию двумя идеями: научной теорией как методом мировосприятия, способным повлиять на убеждения, опыт и представление реальности, и противоположной ей, по которой научная теория должна быть проверяема, а также – устраняема, в том случае, если результаты проверки оказываются отличными от предсказанных [1, с. 29–32].

Геоинформатика зарождалась постепенно, через слияние других наук – наук о Земле и информатики. Возникновение геоинформатики в этом списке равносильно появлению новой теории, которая либо изменит наше понимание геологической информации, либо будет отвергнута, как неподтвержденная концепция.

Это одна из самых «молодых» наук, и ее расцвет пришелся на середину и конец XX в. – века науки и перемен. В своей книге «Геоинформатика» Иванников, Кулагин, Тихонов и Цветков (мб инициалы добавить) разделяют название этой науки на две составляющие: «гео», отвечающая за область исследований – за процессы, которые происходят на земной поверхности, и «информатика», которая указывает на происхождение отрасли знаний как на прикладную инженерную дисциплину, и определяет основной метод изучения объектов – при помощи компьютерных технологий [2, с. 3–5].

С одной стороны, классическая «информатика» характеризуется как отрасль науки, изучающая структуру и общие свойства информации, а с другой – обеспечивающая сбор, хранение, поиск, обработку, преобразование, распространение и использование ее в различных сферах деятельности.

Рост объема знаний о Земле (в том числе о минерально-сырьевых ресурсах), появление и развитие новых технологий и техник сбора, обработки и анализа информации предопределил слияние этих двух областей знаний и естественно родил термин «геоинформатика».

Потому возникновение геоинформатики многие связывают с необходимостью появления новых инструментов анализа геологической и картографической информации [3]. Так, появление новых дисциплин и отраслей знаний – естественный и закономерный процесс развития клас-

сических наук. С течением времени геоинформатика из сформированной другими науками отрасли развилась в самостоятельное учение, строящееся на собственных теориях и парадигмах. На этапе становления геоинформатики как науки произошло ее разделение на два направления: прикладное и фундаментальное [4]. В свою очередь, некоторые авторы (к примеру, А. Майоров) выделяют три ветви геоинформатики: теоретическую, прикладную и производственную [5].

Формирование направлений и ветвей геоинформатики происходило параллельно, с незначительными смещениями вперед у той или иной части относительно остальных. При этом геоинформатика как наука нередко воспринимается только через ее фундаментальное и теоретическое ответвления.

На всех этапах развития геоинформатики объектом ее исследований оставались пространственно распределенные данные: точки, значения тех или иных природных параметров и характеристик, геологические и географические единицы. Эти данные моделировались в комплексные системы, которые впоследствии использовались для хранения информации и прогнозирования возможных изменений.

Применимо к практике объектами исследований для геоинформатики стали различные картографические источники (общегеографические карты; карты природы, населения, экономики; политические, исторические и административные карты), статистические таблицы и данные, отчеты и тексты [6, с. 43].

В. Лайкин и Г. Упоров в своем учебном пособии «Геоинформатика» определяют предмет этой науки как «пространственно-временные информационные потоки естественно-географической среды», а ее метод как «пространственно-временное моделирование территориально-распределенных (географических) эмпирических (объективно существующих) систем любой природы с использованием соответствующих ГИС-технологий в различных научных и практических целях» [7, с. 15].

В предметной области геоинформатики выделяют специальную систему онтологий (моделей, подходов, описаний), которые отражают возможность «междисциплинарного переноса знаний и опыта» (иллюстрация приведена на рис. 1) [8].

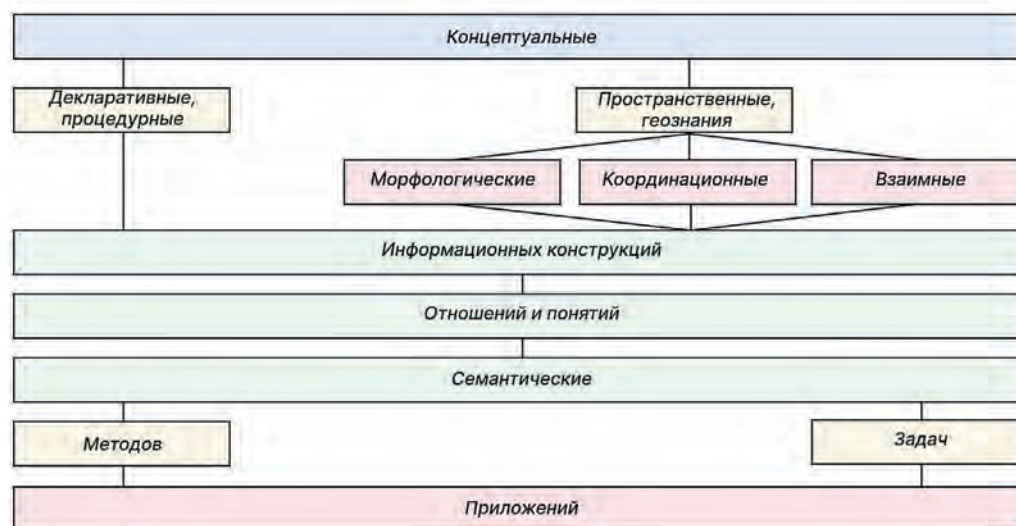


Рис. 1  
Многоуровневая система онтологий в геоинформатике (авторская иллюстрация, основанная на иллюстрации из источника [8])

Fig. 1  
A multi-tier ontology system in geoinformatics (author's illustration based on a figure from [8])

Как метод научного познания, геоинформационное моделирование представляется совокупностью процессов построения моделей и взаимодействия между ними и исследователем, их интерпретации и практического применения [9].

К задачам геоинформатики относят две основные группы: информационно-лингвистические и прикладные. Первые относятся к разработке «описательных моделей, которые формируют картину мира», вторые – к «проектированию, разработке, сопровождению систем, моделей, проектов и поддержке исследований в других научных направлениях» [10].

Зарождение, развитие и становление геоинформатики, ее интеграция с другими естественными науками и связь с ними, ветвление и разделение на направления – актуальная тема для современных исследований в геологической и горной отраслях. Значимость истории геоинформатики проявляется в необходимости познания истории суждений о природе недр и современных технологиях.

**Зарождение науки и происхождение термина «геоинформатика»**

А.А. Майоров, доктор технических наук и профессор «Московского государственного университета геодезии и картографии», посвятил значительную часть своих исследований темам геоинформатики, геоматики и геоданных. Так, в его статье «О развитии геоинформатики и геоматики» упоминается, что «геоинформатика и геоматика появились как следствия признания научным сообществом растущей потребности в пространственной информации для науки, практики и нового понимания Земли как сложной системы» [11]. При этом происхождение термина «геоинформатика» автор приписывает слиянию отраслей геодезии и информатики. Другие исследователи, к примеру Иванников, Кулагин, Тихонов и Цветков, разделяют название «геоинформатика» на составляющие «гео» и «информатика», не выделяя слова «геодезия». В свою очередь, некоторые авторы определяют возникновение понятия «геоинформатика» как фрагментарное заимствование из иностранных языков, где «информатика» – это научное направление, изучающее теорию методов хранения и анализа информации, а «гео» – часть слова «географический». Если рассматривать название термина с такой позиции, то оно является производным от словосочетания «географическая информатика»<sup>1</sup>.

Несмотря на то что геоинформатика – одна из наиболее поздно зародившихся наук, а многие первооткрыватели, стоящие у ее истоков, до сих пор являются активными членами научного сообщества, расхождения возникают уже на этапе трактовки термина.

В данном контексте они напоминают нам случайных героев Дж. Свифта, непримиримо спорящих о том, с какой стороны разбивать яйцо: с тупого или острого конца? При этом игнорируя тот факт, что главное – разбить яйцо, и суть в самом яйце. Потому авторы склоняются к тому варианту, в котором слово «геоинформатика» разделяется на элементы «гео» (исходя из греческого *ge* – Земля) и «информатика», без конкретизации области геонаук, будь то геодезия, геология или география.

Объемное понятие «геоинформатика» включает в себя

несколько направлений или подходов, которые стали следствием развития этой науки. К дефинициям слова «геоинформатика» и подходам относят:

1. Научно-познавательный подход. При этом подходе термин «геоинформатика» трактуется как научная дисциплина, фокусирующаяся на изучении природных и экономических систем, их взаимном влиянии и структуре, с помощью моделирования (компьютерного и математического) на основе накопленных знаний, представленных базами данных. Основная цель геоинформатики в ключе научно-познавательного подхода – изучение этих систем и управление ими, их интеграция.

2. Технологический подход. При этом подходе геоинформатика – это не наука, а технология. Технология сбора и хранения данных, визуализации картографической и пространственно-распределенной информации. Цель такой технологии – обеспечение наиболее грамотного и корректного решения поставленной задачи автоматизированного подхода к управлению геосистемами.

3. Производственный подход. При этом подходе геоинформатика – не наука и технология, а производство и индустрия, специализирующаяся на изготовлении программных продуктов и аппаратных средств.

Каждый из подходов неразрывно связан с предыдущим – технологическая часть геоинформатики не может быть достигнута без теоретической базы, а производственные инструменты – разработаны без технологии и методики. В то же время на научный подход влияют результаты практического применения программного продукта – благодаря собранным данным могут быть скорректированы старые теории и выявлены новые.

**История развития геоинформатики**

В истории развития геоинформатики и ее подходов принято выделять четыре стадии, или периода. Наглядно они отображены на рис. 2.



**Рис. 2** Основные стадии (периоды) развития геоинформатики (авторская иллюстрация, основанная на литературных источниках)

**Fig. 2** The main stages (periods) of geoinformatics development (author's illustration based on literature sources)

1. Начальная стадия, или пионерный период (конец 1950-х – начало 1970-х годов). На этом этапе исследовались возможности, нарабатывался практический опыт, коллекционировались знания из смежных областей – информатики, геологии, картографии и др. Это длительный период, во многом повлиявший на современный облик геоинформатики как науки.

Большое влияние в этот период оказывают теорети-

<sup>1</sup> Геоинформатика: наука, технология, индустрия. Режим доступа: <https://scibook.net/sistemyi-geologii-geoinformatsionnyie/geoinformatika-nauka-tehnologiya-48112.html> (дата обращения: 08.08.2023).

ческие работы в области географии и пространственных взаимосвязей, а также становление количественных методов в географии в США, Канаде, Англии, Швеции (работы У. Гаррисона, Т. Хагерстранда, Г. Маккарти, Я. Макхарга)<sup>2</sup>.

Наиболее ярким открытием пионерного периода считается разработанная под руководством Р. Томлинсона в 1963–1971 гг. первая геоинформационная система – Канадская ГИС (CGIS). Эта программа позволяла хранить геопространственные данные для их учета в кадастровом реестре Канады, а также помогала в разработке нормативных процедур для мониторинга ресурсов и управления землепользованием [12]. Программный продукт продолжал эксплуатироваться до вплоть до 1980-х годов, а сам Роджер Томлинсон был признан «отцом ГИС». Стоит отметить, что стоящий у истоков геоинформатики ученый был в первую очередь географом, что указывает на непосредственную связь между этими науками<sup>3</sup>.

Помимо канадских разработок, свой вклад в развитие геоинформатики и геоинформационных систем внесли и американские исследователи. Так, в середине 1960-х годов Говардом Фишером на базе Массачусетского технологического университета была основана Гарвардская лаборатория компьютерной графики и пространственного анализа. Эта лаборатория функционировала вплоть до начала 1991 г. и стала первооткрывателем многих методик разработки географических и картографических компьютерных систем. В конце пионерного периода (начальной стадии развития геоинформатики) лабораторией были представлены программы как для сбора данных, так и для двумерного и трехмерного моделирования, анализа и прогнозирования информации. Деятельность лаборатории называли «междисциплинарной» из-за сложной связи между информатикой и географией, которая и легла в основу выпущенного программного обеспечения.

Дана Томлин, автор научных трудов и профессор, работая именно в Гарвардской лаборатории, заложил основы картографической алгебры, описывающей работу с растровыми полями (картами) при помощи математических операций. Результаты его исследований изложены в труде «Географические информационные системы и картографическое моделирование», который на долгие годы стал базовой книгой для изучения сути геоинформатики<sup>4</sup>.

Гарвардская лаборатория доказала, что взаимодействие практики и теории – неразрывно. А в контексте современной эпохи диалектическое единство теории и практики – актуальная проблема, которая рассматривалась в трудах многих философов. Так, Карл Маркс в своих работах уделял значительное внимание тому, что необходимо не только объяснять мир (чем занимается теория), но и улучшать его, изменять в соответствии с открытыми законами (это то, за что отвечает практика). Фридрих Энгельс, в свою очередь, писал, что «все приобретаемые нами знания по необходимости ограничены и обусловлены теми обстоятельствами, при которых мы их приобретаем» [13, с. 302]. Это утверждение отражает недостаточность одной лишь теории в отрыве от практического опыта, несосто-

ятельность тех учений, что выведены в стерильном, вакуумном пространстве.

2. Срединная стадия, или период государственных инициатив (начало 1970-х – начало 1980-х гг.). Этот этап характеризуется развитием крупных геоинформационных проектов, которые поддерживались и одобрялись государствами стран, формированием проектных и исследовательских групп и институтов, специализирующихся на геоинформационных системах, продуктах и геоинформатике.

В конце 1960-х годов правительство Соединенных Штатов, наблюдая за успехом канадских коллег, сформулировало мнение о необходимости создания автоматизированных реестров и архивов, позволяющих отслеживать информацию, поступающую из Национального бюро переписей США. Данные, которые хранились на бумажных носителях, должны были быть оцифрованы и занесены в компьютерную систему для того, чтобы ускорить процесс их анализа и обработки. Так, задача переписи населения стала проблемой, решение которой представлялось возможным при помощи появившихся инструментов картографического моделирования. «География переписи» формулировалась как комплексная концепция, по которой жители разных штатов представлялись исследователям как точки, пространственно распределенные в соответствии с географическими данными. Был разработан специальный формат представления картографических данных DIME (Dual Independent Map Encoding), для которого были определены прямоугольные координаты перекрестков, разбивающих улицы всех населенных пунктов США на отдельные сегменты.

Несмотря на то что алгоритмы, методика и теоретические предпосылки были заимствованы из исследований ученых Гарвардской лаборатории, американские ученые усовершенствовали и модернизировали существующие подходы, а в их разработке был впервые применен топологический подход к организации управления географической информацией, который содержал математический способ описания пространственных взаимосвязей между объектами.

Появление этого подхода вкпе с государственной поддержкой разработок, направленных на развитие геоинформатики и ГИС-систем, привело к увеличению количества экспериментальных работ в этой области. Появились первые практические результаты в индустрии навигационных систем общего пользования и цифровых городских карт.

Параллельно с задачей переписи населения, или «географией переписи», в американском институте исследования систем окружающей среды (ESRI) шла поэтапная разработка моделей пространственных данных (растровых и векторных систем) на базе теоретических идей и методов, также разработанных в Гарвардской лаборатории и других организациях. Основанная Джеком Дэнджермондом компания (название «институт» – формальное, фирма была и остается частной) стала лидером в области производства геоинформационных систем. Среди программ, которые ESRI предоставляет пользователям, комплексы геоинформационных продуктов ArcGIS и ArcView, работа в которых активно ведется и по сей день, в том числе – в странах СНГ [14]. Широкие массы получили доступ к этим компьютерным программам на следующем этапе развития геоинформатики – в пользовательский период.

В середине 1970-х годов зародилась шведская школа ге-

2 История развития геоинформационных систем. Информационно-образовательные ресурсы ГАГУ. Режим доступа: <https://e-lib.gasu.ru/eposobia/gis/2.html> (дата обращения: 15.10.2022).

3 Roger Tomlinson: The father of computerized cartography. Available at: <https://www.theglobeandmail.com/technology/science/roger-tomlinson-the-father-of-computerized-cartography/article17185506/> (accessed: 17.08.2023).

4 C. Dana Tomlin, Professor Emeritus of Landscape Architecture. Weitzman school of Design Available at: <https://www.design.upenn.edu/landscape-architecture/people/c-dana-tomlin> (accessed: 22.10.2022).

оинформатики, исследования которой формировались на фундаментальных статьях, написанных географами Университета Лунда О. Саломонссоном и Т. Германсенон, а базировались эти статьи на разработанной в Швеции ГИС-системе для учета земельной документации<sup>5</sup>. Как и в случае с канадским опытом, появление научного обоснования для геоинформатики было продиктовано практической задачей кадастрового и земельного учетов. Отечественный читатель мог узнать о западных наработках из сборника «Новые идеи в географии» (отв. ред. В.М. Гохман и Ю.В. Медведков) – одной из немногих коллекций статей, освещающих проблемы геоинформатики в советском пространстве.

С расширением сферы влияния геоинформатики, обновлением теоретической базы и введением строго математического подхода к созданию геоинформационных программ были выявлены традиционные составляющие ГИС (геоинформационных систем). Уже на этой стадии ГИС формировались как комплексные решения, сочетающие в себе несколько подходов, – подробная схема приведена на рис. 3.



**Рис. 3**  
Классические составляющие геоинформационных систем (авторская иллюстрация, основанная на иллюстрации из источника: Roger Tomlinson: The father of computerized cartography. Available at: <https://www.theglobeandmail.com/technology/science/roger-tomlinson-the-father-of-computerized-cartography/article17185506/> (accessed: 17.08.2023))

**Fig. 3**  
Classical components of geoinformation systems (author's illustration based on a figure from: Roger Tomlinson: The father of computerized cartography. Available at: <https://www.theglobeandmail.com/technology/science/roger-tomlinson-the-father-of-computerized-cartography/article17185506/> (accessed: 17.08.2023))

Так, этот период ознаменовался развитием фундаментальных принципов и законов геоинформатики, формулированием основных особенностей и понятий этой науки, получением важнейших законов и положений.

3. Современная стадия, или пользовательский период (конец 1980-х годов – настоящее время). Предшествующие этапы стали отправной точкой для массового применения геоинформационных систем и наиболее яркого развития геоинформатики как науки.

На пользовательском периоде наиболее значимую

роль в повышении заинтересованности геоинформатикой сыграло развитие сети «Интернет» – информация и программные продукты стали ближе и доступнее для научных сотрудников, работников частных и государственных компаний, студентов. С распространением пользовательских компьютеров, улучшением их качества, повышением доступности, начал насыщаться рынок ГИС-систем, расширилась область их применения и число пользователей.

Несмотря на то что в Советском Союзе, а позднее – в Российской Федерации геоинформатика и геоинформационные системы развивались медленнее, чем на Западе, на сегодняшний день наблюдается значительный рост заинтересованности в этой отрасли.

Геоинформатика, основы которой были заложены исходя из положений информатики и наук о Земле, а также картографической алгебры, появившейся позднее, на современном этапе развития разделилась на несколько специализированных направлений:

- Общая геоинформатика. Базовая отрасль геоинформатики, занимающаяся исследованием фундаментальных проблем и задач теории [15].
- Геоинформатика транспорта. Направление геоинформатики, цель которого – изучение и практическое применение технологий контроля состояния пути, проектирования и строительства на основе мобильного лазерного сканирования, интегрированного с геоинформационными системами [16]. Экспериментальные исследования, которые проводились при помощи инструментария геоинформатики транспорта, позволили не только смоделировать существующие дорожные системы, но и проанализировать их отображение на карте в соответствии с характеристиками времени, а также учесть и спланировать изменения дорожного полотна [17].
- Экологическая геоинформатика. Составляющая науки геоинформатики, направленная на решение проблем, связанных с окружающей средой. Это набор современных и усовершенствованных методов, который может применяться для контроля и прогнозирования стихийных бедствий, картирования и мониторинга элементов окружающей среды, комплексного управления прибрежными районами, управления природными ресурсами и т. д. [18].
- Космическая геоинформатика. Раздел геоинформатики, отвечающий за исследование космического пространства интегрированными методами различных научных направлений – геоинформатики, технологий дистанционного зондирования земли, геодезической астрономии, космической фотограмметрии, обработки радиолокационных и тепловых снимков [19]. В космическом геоинформационном моделировании используется набор методов, одновременно схожий и отличный от техник, которые применяются при моделировании земных объектов. Так, ключевое сходство заключается в использовании технологии геоинформационного мониторинга (наблюдения за большим количеством данных и их анализ), а различия – в форме представления информации (для космической геоинформатики пространство представляется набором вложенных пространств: дальний космос, ближний

<sup>5</sup> Геоинформатика. Фонд знаний «Ломоносов» Режим доступа: <http://www.lomonosov-fund.ru/enc/ru/encyclopedia:01337:article> (дата обращения: 23.08.2023).

космос, солнечная система, залунное пространство, подлунное пространство и околоземное космическое пространство) [20].

С развитием геоинформатика постепенно из прикладной дисциплины, источники которой восходят к слиянию других учений, стала самостоятельной наукой о пространстве, данных и их изменении во времени. Она обрела собственные направления, значительный пласт теоретической базы, влиятельных ученых и последователей.

Геоинформатика на современной стадии – это наука о свойствах геоинформации, ее закономерностях, методиках поиска и изучения данных о природных явлениях и объектах.

4. Финальная стадия, или коммерческий период (конец 1980-х годов – настоящее время). Параллельно современной стадии выстраивался период, названный «коммерческим». Этот временной промежуток, начавшийся в конце прошлого столетия и длящийся до сих пор, характеризуется возросшим спросом на прикладные достижения геоинформатики, программные комплексы и системы, разработанные при помощи теории этой науки.

На финальной стадии в США появляется подтверждение значимости геоинформатики на государственном уровне. Так, в 1994 г. было утверждено правительственное распоряжение под названием «Координация в области получения и доступа к данным: Национальная инфраструктура пространственных данных» [21]. А пространственные данные – это в первую очередь объект исследований геоинформатики и геоинформационных систем.

В Российской Федерации такие подтверждения появились позднее, в 2013 г. (также после постановления правительства). Федеральным научно-техническим центром геодезии, картографии и инфраструктуры пространственных данных был создан фонд пространственных данных, оцифрованы и представлены пользователям и ученым сеть геодезических станций и каталог географических названий<sup>6</sup>.

Коммерческий период характеризуется государственной поддержкой в сочетании с экономическими потребностями рынка геоинформационных систем.

Так, современные ученые выделяют три направления рынка геоинформационных систем, имеющихся на сегодняшний день: данные дистанционного зондирования, навигация и геодезия. В рамках исследований проводились опросы экспертов, анализ открытых данных, расчет затрат и закупок, а также обзор вузов, подготавливающих специалистов в данной отрасли. Были выявлены тенденции роста рынка, увеличения количества разрабатываемого программного обеспечения и повышения качества обучения в высших учебных заведениях [22].

### Геоинформатика в России:

#### краткая история, проблемы и перспективы развития

При проведении общей оценки уровня развития геоинформатики в 1960–1970-х годах некоторые исследователи утверждают, что в нашей стране осознание ее роли в системе наук пришло позднее, чем у западных ученых. Так, свое развитие в Советском Союзе геоинформатика получила лишь с появлением первых ведущих центров и научных лабораторий [23]. Но при

этом не учитывались наработки в оборонной отрасли.

В СССР первые практические и теоретические наработки появились ненамного позднее, чем в других государствах, и по качеству мало уступали иностранным работам. В 1970-х годах в Нижегородском НИИ прикладной математики и картографии (НИИПМК) была разработана «методология, заложенная в технологии создания твердых копий топографических карт различных масштабов для Роскартографии». Она позволяла за короткое время на новой компьютерной базе создать автоматизированную картографическую систему и во многом превосходила появившееся ранее методики [24].

В.С. Тикун, российский ученый-картограф и доктор географических наук, отмечал, что опыт геоинформатики на территориях постсоветского пространства во многом был связан с адаптацией зарубежных технологий. При этом исследования проводились во многих городах: Владивосток, Уфа, Москва, Казань, Тобольск и др. В 1980-х годах осуществлялись исследования по пространственному анализу, картографо-математическому моделированию, тематическому картографированию и их автоматизации, проводились теоретическое обоснование и разработка первых геоинформационных систем. А первой отечественной геоинформационной системой считается разработанная в 1986 г. Н.Л. Беручишвили, физико-географом и ландшафтоведом, геоинформационная система Марткопского физико-географического стационара тбилисского университета.

При этом после распада СССР геоинформационные исследования в России некоторое время сдерживались отсутствием открытых данных. В них не было явной практической необходимости – место на рынке завоевали иностранные программы. И только в последние два десятилетия, благодаря государственной инициативе, появились достойные ответы на вопросы, поставленные геоинформатикой как прикладной дисциплиной. Был разработан и успешно функционирует следующий ряд программ: Единое геоинформационное пространство г. Москвы, Региональная геоинформационная система Московской области, Геоинформационная система Санкт-Петербурга, Региональная инфраструктура на территории Калужской области, ГИС в территориальном планировании Ростовской области и многие другие [25].

Сегодня в экономике России, в научном сообществе и в образовательной сфере геоинформатика занимает одну из ключевых позиций. Только за последние 5 лет состоялся ряд конференций, посвященных проблемам геоинформатики и геоинформационным системам, среди которых такие мероприятия, как научно-практическая конференция «Актуальные вопросы геодезии и геоинформационных систем» (2017 г.), международная научно-техническая конференция «Пространственные данные как основа развития цифровой экономики России» (2018 г.) и др. [26]

В настоящее время силами ученых университета МИСИС геоинформатика развивается в различных направлениях: как инструмент при построении моделей горно-геологических информационных систем предприятий для мониторинга событий и планирования [27], для компьютерного моделирования систем управления информационной безопасностью геоинформационных технологий [28], мониторинга инцидентов безопасности [29]. Немаловажен и вклад геоинформатики как науки для современного состояния нейросетевого моделирования геологиче-

<sup>6</sup> Историческая справка об учреждении. Официальный сайт «Федерального научно-технического центра геодезии, картографии и инфраструктуры пространственных данных». Режим доступа: <https://cgkpid.ru/about-us/history/> (дата обращения: 12.08.2023).

ских объектов. Так, использование геоинформационных программных комплексов и геостатистической обработки исходных данных позволяет выявить закономерности в распределении полезного компонента в рудном теле, обучить модель и провести оценку и анализ результатов [30]. В свою очередь, такие модели содержания полезного компонента способны в значительной степени упростить интерпретацию геологической информации и снизить временные затраты при оценке запасов [31].

Но несмотря на повышение качества и количества исследований и наработок в сфере геоинформатики из-за отставания на ранних этапах развития этой науки современная Россия временно не может претендовать на лидирующую позицию как в части исследований, так и в сегменте производства программных продуктов. Решение этой проблемы может быть достигнуто увеличением числа лабораторий и учебных программ, освещающих основы теоретической геоинформатики и ее прикладной значимости. Причем в этом аспекте основную роль должно играть накопление всеобъемлющей информации об объектах моделирования.

В силу того что геоинформатика – относительно «молодая» наука, это направление перспективно для исследований. Сфер и отраслей, в которых может быть применен инструментарий геоинформатики (помимо классического их использования в геологии и картографии), много: энергетика [32], кадастровый инжиниринг, языкознание, транспорт [33] и многие другие. Поэтому отечественные исследования, проводимые в рамках этой науки, на долгие годы смогут сохранить свою необходимость и актуальность, что характеризует развитие геоинформатики как одной из самых проблемно-ориентированных наук.

Важными темами для изучения и проведения исследований в сфере геоинформатики на сегодняшний день являются различные аспекты моделирования и вовлечения

в отработку техногенных месторождений, характеризующихся сложным пространственным распределением полезных компонентов и неявными зависимостями между содержаниями тех или иных элементов. Одной из ключевых особенностей моделирования объектов подобного – искусственного – происхождения является необходимость задействования специфического математического аппарата и значительных программных мощностей.

Применение искусственного интеллекта для решения задач геологии и горного дела также нашло свое отражение в современных подходах к геоинформатике. Нейросетевое программирование с каждым днем становится все более доступным, а концепт обучаемых моделей для прогнозирования и оценки свойств минерального сырья – более необходимым. Так, ученые из университета МИСИС уже сегодня разрабатывают модели искусственных нейронных сетей для геомоделирования границ литологических разностей [34].

**Заключение**

Геоинформатика, зародившаяся намного позже, чем другие науки, менее чем за век своего существования стала не только прикладной и инженерной дисциплиной, но и отраслью знаний, которая характеризуется своими постулатами, законами, теоремами и аксиомами. Ее развитие не было линейным – в истории геоинформатики прослеживаются как взлеты, так и периоды застоя.

В статье отражена краткая и полная хронология событий, связанных с геоинформатикой и геоинформационными системами. Также было приведено деление времени на различные этапы развития геоинформатики. Эти этапы (стадии) и наиболее значимые открытия, происшедшие в выявленные временные интервалы, дополнительно проиллюстрированы на рис. 4.

По прошествии лет геоинформатика заняла свое место

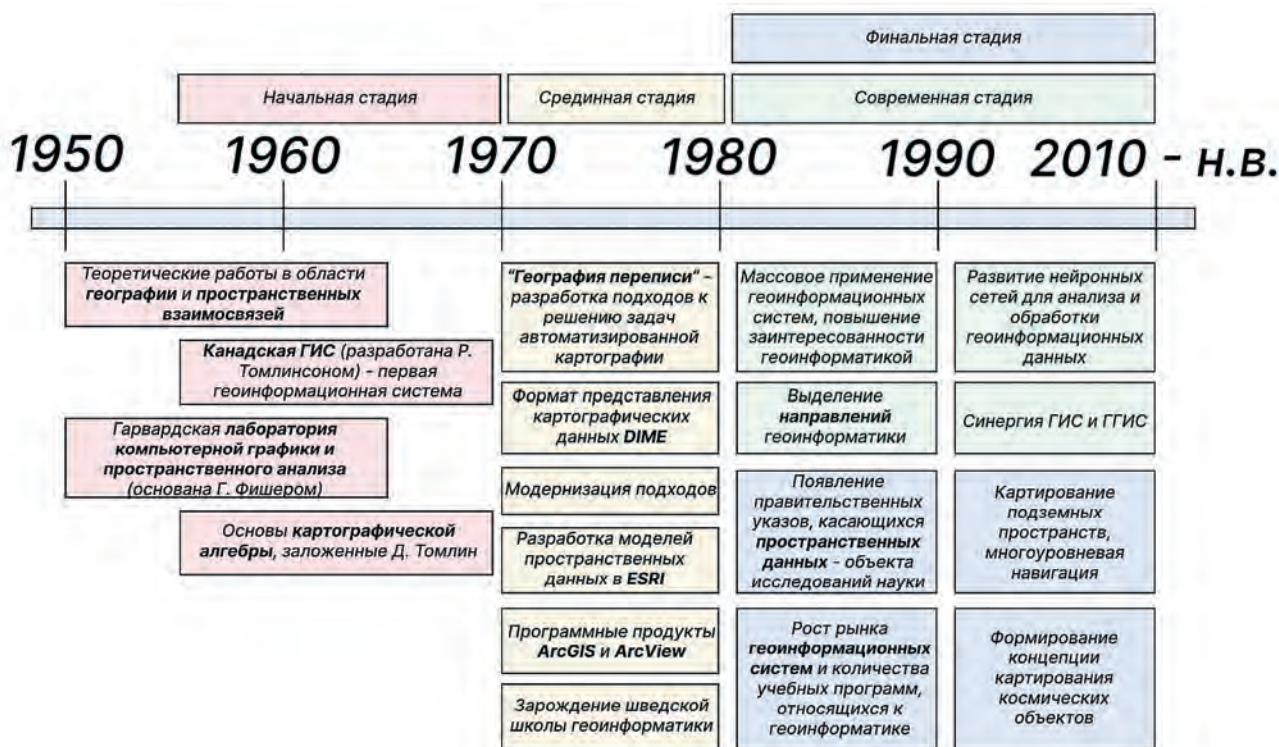


Рис. 4 Стадии развития геоинформатики (авторская иллюстрация, основанная на собранной информации)

Fig. 4 Stages of geoinformatics development (author's illustration based on collected information)

в списке наук. Появились дисциплины в университетах, государственная поддержка отдельных программ, связанных с геоинформатикой, лаборатории и научные центры. Были рассмотрены все вышеперечисленные аспекты и выделены в отдельную главу исторические события, а также проблемы и перспективы развития геоинформатики в России.

Как наука, на раннем этапе становления сложившаяся из геологии, картографии, геодезии и информатики, геоинформатика стала той интегрированной отраслью знаний, что соединила в себе лучшие открытия своих предшественников. Методов, которыми оперирует геоинформатика, – множество, но в силу позднего зарождения этой науки большая часть из них только будет разработана и открыта.

Проблемы, которые могут возникнуть при дальнейшей эволюции геоинформатики, напрямую связаны с тем, насколько прикладная это наука. Геоинформатика не может существовать без геоинформационных систем и программных продуктов, которые в капиталистическом

мире стали рычагом коммерциализации науки. С одной стороны, практическое применение диктует спрос на исследования, с другой – влияет на их качество. Сегодня геоинформатика ассоциируется в основном с теми геоинформационными ресурсами, которые она предлагает, а не с теоретическими основами. Для того чтобы не допустить превращения геоинформатики в исключительно прикладную отрасль, зависимую от экономики, требуется как международное взаимодействие ученых, так и всесторонняя государственная поддержка.

Для каждого исследователя, который планирует посвящать свои работы геоинформатике, важно ознакомиться с ее теоретическими и историческими основами, так как они определяют восприятие геоинформатики, ее проблем и законов функционирования. Представленная необходимая и достаточная информация для того, чтобы сформировать мнение о месте геоинформатики среди наук, ее социальной, экономической и научной значимости.

#### **Вклад авторов**

А.А. Тедикова – генерация идеи исследования, постановка задачи исследования и получение данных для анализа.

М.Д. Климоchenков – выполнение работы по систематизации материала, написание текста статьи.

И.А. Мельниченко – анализ результатов исследований и подготовка материала к публикации.

М.А. Красноцветов – анализ литературных источников и редактирование текста статьи.

С.С. Ус – подготовка иллюстраций к статье, координация и планирование исследования.

И.И. Кутлыев – постановка вопросов исследования, составление методологии.

М.В. Щёкина – редактирование текста статьи.

#### **Authors' contributions**

Anita A. Tedikova – generating the research idea, setting the research problem and obtaining data for analysis.

Maxim D. Klimochenkov – performing work on systematization of the material, writing the text of the article.

Iliia A. Melnichenko – analyzing the research results and preparing the material for publication.

Maxim A. Krasnotsvetov – analyzing literary sources and editing the text of the article.

Semen S. Us – preparation of illustrations for the article, coordination and planning of the research.

Ildan I. Kutlyev – formulating the research questions, drafting the methodology.

Marina V. Shchekina – editing the text of the article.

#### **Конфликт интересов**

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

#### **Conflict of interests**

The authors declare no conflict of interests.

#### **Список литературы / References**

1. Фейерабенд П. *Избранные труды по методологии науки*. М.: Прогресс; 1986. 542 с.
2. Иванников А.Д., Кулагин В.П., Тихонов А.Н., Цветков В.Я. *Геоинформатика*. М.: МАКС Пресс; 2001. 349 с.
3. Широков Р.С. История создания ГИС. В кн.: *Институт истории естествознания и техники им. С. И. Вавилова РАН: сб. тр. годичной научной конференции*. М.; 2002.
4. Бутко Е.Я. Геоинформатика как метод познания. *Образовательные ресурсы и технологии*. 2016;(5):56–62. Butko E.Ya. Geoinformatics as method of cognition. *Educational Resources and Technologies*. 2016;(5):56–62. (In Russ.)
5. Maiorov A. Modern development of geoinformatics. *European Researcher*. 2014;82(9-1):1620–1626. <https://doi.org/10.13187/er.2014.82.1620>
6. Тискунова В.С. *Основы геоинформатики*. М.: Издательский центр «Академия»; 2004. 345 с.
7. Лайкин В.И., Упоров Г.А. *Геоинформатика*. Комсомольск-на-Амуре: Издательство АмГПУ; 2010. – 160 с.
8. Розенберг И.Н. Онтологический подход в геоинформатике. *Образовательные ресурсы и технологии*. 2016;(5):86–91. Rosenberg I.N. The ontological approach geoinformatics. *Education Resources and Technologies*. 2016;(5):86–91. (In Russ.)
9. Розенберг И.Н. Геоинформационное моделирование как фундаментальный метод познания. *Перспективы науки и образования*. 2016;(3):12–15. Режим доступа: [https://pnojurnal.wordpress.com/wp-content/uploads/2016/05/pdf\\_160302.pdf](https://pnojurnal.wordpress.com/wp-content/uploads/2016/05/pdf_160302.pdf) (дата обращения: 03.03.2024). Rozenberg I.N. Geoinformation modeling as a fundamental method of cognition. *Perspectives of Science & Education*. (In Russ.) Available at: [https://pnojurnal.wordpress.com/wp-content/uploads/2016/05/pdf\\_160302.pdf](https://pnojurnal.wordpress.com/wp-content/uploads/2016/05/pdf_160302.pdf) (accessed: 03.03.2024).

10. Савиных В.П. Геоинформатика в системе наук. *Образовательные ресурсы и технологии*. 2016;(3):106–112. Savinykh V.P. Geoinformatics in the system sciences. *Education Resources and Technologies*. 2016;(3):106–112. (In Russ.)
11. Майоров А.А. О развитии геоинформатики и геоматики. *Перспективы науки и образования*. 2015;(1):63–69. Режим доступа: [https://pnojournal.wordpress.com/wp-content/uploads/2014/12/pdf\\_150110.pdf](https://pnojournal.wordpress.com/wp-content/uploads/2014/12/pdf_150110.pdf) (дата обращения: 03.03.2024). Maiorov A.A. About development geoinformatics and geomatics. *Perspectives of Science & Education*. (In Russ.) Available at: [https://pnojournal.wordpress.com/wp-content/uploads/2014/12/pdf\\_150110.pdf](https://pnojournal.wordpress.com/wp-content/uploads/2014/12/pdf_150110.pdf) (accessed: 03.03.2024).
12. Bower S.S. Tools for rational development: The Canada land inventory and the Canada geographic information system in mid-twentieth century Canada. *Scientia Canadensis*. 2018;40(1):44–75. <https://doi.org/10.7202/1048925ar>
13. Маркс К., Энгельс Ф. *Сочинения*. 2-е изд. М.: Типография №1 «Печатный Двор»; 1961. Т. 21. 745 с.
14. Docan D.C. *Learning ArcGIS for Desktop*. Birmingham: Packt Publishing; 2016. 25 p.
15. Цветков В.Я. Эволюция геоинформатики. *Вектор ГеоНаук*. 2022;(5):53–63. <https://doi.org/10.24412/2619-0761-2022-2-53-63> Tsvetkov V.Ya. The evolution of geoinformatics. *Vector of Geosciences*. 2022;(5):53–63. (In Russ.) <https://doi.org/10.24412/2619-0761-2022-2-53-63>
16. Андреева А.О. *Разработка методики геоинформационного моделирования объектов инфраструктуры железнодорожного транспорта: дис. ... канд. техн. наук*. М.; 2021. 218 с.
17. Еремеев С.В., Егай М.В., Абакумов А.В. Геоинформационная технология для планирования и учета дорожного покрытия. *Геоинформатика*. 2022;(2):18–24. <https://doi.org/10.47148/1609-364X-2022-2-18-24> Eremeev S.V., Egai M.V., Abakumov A.V. Geoinformation technology for road surface planning and accounting. *Geoinformatika*. 2022;(2):18–24. (In Russ.) <https://doi.org/10.47148/1609-364X-2022-2-18-24>
18. Mondal B.K. *West Bengal: Geoinformatics for Sustainable Environment Management*. Salt Lake City: Netaji Subhas Open University; 2018. Vol. 2. 238 p.
19. Господинов С.Г. Геодезическая астрономия и космическая геоинформатика. *Наука и технологии железных дорог*. 2017;(1):45–50. Gospodinov S.G. Geodetic astronomy and space geoinformatics. *Nauka i Tekhnologii Zheleznikh Dorog*. 2017;(1):45–50. (In Russ.)
20. Савиных В.П. Геоинформационное моделирование в космических исследованиях. *Образовательные ресурсы и технологии*. 2017;(3):109–117. Savinykh V.P. Geoinformation modeling in space researches. *Education Resources and Technologies*. 2017;(3):109–117. (In Russ.)
21. Лобанов А.А. Инфраструктура пространственных данных как ресурс управления. *Государственный советник*. 2014;(4):76–81. Режим доступа: <https://gossovetnik.wordpress.com/wp-content/uploads/2014/12/140412.pdf> (дата обращения: 03.03.2024). Lobanov A.A. Spatial data infrastructure as a resource management. *The State Counsellor*. 2014;(4):76–81. (In Russ.) Available at: <https://gossovetnik.wordpress.com/wp-content/uploads/2014/12/140412.pdf> (accessed: 03.03.2024).
22. Дыба С.Е., Чернова И.В. Рынок геоинформационных продуктов и услуг в России. *Наука. Инновации. Технологии*. 2019;(4):173–184. Режим доступа: <https://scienceit.elpub.ru/jour/article/view/42/0> (дата обращения: 03.03.2024). Dyba S.E., Chernova I.V. Geographic information products and services market in Russia. *Science. Innovations. Technologies*. 2019;(4):173–184. (In Russ.) Available at: <https://scienceit.elpub.ru/jour/article/view/42/0> (accessed: 03.03.2024).
23. Кошкарев А.В. О ранней истории дальневосточной геоинформатики и тематической картографии. *Тихоокеанская география*. 2021;(3):43–50. [https://doi.org/10.35735/26870509\\_2021\\_7\\_43](https://doi.org/10.35735/26870509_2021_7_43) Koshkarev A.V. On the early history of far eastern geoinformatics and thematic mapping. *Pacific Geography*. 2021;(3):43–50. (In Russ.) [https://doi.org/10.35735/26870509\\_2021\\_7\\_43](https://doi.org/10.35735/26870509_2021_7_43)
24. Балавина Н.В., Нечаев А.М., Гончаров С.В. *Геоинформационные системы и их применение*. М.: Издательский дом Академии Естествознания; 2018. 236 с.
25. Дупленко А.Г. Этапы и тенденции развития геоинформационных систем. *Молодой ученый*. 2015;(9):115–117. Режим доступа: <https://moluch.ru/archive/89/18321/> (дата обращения: 03.03.2024). Duplenko A.G. Stages and trends in the development of geoinformation systems. *Molodoy Uchenyi*. 2015;(9):115–117. (In Russ.) Available at: <https://moluch.ru/archive/89/18321/> (accessed: 03.03.2024).
26. Кошкарев А.В. Место геоинформатики в цифровой экономике России. В кн.: *Обработка пространственных данных в задачах мониторинга природных и антропогенных процессов (SDM-2019): сб. тр. Всерос. конф. с междунар. участием, г. Бердск, 26–30 авг. 2019 г.* Новосибирск: Институт вычислительных технологий Сибирского отделения РАН; 2019. С. 384–388.
27. Гончаренко С.Н., Лачихина А.Б. Построение модели горно-геологической информационной системы промышленного предприятия в защищенном исполнении. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2023;(6):39–55. Режим доступа: [https://giab-online.ru/files/Data/2023/6/2023\\_06\\_39-55.pdf](https://giab-online.ru/files/Data/2023/6/2023_06_39-55.pdf) (дата обращения: 03.03.2024). Goncharenko S.N., Lachihina A.B. Modeling protected geological and geotechnical information system in mining industry. *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 2023;(6):39–55. (In Russ.) Available at: [https://giab-online.ru/files/Data/2023/6/2023\\_06\\_39-55.pdf](https://giab-online.ru/files/Data/2023/6/2023_06_39-55.pdf) (accessed: 03.03.2024).
28. Гончаренко С.Н., Яхеев В.В. Компьютерное моделирование корпоративной системы информационной безопасности геоинформационных технологий промышленного предприятия. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2022;(2):81–96. [https://doi.org/10.25018/0236\\_1493\\_2022\\_2\\_0\\_81](https://doi.org/10.25018/0236_1493_2022_2_0_81) Goncharenko S.N., Yakheev V.V. Computer modeling of corporate information security of geoinformation technologies at industrial facilities. *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 2022;(2):81–96. (In Russ.) [https://doi.org/10.25018/0236\\_1493\\_2022\\_2\\_0\\_81](https://doi.org/10.25018/0236_1493_2022_2_0_81)

29. Гончаренко С.Н., Лачихина А.Б. Мониторинг инцидентов безопасности геоинформационной системы управления и контроля деятельности промышленного предприятия. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2022;(3):108–116. [https://doi.org/10.25018/0236\\_1493\\_2022\\_3\\_0\\_108](https://doi.org/10.25018/0236_1493_2022_3_0_108)  
Goncharenko S.N., Lachihina A.B. Monitoring of geoinformation system security incidents in performance supervision and management in industry. *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 2022;(3):108–116. (In Russ.) [https://doi.org/10.25018/0236\\_1493\\_2022\\_3\\_0\\_108](https://doi.org/10.25018/0236_1493_2022_3_0_108)
30. Бондаренко И.С. Нейросетевое моделирование геологического поля месторождения. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2023;(6):19–38. Режим доступа: [https://giab-online.ru/files/Data/2023/6/2023\\_06\\_19-38.pdf](https://giab-online.ru/files/Data/2023/6/2023_06_19-38.pdf) (дата обращения: 03.03.2024).  
Bondarenko I.S. Neural network modeling of geological field of mineral deposit. *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 2023;(6):19–38. (In Russ.) Available at: [https://giab-online.ru/files/Data/2023/6/2023\\_06\\_19-38.pdf](https://giab-online.ru/files/Data/2023/6/2023_06_19-38.pdf) (accessed: 03.03.2024).
31. Кожухов А.А., Омельченко Д.Р., Мельниченко И.А., Ческидов В.В., Мосейкин В.В. Создание модели распределения полезного компонента в железорудном месторождении. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2023;(8):5–17. Режим доступа: [https://giab-online.ru/files/Data/2023/8/08\\_2023\\_5-17.pdf](https://giab-online.ru/files/Data/2023/8/08_2023_5-17.pdf) (дата обращения: 03.03.2024).  
Kozhukhov A.A., Omelchenko D.R., Melnichenko I.A., Cheskidov V.V., Moseykin V.V. Modeling mineral component distribution in iron ore deposits. *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 2023;(8):5–17. (In Russ.) Available at: [https://giab-online.ru/files/Data/2023/8/08\\_2023\\_5-17.pdf](https://giab-online.ru/files/Data/2023/8/08_2023_5-17.pdf) (accessed: 03.03.2024).
32. Шакун В.П., Рафикова Ю.Ю., Киселева С.В. Применение открытых ГИС-инструментов к разработке карт ресурсов и доступности территорий для объектов солнечной и ветровой энергетики. В кн.: *Фундаментальные и прикладные аспекты геологии, геофизики и геоэкологии с использованием современных информационных технологий: материалы 6-й Междунар. науч.-практ. конф., Майкоп, 17–21 мая 2021 г.* Майкоп: ИП Кучеренко Вячеслав Олегович; 2021. Часть 2. С. 164–169.
33. Максимова В.Н., Шестакова Л.И. (ред.) *Геоинформационные системы в управлении: сб. тр. науч.-практ. семинара Научно-образовательного центра «Геоинформационные системы», г. Челябинск, 20 февр. 2017 г.* Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ; 2017. 97 с.
34. Мельниченко И.А. *Трехмерное геомоделирование границ литологических разностей железорудных месторождений на основе пространственно-координированных данных: дис. ... канд. техн. наук. М.; 2021.* 209 с.

**Информация об авторах**

**Тедикова Анита Аркадьевна** – аспирант, Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС», г. Москва, Российская Федерация; <https://orcid.org/0009-0008-3343-280X>; e-mail: [anita\\_t@inbox.ru](mailto:anita_t@inbox.ru)

**Климоченков Максим Дмитриевич** – старший специалист производственно-технического отдела, ПАО «Высочайший» (GV Gold); аспирант, Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС», г. Москва, Российская Федерация; <https://orcid.org/0009-0001-1276-9285>; e-mail: [klimochenkov98@mail.ru](mailto:klimochenkov98@mail.ru)

**Мельниченко Илья Ашотович** – кандидат технических наук, старший преподаватель, Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС», г. Москва, Российская Федерация; <https://orcid.org/0000-0002-0205-6425>; e-mail: [kors-ilya@mail.ru](mailto:kors-ilya@mail.ru)

**Красноцветов Максим Александрович** – главный геолог АО «УК «Кузбассразрезуголь» филиал «Талдинский угольный разрез»; аспирант, Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС», г. Москва, Российская Федерация; <https://orcid.org/0009-0001-1615-574X>; e-mail: [maxim.krasnotsvetov@gmail.com](mailto:maxim.krasnotsvetov@gmail.com)

**Ус Семён Сергеевич** – аспирант, Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС», г. Москва, Российская Федерация; <https://orcid.org/0000-0003-3784-1957>; e-mail: [iltarques@gmail.com](mailto:iltarques@gmail.com)

**Кутлыев Ильдан Иванович** – аспирант, Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС», Москва, Российская Федерация; <https://orcid.org/0009-0005-3452-9724>; e-mail: [ildankutlyev@mail.ru](mailto:ildankutlyev@mail.ru)

**Щёкина Марина Владимировна** – кандидат технических наук, доцент, Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС», Москва, Российская Федерация; <https://orcid.org/0009-0007-2684-450X>; e-mail: [mshchekina@mis.ru](mailto:mshchekina@mis.ru)

**Информация о статье**

Поступила в редакцию: 13.04.2024

Поступила после рецензирования: 16.05.2024

Принята к публикации: 30.05.2024

**Information about the authors**

**Anita A. Tedikova** – Postgraduate Student, National University of Science and Technology “MISIS”, Moscow, Russian Federation; <https://orcid.org/0009-0008-3343-280X>; e-mail: [anita\\_t@inbox.ru](mailto:anita_t@inbox.ru)

**Maxim D. Klimochenkov** – Senior Specialist of Production and Technical Department, Vysochayshiy PJSC (GV Gold), Postgraduate Student, National University of Science and Technology “MISIS”, Moscow, Russian Federation; <https://orcid.org/0009-0001-1276-9285>; e-mail: [klimochenkov98@mail.ru](mailto:klimochenkov98@mail.ru)

**Ilya A. Melnichenko** – Cand. Sci. (Eng.), Senior Lecturer, National University of Science and Technology “MISIS”, Moscow, Russian Federation; <https://orcid.org/0000-0002-0205-6425>; e-mail: [kors-ilya@mail.ru](mailto:kors-ilya@mail.ru)

**Maxim A. Krasnotsvetov** – Chief Geologist, Coal Company Kuzbassrazrezugol JSC, Taldinsky Coal Mine, Krasulino settlement, Novokuznetskiy district, Russian Federation; Postgraduate Student, National University of Science and Technology “MISIS”, Moscow, Russian Federation; <https://orcid.org/0009-0001-1615-574X>; e-mail: [maxim.krasnotsvetov@gmail.com](mailto:maxim.krasnotsvetov@gmail.com)

**Semen S. Us** – Postgraduate Student, National University of Science and Technology “MISIS”, Moscow, Russian Federation; <https://orcid.org/0000-0003-3784-1957>; e-mail: [iltarques@gmail.com](mailto:iltarques@gmail.com)

**Ildan I. Kutlyev** – Postgraduate Student, National University of Science and Technology “MISIS”, Moscow, Russian Federation; <https://orcid.org/0009-0005-3452-9724>; e-mail: [ildankutlyev@mail.ru](mailto:ildankutlyev@mail.ru)

**Marina V. Shchekina** – Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor, National University of Science and Technology “MISIS”, Moscow, Russian Federation; <https://orcid.org/0009-0007-2684-450X>; e-mail: [mshchekina@mis.ru](mailto:mshchekina@mis.ru)

**Article info**

Received: 13.04.2024

Revised: 16.05.2024

Accepted: 30.05.2024

# Совершенствование реагентных режимов флотации руд сложного вещественного состава

Чжо Зай Яа<sup>1,2</sup>, А.А. Семикин<sup>2</sup>, Д.Г. Сандакова<sup>2</sup>✉, А.А. Дехтяренко<sup>2</sup>, В.А. Якимов<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Научно-технический исследовательский центр Пин У Львин, Мандалай, Мьянма

<sup>2</sup> Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС», г. Москва, Российская Федерация

<sup>3</sup> Государственный университет «Дубна», Московская область, г. Дмитров, Российская Федерация

✉ dsandakova@inbox.ru

**Резюме:** Руды сложного вещественного состава (медно-цинковые) России являются комплексным и труднообогатимым минеральным сырьем. Основной технологией обогащения таких руд является флотация. В настоящее время совершенствование технологии флотации такого минерального сырья проводится по нескольким направлениям. Практикой обогащения медно-цинковых руд установлено, что получение качественных цинковых и пиритных концентратов невозможно без использования в практике флотации сфалерита и пирита различных модификаторов. В качестве таких реагентов выступают сульфаты меди (II), цинка и железа (II) в щелочной известковой среде. Поэтому были выполнены исследования флотуемости сфалерита и пирита в щелочной известковой среде с добавлением в операцию флотации минерала одного из указанных сульфатов. Влияние каждого из сульфатов меди (II), цинка и железа (II) на флотуемость сфалерита и пирита было изучено при флотации минерала с бутиловым ксантогенатом при pH 8, 10 и 12. Целью работы являлось исследование влияния сульфгидрильных собирателей в присутствии сульфатов меди, цинка и железа на флотацию сфалерита и пирита классом крупности (–0,074 + 0,044 мм) с одного из российских месторождений.

**Ключевые слова:** флотация, сфалерит, сульфат железа, бутиловый ксантогенат калия, термодинамика, термодинамический потенциал Гиббса, электрохимический потенциал, минеральный электрод

**Для цитирования:** Чжо Зай Яа, Семикин А.А., Сандакова Д.Г., Дехтяренко А.А., Якимов В.А. Совершенствование реагентных режимов флотации руд сложного вещественного состава. *Горная промышленность*. 2024;(3):100–104. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2024-3-100-104>

## Enhancement of reagent regimes for complex ores flotation

Z.Y. Kyaw<sup>1,2</sup>, A.A. Semikin<sup>2</sup>, D.G. Sandakova<sup>2</sup>✉, A.A. Dekhtyarenko<sup>2</sup>, V.A. Yakimov<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Science and Technological Research Center Pyin Oo Lwin, Mandalay, Myanmar

<sup>2</sup> National University of Science and Technology MISIS, Moscow, Russian Federation

<sup>3</sup> State University "Dubna", Moscow region, Dmitrov, Russian Federation

✉ dsandakova@inbox.ru

**Abstract:** Pyrite copper-zinc (sulfide) and polymetallic ores in Russia are complex and rebellious mineral raw materials. The main processing technology for such ores is flotation. Enhancement of the flotation technology for such mineral raw materials is currently performed in several directions. The practice of copper-zinc ore processing proves that obtaining high-quality zinc and pyrite concentrates is impossible without the use of various modifiers in the sphalerite and pyrite flotation process. Such reagents are copper (II), zinc and iron (II) sulfates in the alkali-calcic medium. Therefore, research was carried out to study floatation properties of sphalerite and pyrite in the alkali-calcic medium with addition of one of the indicated sulfates to the mineral flotation process. The effect of each of the sulfates of copper (II), zinc and iron (II) on the flotation properties of sphalerite and pyrite was studied during flotation of the mineral with butyl xanthate and dithiophosphate at pH equal to 8, 10, and 12. The aim of this work was to study the effect of the sulfhydryl collectors in presence of copper sulfates, zinc and iron for flotation of sphalerite and pyrite with the grain-size class of 0.074 + 0.044 mm from one of the Russian deposits.

**Keywords:** flotation, sphalerite, ferrous sulfate, potassium butyl xanthate, sodium butyldithiophosphate, thermodynamics, Gibbs thermodynamic potential, electrochemical potential, mineral electrode

**For citation:** Kyaw Z.Y., Semikin A.A., Sandakova D.G., Dekhtyarenko A.A., Yakimov V.A. Enhancement of reagent regimes for complex ores flotation. *Russian Mining Industry*. 2024;(3):100–104. (In Russ.) <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2024-3-100-104>

## Введение

Процессы в горнодобывающей промышленности последовательны и взаимосвязаны [1–6]. Неверные решения влекут за собой снижение качества продукции и требуют дополнительных затрат для получения требуемого качества [7–9].

Применяемые реагенты в процессе обогащения при попадании в окружающую среду представляют серьезную опасность [10; 11]. Для достижения устойчивого развития горного региона необходимо использование техногенных отходов в замкнутом цикле основного и вспомогательно-го производств [12–15].

При обогащении необходимы строгий контроль размера зерен в рудном материале [16] и строгое управление процессом пенообразования [17]. Процесс пенообразования обычно требует использования множества химических реагентов, включая собиратели, пенообразователи, поверхностные модификаторы и регуляторы pH и др. [18]. Флотационные реагенты используются для обработки поверхности руд с целью повышения эффективности разделения компонентов [19]. Реагенты могут влиять на химический состав пульпы и превращать флотацию в сложную систему, включающую взаимодействие всех добавок (включая собиратели, депрессанты, активаторы, регуляторы pH и пенообразователи) [20]. Фундаментальные знания о химических реагентах, разработка новых типов, использование их для различных условий, а также исследования минералов и химии поверхности в присутствии различных реагентов являются важными проблемами в переработке минералов [21; 22].

Изучению действия указанных классов сульфгидрильных собирателей на флотацию сульфидных минералов, а также исследованиям, направленным на совершенствование технологии флотации медно-цинковых и полиметаллических руд, посвящены работы авторов, что свидетельствует об актуальности проблемы исследования.

## Оборудование и методики исследований

При выполнении экспериментальной части работы применялось несколько методик приготовления материалов и реагентов, использовались разнообразные аппараты и оборудование, а также способы анализа и обработки результатов.

В качестве собирателей при флотации сфалерита и пирита в работе были использованы бутиловый ксантогенат калия и бутиловый дитиофосфат натрия.

## MLA анализ минеральных проб

В нашей работе изучение вещественного и гранулометрического состава сфалерита проводилось с использованием комплекса MLA System Quanta. Комплекс позволяет анализировать пробы продуктов переработки минерального сырья с возможностью качественного и количественного определения минералов, металлов и примесей.

С помощью системы MLA можно получить следующие результаты: минералогический и химический состав образцов, распределение по размерам частиц и зерен; информацию о минеральных ассоциациях, раскрытых и в сростках; средние плотности частиц и факторы формы; теоретические кривые «содержание – извлечение».

На рис. 1 представлен структурный анализ исследуемой пробы сфалерита и пирита: а – образец представлен в основном сфалеритом ZnS и редкими включениями

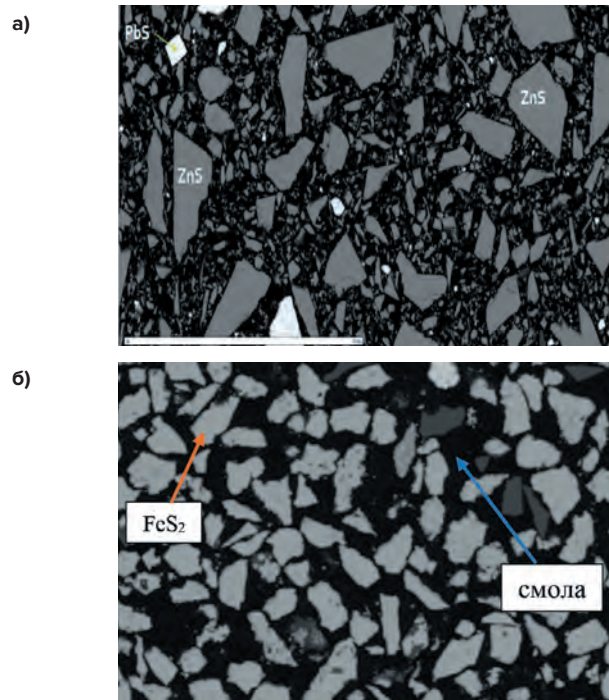


Рис. 1  
Анализ исследуемой пробы сфалерита и пирита

Fig. 1  
Analysis of the investigated sphalerite and pyrite sample

галенита PbS; и фото б – представлен брикет пирита FeS<sub>2</sub> в эпоксидной смоле.

## Подготовка сфалерита и пирита к флотации

Пробу сфалерита и пирита дробили в лабораторной щековой дробилке до крупности – 5 + 0 мм, после чего проводили сухое измельчение в фарфоровой шаровой мельнице фарфоровыми шарами. Для выделения различных классов крупности навеску измельченного пирита и сфалерита рассеивали на наборе сит до получения материала крупностью – 0,074 + 0,044 мм.

## Методика проведения флотационных опытов

Пенную флотацию вели в лабораторной флотационной машине ФЛ-189 с объемом камеры 100 см<sup>3</sup>.

Навеску сфалерита и пирита указанного класса крупности (5 г) загружали в камеру флотационной машины, в которой её перемешивали с водой заданного pH = 8, 10, 12 (известь) 10 мин. Затем добавляли один из сульфатов железа (II), меди (II) или цинка и перемешивали 5 мин, собиратель (бутиловый ксантогенат калия и дитиофосфат натрия) перемешивали 3 мин, и в конце добавляли пенообразователь (метилизобутилкарбинол (МИБК)), после чего перемешивали 1 мин. Флотацию проводили с порционным съемом пенного продукта. Общее время флотации составило 5 мин.

## Обсуждение результатов

На рис. 2, 3 и 4 изображены зависимости извлечения пирита и сфалерита от расходов указанных сульфатов металлов при pH минеральной суспензии 8, 10 и 12 при флотации минерала бутиловым ксантогенатом калия. Расход собирателей составлял 100 г/т.

Как следует из рис. 2, а, при введении медного купороса во флотационную пульпу при флотации пирита бутиловым ксантогенатом калия наблюдается активация

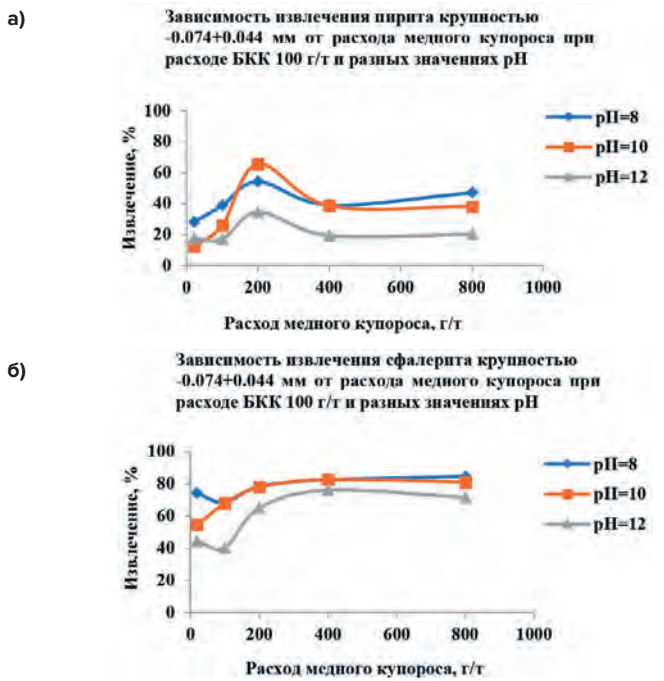


Рис. 2 Извлечение пирита (а) и сфалерита (б) при флотации бутиловым ксантогенатом калия в зависимости от расхода медного купороса при разных значениях pH

Fig. 2 Recovery of pyrite (a) and sphalerite (б) by flotation with butyl potassium xanthogenate depending on the copper sulfate consumption at different pH values

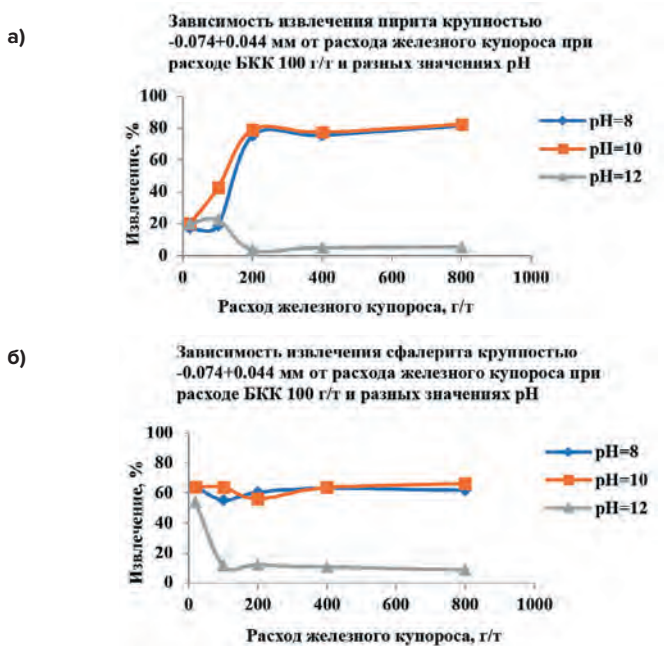


Рис. 3 Извлечение пирита (а) и сфалерита (б) при флотации бутиловым ксантогенатом калия в зависимости от расхода железного купороса при разных значениях pH

Fig. 3 Recovery of pyrite (a) and sphalerite (б) by flotation with butyl potassium xanthogenate depending on the iron sulfate consumption at different pH values

флотации пирита при всех исследуемых значениях pH. При этом максимальная активация флотации наблюдается при расходе медного купороса 200 г/т. Так, при pH = 10 прирост извлечения пирита в пенный продукт составил 65%. Как следует из рис. 2, б, с повышением расхода суль-

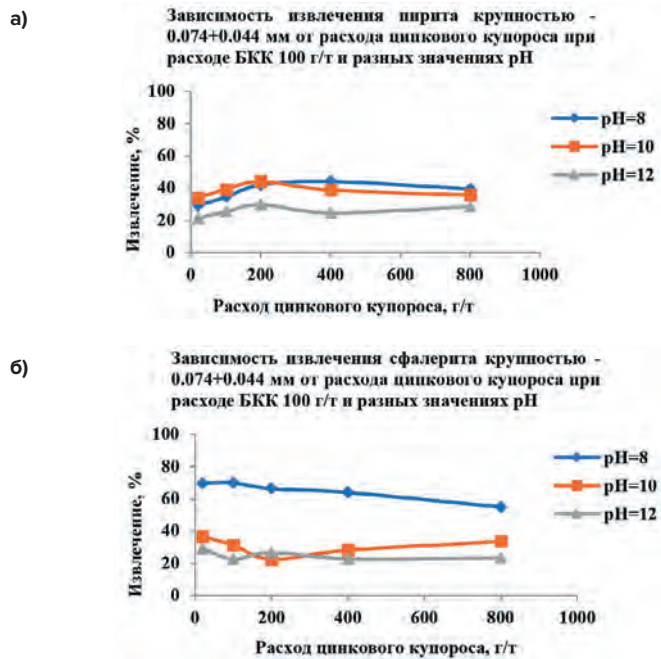


Рис. 4 Извлечение пирита (а) и сфалерита (б) при флотации бутиловым ксантогенатом калия в зависимости от расхода цинкового купороса при разных значениях pH

Fig. 4 Recovery of pyrite (a) and sphalerite (б) by flotation with butyl potassium xanthogenate depending on the zinc sulfate consumption at different pH values

фата при флотации сфалерита бутиловым ксантогенатом калия наблюдалась активация его флотации при всех исследуемых значениях pH.

Железный купорос оказывает сильное активирующее воздействие на флотацию пирита при использовании в качестве собирателя бутилового ксантогената калия при pH 8 и 10 (рис. 3, а и 3, б). При pH 12 железный купорос депрессирует флотацию пирита. При флотации сфалерита с ксантогенатом малые расходы реагента сильно активируют – сфалерит с 2 до 54%. Дальнейший рост расхода сульфата железа (II) с 20 г/т до 800 г/т устойчиво депрессирует флотацию сфалерита до уровня 12%.

consumption at different pH values  
Анализ результатов исследования (см. рис. 4) продемонстрировал, что введение цинкового купороса во флотационную пульпу активирует флотационные процессы при исследуемых значениях pH = 8 и 10. Увеличение расхода цинкового купороса до 400 г/т снижает выход ценного компонента. При pH = 10 прирост извлечения пирита в пенный продукт составил 38%. При pH = 12 (см. рис. 4, б) наблюдается не депрессирующее, а активирующее действие сульфата цинка, наиболее проявляющееся при использовании бутилового ксантогената калия в качестве собирателя.

**Выводы**

При проведении настоящего исследования установлено, что:

- медный, цинковый и железный купорос на флотацию руд сложного вещественного состава оказывает разнонаправленное действие;
- pH-фактор жидкой фазы влияет на флотируемость руд сложного вещественного состава;

- увеличение расхода купоросов (меди, цинка и железа) на флотацию руд сложного вещественного состава при использовании в качестве собирателя бутилового ксантогената снижает флотуемость руд сложного вещественного состава при pH-факторе жидкой фазы 12;
- наиболее контрастно действие исследованных купоросов меди, цинка и железа проявляется при флотации сфалерита при pH =10, когда наблюдается активация флотации сфалерита медным, а депрессия – цинковым и железным купоросами.

### Список литературы / References

1. Каунг П.А., Семикин А.А., Хайрутдинов А.М., Дехтяренко А.А. Вовлечение техногенных отходов в переработку – парадигма ресурсного обеспечения устойчивого развития. *Устойчивое развитие горных территорий*. 2023;15(2):385–397. <https://doi.org/10.21177/1998-4502-2023-15-2-385-397>  
Kaung P.A., Semikin A.A., Khayrutdinov A.M., Dekhtyarenko A.A. Recycling of industrial waste is a paradigm of resource provision for sustainable development. *Sustainable Development of Mountain Territories*. 2023;15(2):385–397. (In Russ.) <https://doi.org/10.21177/1998-4502-2023-15-2-385-397>
2. Ковальский Е.Р., Конгар-Сюрюн Ч.Б., Петров Д.Н. Проблемы и перспективы внедрения многостадийной выемки руды при отработке запасов калийных месторождений. *Устойчивое развитие горных территорий*. 2023;15(2):349–364. <https://doi.org/10.21177/1998-4502-2023-15-2-349-364>  
Kovalski E.R., Kongar-Syuryun C.B., Petrov D.N. Challenges and prospects for several-stage stoping in potash mining. *Sustainable Development of Mountain Territories*. 2023;15(2):349–364. (In Russ.) <https://doi.org/10.21177/1998-4502-2023-15-2-349-364>
3. Khoreshok A., Kantovich L., Kuznetsov V., Preis E., Kuziev D. The results of cutting disks testing for rock destruction. *E3S Web Of Conferences*. 2017;15:03004. <https://doi.org/10.1051/E3SCONF/20171503004>
4. Клементьева И.Н., Кузиев Д.А. Современное состояние и перспективы развития конструкций карьерных комбайнов для безвзрывной послонной выемки прочных пород. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2019;(2):123–128. <https://doi.org/10.25018/0236-1493-2019-02-0-123-128>  
Klement'eva, I.N., Kuziev, D.A. Actual status and prospects for future development of surface miners, designed for for blastless lit-by-lit excavation of solid rock. *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 2019;2019(2):123–128. (In Russ.) <https://doi.org/10.25018/0236-1493-2019-02-0-123-128>
5. Павленко М.В., Барнов Н.Г., Кузиев Д.А., Кенжабаев К.Н., Монзоев М.В. Вибрационное воздействие через скважины и технология дегазационной подготовки низкопроницаемого угольного пласта. *Уголь*. 2020;(1):3–40. <https://doi.org/10.18796/041-5790-2020-1-3-40>  
Pavlenko M.V., Barnov N.G., Kuziev D.A., Kenzhabaev K.N., Monzoev M.V. Vibration impact through wells and the technology of degassing of the preparation of low-permeability coal seam. *Ugol'*. 2020;(1):3–40. (In Russ.) <https://doi.org/10.18796/041-5790-2020-1-3-40>
6. Конгар-Сюрюн Ч.Б., Ковальский Е.Р. Твердеющие закладочные смеси на калийных рудниках: перспективные материалы, регулирующие напряжённо-деформированное состояние массива. *Геология и геофизика Юга России*. 2023;13(4):177–187. <https://doi.org/10.46698/VNC.2023.34.99.014>  
Kongar-Syuryun C.B., Kovalski E.R. Hardening backfill at potash mines: promising materials regulating stress-strain behavior of rock mass. *Geologiya i Geofizika Yuga Rossii*. 2023;13(4):177–187. (In Russ.) <https://doi.org/10.46698/VNC.2023.34.99.014>
7. Хайрутдинов М.М., Каунг П.А., Чжо З.Я., Тюляева Ю.С. Обеспечение экологической безопасности при внедрении ресурсозобновляемых технологий. *Безопасность труда в промышленности*. 2022;5:57–62. <https://doi.org/10.24000/0409-2961-2022-5-57-62>  
Khayrutdinov M.M., Kaung P.A., Chzho Z.Ya., Tyulyaeva Y.S. Ensuring Environmental Safety in the Implementation of the Resource-renewable Technologies. *Bezopasnost' Truda v Promyshlennosti*. 2022;2022(5):57–62. (In Russ.) <https://doi.org/10.24000/0409-2961-2022-5-57-62>
8. Лиготский Д.Н., Аргимбаева К.В. Технология посекционного формирования техногенного месторождения с последующей отработкой гидравлическим экскаватором «обратная лопата». *Устойчивое развитие горных территорий*. 2024;16(1):111–121. <https://doi.org/10.21177/1998-4502-2024-16-1-111-121>  
Ligotsky D.N., Argimbaeva K.V. The sectional formation technology of an anthropogenic deposit with its subsequent mining using a hydraulic pull shovel. *Sustainable Development of Mountain Territories*. 2024;16(1):111–121. (In Russ.) <https://doi.org/10.21177/1998-4502-2024-16-1-111-121>
9. Gugunskiy D., Chernykh I., Khairutdinov A. Legal Models for Activities on the Exploration and Utilization of Space Resources: Towards the “Space-2030” Agenda. *Advances in Intelligent Systems and Computing*. 2020;1100 AISC:657–664. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-39319-9\\_73](https://doi.org/10.1007/978-3-030-39319-9_73)
10. Куренков Д.С., Федоров Г.Б., Дудченко О.Л. Физические основы применения акустических колебаний для интенсификации растворения каменной соли. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2021;(5):45–53. [https://doi.org/10.25018/0236\\_1493\\_2021\\_5\\_0\\_45](https://doi.org/10.25018/0236_1493_2021_5_0_45)  
Kurenkov D.S., Fedorov G.B., Dudchenko O.L. Physics of application of acoustic vibrations in stimulation of dissolution of rock salt. *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 2021;(5):45–53. (In Russ.) [https://doi.org/10.25018/0236\\_1493\\_2021\\_5\\_0\\_45](https://doi.org/10.25018/0236_1493_2021_5_0_45)
11. Mikolas M., Mikusinec J., Abrahamovsky J., Dibdiakova, J., Tyulyaeva Y., Srek J. Activities of a Mine Surveyor and a Geologist at Design Bases in a Limestone Quarry. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2021;906(1):012073. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/906/1/012073>
12. Ишейский В.А., Рядинский Д.Э., Магомедов Г.С. Повышение качества дробления горных пород взрывом за счет учета структурных особенностей взрываеваемого массива. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2023;(9-1):79–95. [https://doi.org/10.25018/0236\\_1493\\_2023\\_91\\_0\\_79](https://doi.org/10.25018/0236_1493_2023_91_0_79)  
Isheisky V.A., Ryadinskii D.E., Magomedov G.S. Increasing the quality of fragmentation of blasting rock mass based on accounting for structural features of massif in the blast design. *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 2023;(9):79–95. (In Russ.) [https://doi.org/10.25018/0236\\_1493\\_2023\\_91\\_0\\_79](https://doi.org/10.25018/0236_1493_2023_91_0_79)
13. Bacova D., Khairutdinov A.M., Gago F. Cosmic Geodesy Contribution to Geodynamics Monitoring. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2021;906(1):012074. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/906/1/012074>

14. Голик В.И., Гашимова З.А., Лискова М.Ю., Конгар-Сюрюн Ч.Б. К проблеме минимизации объемов мобильной пыли при разработке карьеров. *Безопасность труда в промышленности*. 2021;(11):28-33. <https://doi.org/10.24000/0409-2961-2021-11-28-33>  
Golik V.I., Gashimova Z.A., Liskova M.Yu., Kongar-Syuryun C.B. To the problem of minimizing the volume of mobile dust in the development of pits. *Bezopasnost' Truda v Promyshlennosti*. 2021;2021(11):28-33. (In Russ) <https://doi.org/10.24000/0409-2961-2021-11-28-33>
15. Yamilev M.Z., Masagutov A.M., Nikolaev A.K., Pshenin V.V., Zaripova N.A., Plotnikova K.I. Modified equations for hydraulic calculation of thermally insulated oil pipelines for the case of a power-law fluid. *Science and Technologies: Oil and Oil Products Pipeline Transportation*. 2021;11(4):388-395. <https://doi.org/10.28999/2541-9595-2021-11-4-388-395>
16. Репин С.В., Афанасьев А.С., Добромиров В.Н., Барсуков В.О. Инновационный способ утилизации отходов монолитных строительных конструкций. *Устойчивое развитие горных территорий*. 2023;15(3):771-783. <https://doi.org/10.21177/1998-4502-2023-15-3-771-783>  
Repin S.V., Afanasyev A.S., Dobromirov V.N., Barsukov V.O. Innovative method for disposal of waste of monolithic building structures. *Sustainable Development of Mountain Territories*. 2023;15(3):771-783. (In Russ) <https://doi.org/10.21177/1998-4502-2023-15-3-771-783>
17. Korshak A.A., Vykhodtseva N.A., Gaysin M.T., Korshak A.A., Pshenin V.V. Influence of operating factors on the performance of oil vapor recovery adsorption plants. *Science and Technologies: Oil and Oil Products Pipeline Transportation*. 2019;9(5):550-557. <https://doi.org/10.28999/2541-9595-2019-9-5-550-557>
18. Golik V.I., Mitsik M.F., Aleksakhina Y.V., Alenina E.E., Ruban-Lazareva N.V., Kruzhkova G.V., Kondratyeva O.A., Trushina E.V., Skryabin O.O., Khayrutdinov M.M. Comprehensive Recovery of Metals in Tailings Utilization with Mechanochemical Activation. *Resources*. 2023;12(10):113. <https://doi.org/10.3390/resources12100113>
19. Korshak A.A., Nikolaeva A.V., Nagatkina A.S., Gaysin M.T., Korshak A.A., Pshenin V.V. Method for predicting the degree of hydrocarbon vapor recovery at absorption. *Science and Technologies: Oil and Oil Products Pipeline Transportation*. 2020;10(2):202-209. <https://doi.org/10.28999/2541-9595-2020-10-2-202-209>
20. Korshak A.A., Pshenin V.V. Determination of parameters of non-pump ejector gasoline vapor recovery unit. *Science and Technologies: Oil and Oil Products Pipeline Transportation*. 2023;13(1):25-31. <https://doi.org/10.28999/2541-9595-2023-13-1-25-31>
21. Дидманидзе О.Н., Афанасьев А.С., Хакимов Р.Т. Математическая модель фазового перехода сжиженного метана в криогенном баке транспортного средства. *Записки Горного института*. 2020;243(3):337-347. <https://doi.org/10.31897/PMI.2020.3.337>  
Didmanidze O.N., Afanasev A.S., Khakimov R.T. Mathematical model of the liquefied methane phase transition in the cryogenic tank of a vehicle. *Journal of Mining Institute*. 2020;243(3):337-347. <https://doi.org/10.31897/PMI.2020.3.337>
22. Задков Д.А., Габов В.В., Бабурь Н.В., Стебнев А.В., Теремецкая В.А. Энергоэффективная секция механизированной крепи очистного комплекса, адаптивная к условиям эксплуатации. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2022;(6):46-61. [https://doi.org/10.25018/0236\\_1493\\_2022\\_6\\_0\\_46](https://doi.org/10.25018/0236_1493_2022_6_0_46)  
Zadkov D.A., Gabov V.V., Babur N.V., Stebnev A.V., Teremetskaya V.A. Adaptable and energy-efficient powered roof support unit. *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 2022;2022(6):46-61. (In Russ) [https://doi.org/10.25018/0236\\_1493\\_2022\\_6\\_0\\_46](https://doi.org/10.25018/0236_1493_2022_6_0_46)

**Информация об авторах**

**Чжо Зай Я** – кандидат технических наук, Лаборатория обогащения полезных ископаемых, Научно-технический исследовательский центр Пин У Льюин, Мандалай, Мьянма; кафедра обогащения и переработки полезных ископаемых и техногенного сырья, Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС», г. Москва, Российская Федерация; e-mail: kokyawgyi49@gmail.com

**Семикин Андрей Андреевич** – аспирант кафедры обогащения и переработки полезных ископаемых и техногенного сырья, Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС», г. Москва, Российская Федерация; e-mail: 7emikin@mail.ru

**Сандакова Дарима Галсановна** – аспирант, Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС», г. Москва, Российская Федерация; e-mail: dsandakova@inbox.ru

**Дехтяренко Андрей Андреевич** – аспирант кафедры горного оборудования, транспорта и машиностроения, Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС», г. Москва, Российская Федерация; e-mail: 1566@7274069.ru

**Якимов Виктор Андреевич** – студент, Дмитровский институт непрерывного образования, Государственный университет «Дубна», Московская область, г. Дмитров, Российская Федерация; e-mail: viktor\_vtyakov@mail.ru

**Информация о статье**

Поступила в редакцию: 05.04.2024

Поступила после рецензирования: 13.05.2024

Принята к публикации: 19.05.2024

**Information about the authors**

**Kyaw Zay Ya** – Cand. Sci. (Eng.), Mineral Enrichment Laboratory, Science and Technological Research Center Pyin Oo Lwin, Mandalay, Myanmar; Department of Enrichment and Processing of Mineral Resources and Technogenic Raw Materials; College of Mining, National University of Science and Technology MISIS, Moscow, Russian Federation

**Andrey A. Semikin** – Postgraduate Student, Department of Enrichment and Processing of Mineral Resources and Technogenic Raw Materials, College of Mining, National University of Science and Technology MISIS, Moscow, Russian Federation; e-mail: 7emikin@mail.ru

**Darima G. Sandakova** – Postgraduate Student, National University of Science and Technology MISIS, Moscow, Russian Federation; e-mail: dsandakova@inbox.ru

**Andrei A. Dekhtyarenko** – Postgraduate Student, Department of Mining Equipment, Transport and Mechanical Engineering, College of Mining, National University of Science and Technology MISIS, Moscow, Russian Federation; e-mail: 1566@7274069.ru

**Victor A. Yakimov** – Student, Dmitrov Institute of Continuing Education, State University “Dubna”, Moscow region, Dmitrov, Russian Federation; e-mail: viktor\_vtyakov@mail.ru

**Article info**

Received: 05.04.2024

Revised: 13.05.2024

Accepted: 19.05.2024

# Исследование пространственно-временных закономерностей развития сейсмичности в подработанной толще массива на Расвумчоррском руднике

О.Г. Журавлева ✉, С.А. Жукова

Горный институт Кольского научного центра Российской академии наук, г. Апатиты, Российская Федерация  
✉ o.zhuravleva@ksc.ru

**Резюме:** Проведено исследование пространственно-временных закономерностей развития сейсмичности в подработанной толще массива на Расвумчоррском руднике. Выявлен основной кластер, связанный с формированием обрушения пород в консоли. Установлено, что обрушение развивалось постепенно из глубины массива к поверхности. Приведены результаты оценки количественных параметров сейсмического процесса в подработанной толще пород: энергетического индекса и кумулятивного кажущегося объема, которые отражают изменения напряжений в массиве горных пород. Определены периоды устойчивого состояния массива, при которых обрушение пород консоли не происходило, и периоды активного трещинообразования и обрушения пород консоли. Изменение этих параметров для рассматриваемого участка месторождения отражает этапы нагружения и разупрочнения горных пород массива. Результаты исследования хорошо коррелируют с данными о фактических обрушениях подработанной толщи пород. Настоящая работа является продолжением исследований авторов по проблеме выявления пространственно-временных закономерностей при формировании обрушений подработанной толщи пород в тектонически напряженном Хибинском массиве.

**Ключевые слова:** сейсмический мониторинг, наведенная сейсмичность, подземные горные работы, процессы обрушения подработанных пород, энергетический индекс, кумулятивный кажущийся объем, апатит-нефелиновые месторождения, Хибинский массив

**Благодарности:** Работа выполнена за счет гранта Российского научного фонда (проект №22-17-00248). Авторы выражают искреннюю благодарность главному инженеру Кировского филиала АО «Апатит» В.С. Онуприенко и начальнику службы прогноза и предотвращения горных ударов Кировского филиала АО «Апатит» А.А. Стрешневу за многолетнее плодотворное сотрудничество, предоставление данных сейсмического мониторинга и обсуждение результатов исследования.

**Для цитирования:** Журавлева О.Г., Жукова С.А. Исследование пространственно-временных закономерностей развития сейсмичности в подработанной толще массива на Расвумчоррском руднике. *Горная промышленность*. 2024;(3):105–111. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2024-3-105-111>

## Studies of the spatial and temporal patterns of seismic activity development in the undermined rock mass at the Rasvumchorr Mine

O.G. Zhuravleva ✉, S.A. Zhukova

Mining Institute Kola Science Centre of the Russian Academy of Sciences, Apatity, Russian Federation  
✉ o.zhuravleva@ksc.ru

**Abstract:** Studies of the spatial and temporal patterns of seismic activity development in the undermined rock mass have been performed at the Rasvumchorr Mine. The main cluster associated with generation of rock caving in the overhang part has been identified. It is established that caving was developing gradually from the depth of the rock mass towards the surface. The results are presented of estimating the quantitative parameters of the seismic process in the undermined rock stratum, i.e. the energy index and the cumulative apparent volume, which reflect the stress changes in the rock mass. Ranges of the stable state of the rock mass, when the overhang rocks do not cave, as well as the ranges of active fracturing and caving of the overhang rocks have been identified. Changes in these parameters for the studied area of the deposit reflect the loading and strength degradation stages in the rock mass. The results of this study correlate well with the data on actual caving of the undermined rock strata. This work is a continuation of the authors' research into the problem of identifying spatial and temporal patterns in the development of undermined rock strata cavings in the tectonically stressed Khibiny massif.

**Keywords:** seismic monitoring, mining-induced seismicity, underground mining operations, undermined rock caving processes, energy index, cumulative apparent volume, apatite-nepheline deposits, the Khibiny massif

**Acknowledgements:** This work was supported by a grant from the Russian Science Foundation (project No.22-17-00248). The authors express their sincere gratitude to V.S. Onuprienko, Chief Engineer of the Kirovsk Branch of Apatit JSC, and A.A. Streshnev, Head of the Service for Rock Burst Prediction and Prevention, Kirovsk Branch of Apatit JSC, for many years of fruitful co-operation, provision of seismic monitoring data and discussion of the study results.

**For citation:** Zhuravleva O.G., Zhukova S.A. Studies of the spatial and temporal patterns of seismic activity development in the undermined rock mass at the Rasvumchorr Mine. *Russian Mining Industry*. 2024;(3):105–111. (In Russ.) <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2024-3-105-111>

## Введение

Одним из важных направлений геомеханического мониторинга при ведении горных работ является исследование параметров обрушения покрывающих пород. Разработку Хибинских апатитовых месторождений подземным способом ведут с применением системы подэтажного обрушения с торцовым выпуском руды и с принудительным обрушением вышележащей толщи пород [1]. Возможность успешного применения данной системы зависит от ряда горно-геологических факторов. В связи с этим актуальной задачей является оценка, прогноз и управление процессами частичного и полного обрушения покрывающих пород [2–4].

На рудниках Хибинского массива крупномасштабные работы ведутся более 90 лет. Интенсификация и неизбежное углубление горных работ сопровождаются трансформацией напряженно-деформированного состояния массива горных пород как в окрестности продвигающихся фронтов горных работ, так и в подработанной толще. Процессы трещинообразования и формирования трещин отрыва в подработанной толще массива горных пород также регистрируются системами сейсмического мониторинга. Как известно, современные программные комплексы сбора, обработки и анализа сейсмических данных позволяют достаточно полно исследовать процессы, происходящие в массиве горных пород, в том числе выявить тенденции и закономерности развития обрушения на разных масштабных уровнях [1; 5–7].

Настоящая статья является продолжением исследований авторов по проблеме выявления пространственно-временных закономерностей сейсмичности при формировании обрушений подработанной толщи пород в тектонически напряженном Хибинском массиве.

## Объект исследований.

### Особенности сейсмического процесса

Расвумчоррский рудник основан в 1954 г. и ведет разработку месторождений Апатитовый Цирк и подкарьерных запасов Плато Расвумчорр (подземная добыча в настоящее время). Месторождение Апатитовый Цирк является составной частью юго-западного рудного поля Хибинского щелочного массива.

Рудное тело пластообразной формы и малой мощности (от 40 до 150 м), наблюдается уменьшение мощности с глубиной. Падение залежи – северо-восточное, угол падения колеблется от 15° до 50°. Общая длина рудного тела месторождения Апатитовый Цирк составляет 2350 м. На месторождении выявлена система радиальных и концентрических разломов III ранга, разделяющих массив на блоки. Часто разломы характеризуются наличием в них зон изменения пород (шпреуштейнизации) различной интенсивности. Мощность таких зон составляет от нескольких сантиметров до первых десятков метров.

Максимальные сжимающие напряжения во вмещающих породах составляют 25–70 МПа и 15–50 МПа в рудах,

являются горизонтальными, ориентированы примерно по простиранию рудного тела. Высокая тектоническая напряженность массива пород – один из основных геомеханических факторов, который определяет устойчивость выработок и конструктивных элементов систем разработки [8].

Мониторинг сейсмичности на подземном руднике осуществляется автоматизированной системой контроля состояния массива (АСКСМ), способной регистрировать сейсмособытия в энергетическом диапазоне  $10^3$ – $10^9$  Дж и точностью несколько метров. На Расвумчоррском руднике АСКСМ контролируется район ведения горных работ и зона стыковки с карьером Центральный.

С начала эксплуатации месторождения добыто более 250 млн т руды. С увеличением площади отработки месторождения, а также отвалов и увеличением объемов добычи руды в районе ведения горных работ зарегистрированы не только горные, но и горно-тектонические удары, которые по интенсивности проявления, по механизму и разрушительным последствиям можно сопоставить с техногенными землетрясениями. Так, по результатам проведения сейсмического мониторинга с 2014 по 2022 г. задокументировано 4 геодинамических явления, ощущаемых на земной поверхности. Самое мощное событие произошло в январе 2018 г., магнитуда которого составила 3,3 (по данным КоФ ФИЦ ЕГС РАН) [9].

В районе сейсмомониторинга за период с 2014–2022 гг. произошло более 23 тыс. событий с энергией от  $10^3$  Дж, из них 129 сильных сейсмических событий – с энергией порядка  $10^6$ – $10^8$  Дж. Большая часть событий приурочена к району горных работ, в том числе при переходе горных работ на глубокие горизонты, что связано с перераспределением напряжений в массиве.

На Расвумчоррском руднике зона уверенной регистрации сейсмической сети по высотным отметкам охватывает участок массива от +100 до +900 м. Для проведения первичного анализа сейсмических данных район сейсмомониторинга был условно разделен по высотной отметке +600 м на район ведения горных работ и консольную часть массива горных пород. Именно горизонты +600 м и ниже являются опасными по горным ударам, выше этой отметки находится зона раздробленных горных пород поверхностной части массива (консоли налегающих пород), где могут действовать как растягивающие напряжения, так и сжимающие, за счет которых отдельные участки консоли долгое время могут сохранять свою устойчивость.

На рис. 1 представлены фотографии поверхностной части горного массива, которые иллюстрируют развитие обрушения в разные периоды времени: *а* – в сентябре 2001 г., *б* – в августе 2018 г. и *в* – в октябре 2023 г. Отчетливо видно изменение конфигурации бровки обрушения вследствие раскрытия новых трещин на поверхности массива горных пород (красным цветом выделены зоны отрыва на месторождении Апатитовый Цирк).

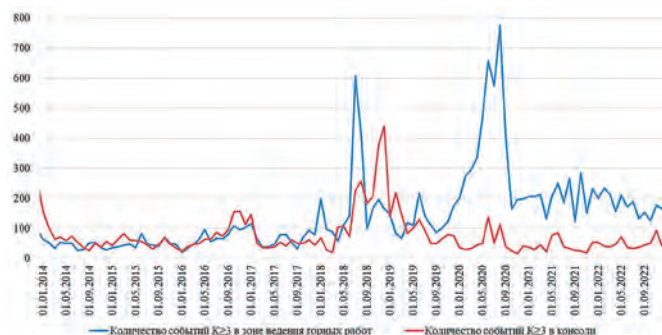


**Рис. 1**  
Изменение конфигурации  
поверхностной части массива  
горных пород месторождения  
Апатитовый Цирк: а – сентябрь  
2001 г., б – август 2018 г.,  
в – октябрь 2023 г.

**Fig. 1**  
Changes in the configuration  
of the surface part of the rock  
massif at the Apatite Circus  
deposit: а) September 2001,  
б) August 2018,  
в) October 2023

Анализ распределения сейсмических событий за период 2014–2022 гг. показал, что на месторождении Апатитовый Цирк в зоне ведения горных работ было зарегистрировано больше сейсмических событий, чем в консольной части массива: в зоне ведения горных работ около 20,2 тыс., суммарная выделившаяся сейсмическая энергия событий равна  $1,8 \cdot 10^9$  Дж; в консоли – около 1,7 тыс., суммарная выделившаяся сейсмическая энергия событий –  $3,5 \cdot 10^7$  Дж. Такая существенная разница суммарного энерговыделения в консольной части массива по сравнению с зоной ведения горных работ может объясняться, во-первых, тем, что зона ведения горных работ содержит большое количество искусственно созданных полостей (выработки, выработанное пространство), а консольная часть представляет собой нетронутый массив; во-вторых, в зоне ведения горных работ от периодического воздействия взрывов, когда энергия взрыва добавляется к существующей накопленной энергии массива происходит перераспределение напряжений, их концентрация на локальных участках и реализация сейсмических событий, а консольная часть под действием собственного веса и давления налегающих пород начинает растрескиваться и затем самообрушаться и сейсмические события вызваны образованием трещин скола.

Сейсмический режим в районе мониторинга имеет неравномерный характер. На рис. 2 представлена динамика сейсмичности на месторождении Апатитовый Цирк. В районе ведения горных работ наибольший рост числа сейсмических событий наблюдается в 2018 и 2020 гг. (как было показано в работе [10], такой рост связан с развитием работ на добычных горизонтах, в том числе



**Рис. 2**  
Динамика сейсмичности  
в районе контроля

**Fig. 2**  
Dynamics of seismic events  
in the monitored area

началом очистных работ на отм. +400 м). В подработанной толще некоторый рост сейсмической активности наблюдался в сентябре-декабре 2016 г., а в 2018–2019 гг. была более существенная активизация процесса обрушения.

Как было установлено ранее [10], сейсмическая активность массива горных пород возрастает после взрывов в пределах шахтного поля и в районе, прилегающем к отбитой секции, и в зонах тектонических нарушений; наибольшее количество мощных сейсмических событий приурочено к тектоническим нарушениям или зонам их влияния. Также именно на Расвумчоррском руднике в связи с высокой изрезанностью массива наблюдается наибольшая активизация сейсмической активности в периоды повышенной сезонной обводненности.

### Методы

Для исследования сейсмической активности применяются статистические методы, проводится анализ пространственно-временных вариаций сейсмичности и сопоставление с фактическими данными о ходе горных работ и состоянии подработанной толщи.

При проведении исследований предполагается, что сейсмические события – это локальные разрушения в подработанной толще массива горных пород, которые являются результатом действия комплекса природных и природно-техногенных факторов: естественное поле напряжений и перераспределение напряжений при ведении горных работ; геологическое строение массива, его структурная неоднородность; специфика ведения горных работ и их постепенное продвижение на глубокие горизонты; сезонный фактор – повышение водопритоков.

На рудниках Хибинского массива наблюдается пространственная кластеризация сейсмических событий, и на примере Расвумчоррского рудника ранее было показано, что существуют различные по динамике сейсмичности участки [10]. Для исследования сейсмичности применяются различные методы кластерного анализа [11–16]. Применение таких методов позволяет определить связанные и несвязанные события (или зависимые и независимые события). В настоящей работе для кластеризации техногенной сейсмичности применяется метод, предложенный В.И. Германом [16], и модифицированный нами с целью учета фактора времени, что позволяет исследовать особенности развития сейсмического процесса в условиях постоянного динамического воздействия на массив горных пород [17].

С помощью этого метода для каждой пары сейсмических событий  $i$  и  $j$  определяется параметр сближения:

$$k_{ij} = \frac{d_{ij}}{(L_i + L_j)/2},$$

где  $d_{ij}$  – расстояние между гипоцентрами сейсмических событий;  $L$  – длина разрыва (дефекта) в очаге.

Второй параметр – временной интервал  $t_{ij}$  между событиями.

Если значение параметра сближения  $k_{ij}$  и временного интервала  $t_{ij}$  меньше заданных пороговых значений, то сейсмические события считаются связанными.

Для выявления периодов неустойчивого состояния массива применяются критерии: энергетический индекс  $EI$  и кумулятивный кажущийся объем  $CAV$  [18–20]. В практике техногенной сейсмичности эти параметры нашли широкое применение на рудниках ЮАР [21; 22], а позднее и на других рудниках мира [23–26].

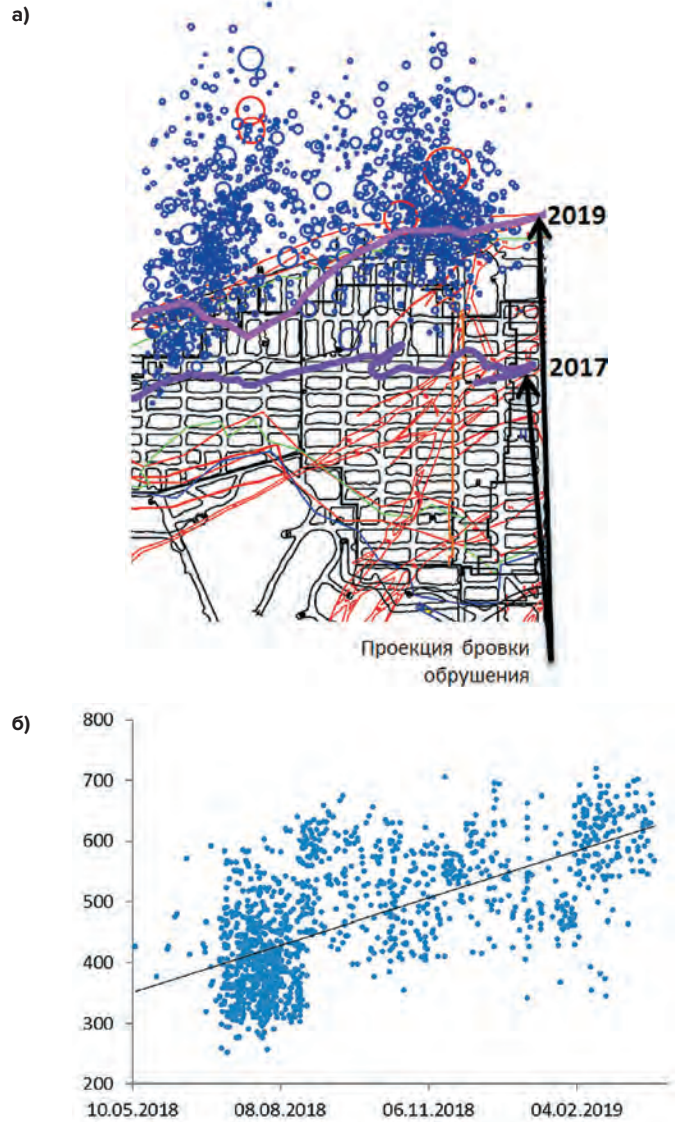
Для определения значений этих параметров применяются параметры сейсмической энергии и сейсмического момента, а также корреляционные связи между ними. В практике сейсмологического мониторинга на рудниках показано, что отклонения корреляционных зависимостей могут достигать двух порядков, и многие исследования посвящены именно таким отклонениям, как одним из источников информации о состоянии массива горных пород. Параметр энергетического индекса  $EI$  характеризует отклонение сейсмической энергии события с сейсмическим моментом  $M_0$  от средней энергии событий, имеющих такой же сейсмический момент. А сумма кажущихся объемов  $CAV$  дает интегральную оценку происходящей в определенной области деформации. По динамике этих параметров могут быть определены фазы нагружения (рост  $EI$  при обычной скорости роста  $CAV$ ) и разупрочнения (падение  $EI$  и одновременное ускоряющееся возрастание  $CAV$ ) [22]. Подобные модели поведения параметров ранее нами были выявлены при исследовании сейсмичности в подработанной толще Кукисвумчоррского и Юкспорского месторождений [27].

**Сейсмическая активность в подработанной толще**

Для того чтобы разделить сейсмособытия в зоне обрушения от сейсмособытий, непосредственно связанных с горными работами, применялся метод пространственно-временной кластеризации на основе модифицированного концентрационного критерия [16; 17]. Выявлен основной кластер, связанный с формированием обрушения в консоли (рис. 3, а), причем обрушение развивалось постепенно из глубины массива к поверхности, т.е. сначала происходило трещинообразование в основании консольного зависания (рис. 3, б). Из данных, представленных на рис. 3, а, можно видеть миграцию кромки обрушения. Наибольший шаг обрушения совпадает с областями наибольшей концентрации сейсмических событий.

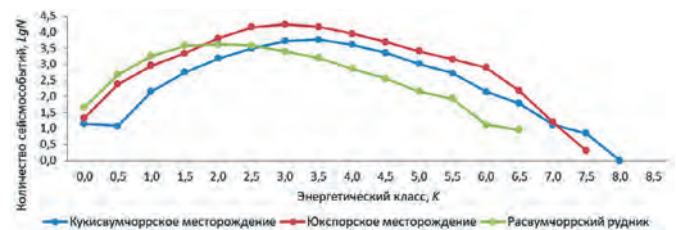
В целом, формирование обрушения пород консольной части массива на Расвумчоррском руднике происходило менее интенсивно по сравнению с Кировским рудником (Кукисвумчоррское и Юкспорское месторождения). На Расвумчоррском руднике в подработанной толще массива не зарегистрировано ни одного сейсмического события энергетического класса  $K = 7$  и выше, тогда как, например, на Кукисвумчоррском месторождении максимальный энергетический класс зарегистрированных событий в консоли  $K = 8$  (рис. 4). Такое различие может быть обусловлено несколькими причинами:

- 1) Направлением действующих тектонических напряжений в массиве горных пород:
  - на Кукисвумчоррском месторождении максимальные напряжения ориентированы в направлении, близ-



**Рис. 3** Основной кластер сейсмических событий, связанный с формированием обрушения пород подработанной толще: а – проекция сейсмических событий на план горных работ и проекция кромки обрушения (на 2017 и 2019 гг.); б – динамика проявления сейсмических событий (по высотной отметке)

**Fig. 3** The main seismic event cluster associated with generation of caving in the overhang part of the rock mass: а) projection of seismic events on the mining plan and projection of the caving edge (for 2017 and 2019); б) dynamics of seismic events manifestation (by altitude)



**Рис. 4** Зависимость частоты возникновения сейсмических событий от энергии

**Fig. 4** Dependence of seismic event frequency on the energy

ком вкрест простирания рудного тела или с небольшим отклонением до 20° к западу;

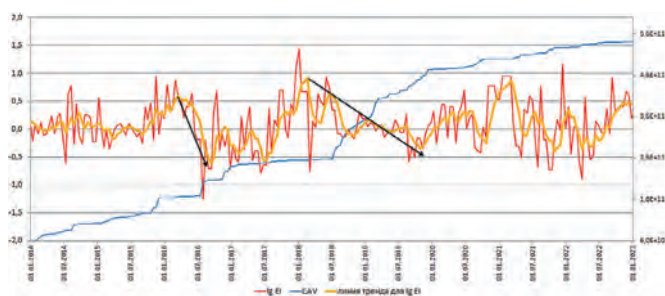
– на Юкспорском месторождении – под углом 30–45° к простиранию рудного тела;

– на месторождении Апатитовый Цирк – субпараллельно простиранию рудного тела; кроме того, уже горизонт +600 м относится к глубинным и поэтому параметры поля напряжений здесь, по сравнению с другими рудниками, наиболее стабильные по площади и глубине;

2) Технология ведения горных работ без образования целика: на Юкспорском месторождении интенсивное разрушение пород консоли происходило в связи с ведением горных работ встречными фронтами с формированием целика и зависанием необрушенной консольной части массива;

3) Большая изрезанность массива горных пород разрывными нарушениями. Рудная залежь пересекается поперечными (на месторождении Апатитовый Цирк) и продольными (на месторождении Плато Расвумчорр) крутопадающими зонами шпреуштейнизации мощностью от 3–5 до 10–20 м.

Для исследования процесса формирования обрушения на месторождении Апатитовый Цирк также применялись количественные параметры сейсмического процесса – энергетический индекс ( $EI$ ) и кажущийся объем ( $CAV$ ). Построены графики изменения параметров  $EI$  и  $CAV$  за период 2014–2022 гг. (рис. 5).



**Рис. 5**  
Изменение конфигурации  
поверхностной части массива  
горных пород месторождения  
Апатитовый Цирк

**Fig. 5**  
Changes in the configuration  
of the surface part of the rock  
massif at the Apatite  
deposit

Период исследования разделен по изменениям значений  $EI$  ( $Ig EI$ ) и  $CAV$  на определенные этапы, характеризующие состояние массива: устойчивое и неустойчивое (т.е. формирования обрушений подработанной толщи пород):

1) январь 2014 г. – сентябрь 2015 г. – колебания  $EI$  при обычной скорости роста  $CAV$  без значительных ускорений или замедлений;

2) октябрь 2015 г. – март 2016 г. – тенденция постепенного роста  $EI$ , кратковременное ускорение роста  $CAV$  в течение примерно 1,5 мес, сменившееся обычной скоростью роста (фаза нагружения);

3) апрель – июль 2016 г. – падение  $EI$ , обычная скорость роста  $CAV$ ;

4) август – декабрь 2016 г. – падение  $EI$  и ускоряющееся возрастание  $CAV$  – фаза разупрочнения, неустойчивое состояние массива, трещинообразование в консоли;

5) январь–июнь 2017 г. – колебания  $EI$ , устойчивый рост;

6) июль 2017 – февраль 2018 г. – рост  $EI$ , устойчивый рост  $CAV$  (фаза нагружения);

7) март–июнь 2018 г. – спад  $EI$ , устойчивый рост  $CAV$ ;

8) июль 2018 – начало декабря 2019 г. – значительное ускорение  $CAV$  и спада  $EI$  – фаза разупрочнения, неустойчивое состояние массива, интенсивное трещинообразование в подработанной толще горных пород.

В дальнейшем зафиксирован спад сейсмической активности и до конца 2022 г. существенных изменений не наблюдалось: по графику можно видеть колебания  $EI$  и устойчивый рост  $CAV$ , затухающий в конце 2022 г.

Выявленные периоды неустойчивого состояния массива соответствуют периодам повышения сейсмической активности, представленным на рис. 2. Однако по сравнению с анализом временных рядов (количество сейсмических событий, выделяющаяся сейсмическая энергия и т.п.) применение критериев энергетического индекса и кумулятивного кажущегося объема позволяет получить больше информации. Например, выявление фазы разупрочнения с точки зрения горнодобывающего предприятия может быть крайне полезной информацией о возможном начале формирования нового обрушения подработанной толщи, что является важным фактором для снижения геомеханических и геодинамических рисков при отработке запасов, поскольку обрушение подработанной толщи приводит к снижению концентрации сжимающих напряжений в зонах опорного давления.

## Заключение

По данным о сейсмичности на примере месторождения Апатитовый Цирк тектонически напряженного Хибинского массива показано, что наблюдается меньшая интенсивность сейсмических процессов в консольной части массива на Расвумчоррском руднике, чем на месторождениях, отрабатываемых Кировским рудником. В связи с высокой изрезанностью массива разрушение подработанной толщи на Расвумчоррском руднике происходит в основном по имеющимся естественным трещинам, а на месторождениях Кировского рудника – в большей мере формируются трещины отрыва в ненарушенном скальном массиве, что приводит к существенному росту как числа событий, так и их энергии. Это может быть также связано с различным влиянием таких природно-техногенных факторов, как направление действующих напряжений в массиве горных пород относительно простирания рудного тела, технология ведения горных работ от центра рудной залежи к флангам, без образования целиков. Полученные результаты позволяют сделать предположение, что и в дальнейшем формирование обрушения подработанной толщи массива на месторождении Апатитовый Цирк будет происходить менее интенсивно, чем на соседних месторождениях.

Результаты оценки периодов неустойчивого состояния массива хорошо коррелируют с фактическими данными об обрушении пород подработанной толщи массива. Предполагается, что модель поведения параметров энергетический индекс и кумулятивный кажущийся объем, позволяющая выявить периоды неустойчивого состояния подработанной толщи, может быть использована горнодобывающим предприятием для оценки геомеханических и геодинамических рисков, связанных с повышенной концентрацией напряжений в зоне опорного давления.

## Список литературы / References

1. Абрашитов А.Ю., Шабаров А.Н., Корчак П.А., Куранов А.Д. Опыт взаимодействия с горным предприятием при решении проблем геодинамической безопасности. *Горный журнал*. 2023;(5):40–48. <https://doi.org/10.17580/gzh.2023.05.06>  
Abrashitov A.Yu., Shabarov A.N., Korchak P.A., Kuranov A.D. Dealing with geodynamic safety challenges in cooperation with a mining company: A case-study. *Gornyi Zhurnal*. 2023;(5):40–48. (In Russ.) <https://doi.org/10.17580/gzh.2023.05.06>
2. Семенова И.Э., Розанов И.Ю., Кулькова М.С. Комплексное исследование параметров обрушения подработанной толщи пород Ждановского месторождения. *Горный журнал*. 2023;(12):49–54. <https://doi.org/10.17580/gzh.2023.12.08>  
Semenova I.E., Rozanov I.Yu., Kulkova M.S. Integrated research of undermined rock mass failure parameters in Zhdanovskoe ore field. *Gornyi Zhurnal*. 2023;(12):49–54. (In Russ.) <https://doi.org/10.17580/gzh.2023.12.08>
3. Семенова И.Э., Аветисян И.М., Журавлева О.Г., Белгородцев О.В. Актуальные вопросы процессов обрушения подработанных пород на Хибинских апатитовых рудниках. *Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых*. 2022;(6):133–140. <https://doi.org/10.15372/FTPRPI20220614>  
Semenova I.E., Avetisyan I.M., Zhuravleva O.G., Belogorodtsev O.V. Undermined rock failure in apatite mines in Khibiny: topical problems. *Journal of Mining Science*. 2022;58(6):1010–1015. <https://doi.org/10.1134/S1062739122060151>
4. Волченко Г.Н., Сeryakov В.М., Фрянов В.Н. Геомеханическое обоснование ресурсосберегающих вариантов разработки рудных месторождений системой этажного принудительного обрушения. *Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых*. 2012;(4):144–154.  
Volchenko G.N., Fryanov V.N., Seryakov V.M. Geomechanical substantiation of the resource-saving alternatives of the induced block caving method. *Journal of Mining Science*. 2012;48(4):709–716. <https://doi.org/10.1134/S1062739148040168>
5. Рассказов И.Ю., Федотова Ю.В., Аникин П.А., Сидляр А.В., Корчак П.А. Совершенствование автоматизированной системы геомеханического мониторинга и раннего предупреждения опасных геодинамических явлений. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2022;(12-1):106–121. [https://doi.org/10.25018/0236\\_1493\\_2022\\_121\\_0\\_106](https://doi.org/10.25018/0236_1493_2022_121_0_106)  
Rasskazov I.Yu., Fedotova Yu.V., Anikin P.A., Sidlyar A.V., Korchak P.A. Improvement of the automated system of geomechanical monitoring and early prevention of dangerous geodynamic phenomena. *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 2022;(12-1):106–121. (In Russ.) [https://doi.org/10.25018/0236\\_1493\\_2022\\_121\\_0\\_106](https://doi.org/10.25018/0236_1493_2022_121_0_106)
6. Рукавишников Г.Д., Мулёв С.Н., Гаврилов А.Г. Опыт применения и перспективы развития системы сейсмического мониторинга ГИТС на Таштагольском железорудном месторождении. *Горная промышленность*. 2023;(S1):90–95. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2023-S1-90-95>  
Rukavishnikov G.D., Mulev S.N., Gavrilov G. Experience of application and prospects for the development of the GITS seismic monitoring system at the Tashtagolsky iron ore deposit. *Russian Mining Industry*. 2023;(1 Suppl.):90–95. (In Russ.) <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2023-S1-90-95>
7. Верхоланцев А.В., Дягилев Р.А., Шулаков Д.Ю., Шкурко А.В. Мониторинг сейсмического воздействия взрывов на карьере «Шахтау». *Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых*. 2019;(2):59–69. <https://doi.org/10.15372/FTPRPI20190207>  
Verkholtantsev A.V., Dyagilev R.A., Shulakov D.Y., Shkurko A.V. Monitoring of earthquake loads from blasting in the Shakhtau open pit mine. *Journal of Mining Science*. 2019;55(2):229–238. <https://doi.org/10.1134/S1062739119025503>
8. Семенова И.Э., Аветисян И.М. Прогноз удароопасности перспективных участков отработки Хибинской апатитовой дуги. *Горная промышленность*. 2023;(S1):43–47. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2023-S1-43-47>  
Semenova I.E., Avetisyan I.M. Prediction of rockburst hazards in prospective mining areas of the Khibiny Apatite Arc. *Russian Mining Industry*. 2023;(1 Suppl.):43–47. (In Russ.) <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2023-S1-43-47>
9. Козырев А.А., Семенова И.Э., Журавлева О.Г., Пантелеев А.В. Гипотеза происхождения сильного сейсмического события на Расвумчоррском руднике 09.01.2018. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2018;(12):74–83. <https://doi.org/10.25018/0236-1493-2018-12-0-74-83>  
Kozyrev A.A., Semenova I.E., Zhuravleva O.G., Panteleev A.V. Hypothesis of strong seismic event origin in Rasvumchorr mine on January 9, 2018. *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 2018;(12):74–83. (In Russ.) <https://doi.org/10.25018/0236-1493-2018-12-0-74-83>
10. Жукова С.А., Журавлева О.Г., Онуприенко В.С., Стрешнев А.А. Изменение потока сейсмической энергии при переходе на глубокие горизонты (месторождение Апатитовый Цирк, Хибинский массив). *Горная промышленность*. 2023;(4):110–116. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2023-4-110-116>  
Zhukova S.A., Zhuravleva O.G., Onuprienko V.S., Streshnev A.A. Changes in the seismic energy flow when mining deep levels (the Apatite Circus deposit, Khibiny Massif). *Russian Mining Industry*. 2023;(4):110–116. (In Russ.) <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2023-4-110-116>
11. Баранов С.В., Шебалин П.Н. О прогнозировании афтершоковой активности. 3. Динамический закон Бота. *Физика Земли*. 2018;(6):129–136. <https://doi.org/10.1134/S0002333718060029>  
Baranov S.V., Shebalin P.N. Forecasting aftershock activity: 3. Bâth's dynamic law. *Izvestiya, Physics of the Solid Earth*. 2018;54(6):926–932. <https://doi.org/10.1134/S1069351318060022>
12. Benali A., Peresan A., Varini E., Talbi A. Modelling background seismicity components identified by nearest neighbour and stochastic declustering approaches: the case of Northeastern Italy. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*. 2020;34(6):775–791. <https://doi.org/10.1007/s00477-020-01798-w>
13. Zaliapin I., Gabriellov A., Keilis-Borok V., Wong H. Clustering analysis of seismicity and aftershock identification. *Physical Review Letters*. 2008;101(1):018501. <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.101.018501>
14. Zaliapin I., Ben-Zion Y. Earthquake clusters in southern California I: Identification and stability. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*. 2013;118(6):2847–2864. <https://doi.org/10.1002/jgrb.50179>
15. Zaliapin I., Ben-Zion Y. Earthquake clusters in southern California II: Classification and relation to physical properties of the crust. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*. 2013;118(6):2865–2877. <https://doi.org/10.1002/jgrb.50178>

16. Герман В.И. Прогноз обрушений на рудниках по данным сейсмического мониторинга. *Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых*. 2014;(2):99–109. Режим доступа: <https://www.sibran.ru/upload/iblock/c95/c952a987606b0b8b645e720a8648cd10.pdf> (дата обращения: 01.04.2024).  
German V.I. Rock failure prediction in mines by seismic monitoring data. *Journal of Mining Science*. 2014;50(2):288–297. <https://doi.org/10.1134/S1062739114020124>
17. Козырев А.А., Журавлева О.Г., Жукова С.А. Пространственно-временные вариации сейсмичности в районе Саамского разлома (Хибинский массив, Кольский полуостров). *Горный журнал*. 2023;(1):79–84. <https://doi.org/10.17580/gzh.2023.01.13>  
Kozyrev A.A., Zhuravleva O.G., Zhukova S.A. Seismicity variations in space and time in the area of the Saamy fault, Khibiny Massif, Kola Peninsula. *Gornyi Zhurnal*. 2023;(1):79–84. (In Russ.) <https://doi.org/10.17580/gzh.2023.01.13>
18. Mendecki A.J. Real time quantitative seismology in mines: Keynote address. In: *Rockburst and Seismicity in Mines-RaSiM2: Proceedings of the 3<sup>rd</sup> International Symposium on Rockbursts and Seismicity in Mines, Kingston, Ontario, Canada*. Rotterdam: Balkema; 1993, pp. 287–295. Available at: <https://www.researchgate.net/publication/259741668> (accessed: 02.04.2024).
19. Mendecki A.J. (ed.) *Seismic monitoring in mines*. London: Chapman and Hall; 1997. 262 p. <https://doi.org/10.1007/978-94-009-1539-8>
20. van Aswegen G., Butler A. Applications of quantitative seismology in South African gold mines. In: *Rockburst and Seismicity in Mines-RaSiM2: Proceedings of the 3<sup>rd</sup> International Symposium on Rockbursts and Seismicity in Mines, Kingston, Ontario, Canada*. Rotterdam: Balkema; 1993. pp. 261–266. Available at: <https://www.researchgate.net/publication/259741923> (accessed: 02.04.2024).
21. van Aswegen G. Routine seismic hazard assessment in some South African mines. In: Potvin Y., Hudyma M. (eds) *RaSiM6: Proceedings of the Sixth International Symposium on Rockburst and Seismicity in Mines Proceedings*. Australian Centre for Geomechanics, Perth; 2005, pp. 437–444. [https://doi.org/10.36487/ACG\\_repo/574\\_45](https://doi.org/10.36487/ACG_repo/574_45)
22. Мельников Н.Н. (ред.) *Методы и системы сейсмодетекционного мониторинга техногенных землетрясений и горных ударов*. Новосибирск: СО РАН; 2010. Т. 2. 261 с. Режим доступа: <https://www.geokniga.org/books/21804> (дата обращения: 01.04.2024).
23. Liu J.-P., Xu S.-d., Li Y.-h., Lei G. Analysis of rock mass stability based on mining-induced seismicity: A case study at the Hongtoushan copper mine in China. *Rock Mechanics and Rock Engineering*. 2019;52(1):265–276. <https://doi.org/10.1007/s00603-018-1541-y>
24. Nordström E., Dineva S., Nordlund E. Back analysis of short-term seismic hazard indicators of larger seismic events in deep underground mines (LKAB, Kiirunavaara Mine, Sweden). *Pure and Applied Geophysics*. 2020;177(2):763–785. <https://doi.org/10.1007/s00024-019-02352-8>
25. Dehn K.K., Butler T., Weston B. Using the energy index method to evaluate seismic hazards in an underground narrow-vein metal mine. In: *Paper presented at the 52<sup>nd</sup> U.S. Rock Mechanics / Geomechanics Symposium, Seattle, Washington, June 2018*. Available at: <https://www.researchgate.net/publication/329628956> (accessed: 02.04.2024).
26. Li Y., Hongwei D., Lei W., Qin Y., Xu X. Method for identifying and forecasting mining-induced earthquakes based on spatiotemporal characteristics of microseismic activities in Fankou lead/zinc mine. *Minerals*. 2022;12(3):318. <https://doi.org/10.3390/min12030318>
27. Li Y., Hongwei D., Lei W., Qin Y., Xu X. Method for identifying and forecasting mining-induced earthquakes based on spatiotemporal characteristics of microseismic activities in Fankou lead/zinc mine. *Minerals*. 2022;12(3):318. <https://doi.org/10.3390/min12030318>

**Информация об авторах**

**Журавлева Ольга Геннадьевна** – кандидат технических наук, старший научный сотрудник лаборатории прогноза удароопасности рудных месторождений, отдел геомеханики, Горный институт Кольского научного центра Российской академии наук, г. Апатиты, Российская Федерация; <https://orcid.org/0000-0002-8986-9559>; e-mail: o.zhuravleva@ksc.ru

**Жукова Светлана Александровна** – кандидат технических наук, старший научный сотрудник лаборатории прогноза удароопасности рудных месторождений, отдел геомеханики, Горный институт Кольского научного центра Российской академии наук, г. Апатиты, Российская Федерация; <https://orcid.org/0000-0003-0769-6584>; e-mail: svetlana.zhukowa@yandex.ru

**Information about the authors**

**Olga G. Zhuravleva** – Cand. Sci. (Eng.), Senior Researcher, Laboratory of Prediction of rockburst hazard of rock deposits, Rock Mechanics Department, Mining Institute Kola Science Centre of the Russian Academy of Sciences, Apatity, Russian Federation; <https://orcid.org/0000-0002-8986-9559>; e-mail: o.zhuravleva@ksc.ru

**Svetlana A. Zhukova** – Cand. Sci. (Eng.), Senior Researcher, Laboratory of Prediction of rockburst hazard of rock deposits, Rock Mechanics Department, Mining Institute Kola Science Centre of the Russian Academy of Sciences, Apatity, Russian Federation; <https://orcid.org/0000-0003-0769-6584>; e-mail: svetlana.zhukowa@yandex.ru

**Информация о статье**

Поступила в редакцию: 20.03.2024

Поступила после рецензирования: 06.05.2024

Принята к публикации: 11.05.2024

**Article info**

Received: 20.03.2024

Revised: 06.05.2024

Accepted: 11.05.2024

# Научно-методический подход к разработке проектов опытно-промышленных испытаний открытой разработки месторождений

М.В. Рыльникова<sup>1</sup>✉, Д.Н. Олейник<sup>2</sup>, А.М. Файсханов<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Институт проблем комплексного освоения недр им. академика Н.В. Мельникова Российской академии наук, г. Москва, Российская Федерация

<sup>2</sup> Федеральное агентство по недропользованию (Роснедра) г. Москва, Российская Федерация

<sup>3</sup> АО «Гипроцветмет», г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

✉ rylnikova@mail.ru

**Резюме:** Методология проектирования опытно-промышленных испытаний открытой разработки месторождений является сложной и недостаточно разработанной в теории и практике проектирования горнотехнических систем, в которой, как правило, не учитываются горнотехнические и горно-геологические особенности месторождений. Комплексная разработка месторождений полезных ископаемых требует новых методов проектирования карьеров. Теоретическое обоснование и разработка методов определения оптимальных параметров и показателей карьеров в ходе проектирования опытно-промышленных испытаний с установлением масштабов, сроков, задач и условий испытаний являются актуальной исследовательской проблемой. Авторами исследования выполнена систематизация направлений исследований по развитию основ проектирования опытно-промышленных испытаний открытой геотехнологии. Уровень геологических погрешностей при недостаточно достоверной разведке ведет к снижению ожидаемых технико-экономических показателей проекта горнодобывающих предприятий от 5–20% до кратных значений. При недостаточности информации о месторождении подготавливаются проекты опытно-промышленных испытаний. Это делается с целью получения дополнительных исходных данных для подготовки технико-экономического обоснования постоянных кондиций или на стадии разработки месторождения для проверки созданных технологий и средств их механизации, чтобы в процессе эксплуатации месторождения избежать пересмотра параметров системы разработки из-за несоответствия геомеханических и гидрогеологических представлений, приведенных в материалах детальной разведки, реальным условиям.

**Ключевые слова:** разработка проекта опытно-промышленных работ, проектирование опытно-промышленных испытаний, недостаточность информации о месторождении

**Для цитирования:** Рыльникова М.В., Олейник Д.Н., Файсханов А.М. Научно-методический подход к разработке проектов опытно-промышленных испытаний открытой разработки месторождений. *Горная промышленность*. 2024;(3):112–117. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2024-3-112-117>

## Scientific and methodological approach to the development of pilot testing projects for open-pit mining

M.V. Rylnikova<sup>1</sup>, D.N. Oleinik<sup>2</sup>, A.M. Fayskhanov<sup>3</sup>✉

<sup>1</sup> Institute of Comprehensive Exploitation of Mineral Resources Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation

<sup>2</sup> Federal Agency for Subsurface Use (Rosnedra), Moscow, Russian Federation

<sup>3</sup> Giprotsvetmet JSC, St. Petersburg, Russian Federation

✉ rylnikova@mail.ru

**Abstract:** Methodology of designing pilot tests in open-pit mining is a complex and insufficiently developed issue in the theory and practice of designing mining systems, which, as a rule, fails to take into account the mining and geological features of the deposits. The complex development of mineral deposits requires new methods of open-pit designing. Thus, the theoretical justification and development of the methods to determine the optimal parameters and indicators of open-pits during the design of pilot tests with the establishment of scales, deadlines, tasks and test conditions is an urgent research problem. The authors of the study have systematized the research trends in developing the basis for designing pilot tests in open-pit geotechnology. The

level of geological inaccuracies in case of insufficiently reliable prospecting results leads to a decrease in the expected technical and economic indicators of the mining project ranging from 5-20% to several folds. When information on the deposit is insufficient, pilot test projects are prepared. This is done in order to obtain additional input data for preparation of the feasibility study of permanent conditions or at the stage of the field development to verify the created technologies and means of their mechanisation in order to avoid revision of the mining system parameters in the course of the field operations due to discrepancies between the geomechanical and hydrogeological representations given in the detailed exploration materials and the real conditions.

**Keywords:** development of a pilot project, design of pilot tests, insufficient information on the deposit

**For citation:** Rylnikova M.V., Oleinik D.N., Fayskhanov A.M. Scientific and methodological approach to the development of pilot testing projects for open-pit mining. *Russian Mining Industry*. 2024;(3):112–117. (In Russ.) <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2024-3-112-117>

## Введение

За последние десятилетия существенно изменились горнотехнические, геомеханические и природно-климатические условия открытой разработки месторождений твердых полезных ископаемых, произошло кардинальное техническое перевооружение открытых горных работ, усовершенствован ряд существующих и предложены новые геотехнологии с высокими вскрышными уступами, искусственными бермами, применением циклично-поточной технологии в транспортной системе карьера, интеллектуального горнотранспортного оборудования, интеллектуальных систем мониторинга, работающих в безлюдном режиме реального времени [1–3]. Рост глубины разработки, уменьшение среднего содержания полезных компонентов в добываемом сырье, опережающий рост извлекаемых из недр объемов горной массы по сравнению с ростом объемов конечной товарной продукции объективно вызывают увеличение затрат на добычу и переработку минерального сырья, что может быть компенсировано только повышением комплексности использования минеральных ресурсов, увеличением коэффициента извлечения полезных ископаемых из недр и попутных компонентов из вещества при обогащении на основе создания и применения инновационных технологий горного производства по мере углубки горных работ.

## Неопределенность в изученности месторождения, риски и последствия

Как показывает анализ опыта разработки месторождений полезных ископаемых различного вида минерального сырья, уровень геологических погрешностей при недостаточно достоверной разведке ведет к снижению ожидаемых технико-экономических показателей проекта горнодобывающих предприятий от 5–20% до кратных значений. Так, крупные убытки понесли золоторудные предприятия России из-за несовпадения ожидаемого среднего содержания металла в руде, неподтверждения запасов, снижения цен и мировых санкций на сырьевом рынке [4].

В ходе своего развития горнотехническая система самоуничтожает те базовые условия, на которые была запроецирована: неизбежно в ходе эксплуатации месторождения истощаются балансовые запасы, динамично изменяются под техногенным воздействием геомеханические, геологические, гидрогеологические состояния и свойства системы в условиях высокой непредсказуемо-

сти изменения характеристик и экономического минерально-ресурсного потенциала [5; 6].

Недостаточность знаний о месторождении подразумевает неопределенность, следствием которой является риск, повлекший за собой недостижение проектных показателей [7; 8]. Геологический риск, связанный с геологической неопределенностью, т.е. с ограниченностью (неполнотой, неоднозначностью) геологической информации – риск обеспеченности горного предприятия запасами полезных ископаемых соответствующего качества в объеме не ниже заданного в проекте уровня. Несовпадение прогнозируемых условий с реальными, с пространственным расположением залежи, а также неподтверждение ее геологического строения могут повлечь за собой последствия в виде выбора неоптимальных условий отработки месторождения или столкновения с опасными геомеханическими процессами. В то же время именно геологические риски оказывают влияние на качество исходных данных горного проекта, вместе с этим частично определяя и величину горных и технологических рисков [9].

В результате анализа существующих подходов к проектированию карьеров в условиях неопределенности исходных данных установлено, что применяемые методы проектирования недостаточно учитывают риски, что влечет за собой принятие и реализацию неэффективных проектных решений. В настоящее время нормативно-правовые акты, регламентирующие отношения по подготовке проектной документации в сфере недропользования, относятся к одной из областей отечественного законодательства, которая еще не приобрела окончательной формы и подлежит дальнейшему развитию и совершенствованию. Оценка ранее выполненных работ и современных научных исследований в области проектирования опытно-промышленных испытаний (ОПИ) открытой геотехнологии свидетельствует, что широкому внедрению ОПИ препятствует отсутствие апробированных методов проектирования ОПИ с систематизацией проектных решений по масштабам, срокам реализации, задачам и условиям проведения испытаний, объему исходной и результирующей информации.

В ходе анализа работ известных ученых в сфере проектирования открытой геотехнологии проведена систематизация основных направлений технологических решений (табл. 1), позволившая определить перспективы развития научно-методических основ разработки проектов на опытно-промышленные работы.

**Таблица 1**  
Систематизация направлений исследований по развитию основ проектирования опытно-промышленных испытаний открытой геотехнологии

**Table 1**  
Systematization of the research trends in developing the basis for designing pilot tests in open-pit geotechnology

Авторы	Направление научных исследований	Полученные решения
А.И. Арсентьев	Обоснование методов проектирования карьеров, принципов определения направления развития горных работ	Предложено ввести в расчеты и показатели оценку риска принимаемых решений, установлены законы формирования рабочего пространства
О.В. Шпанский	Развитие основ горно-геометрического моделирования карьеров при проектировании разработки крутопадающих месторождений	Предложен метод совместного определения развития возможной по горнотехническим факторам производительности карьера по полезному ископаемому и горной массе в научно обоснованной области варьируемых параметров, обеспечивающий возможность построения положений горных работ и их совмещенных планов в соответствии с установленным развитием производительности
Г.А. Холодняков	Обоснованы современные концепции теории проектирования карьеров с учетом комплексности полезных ископаемых и их месторождений	Предложены методы определения основных параметров карьеров, разрабатывающих комплексные месторождения полезных ископаемых
Г.В. Секисов В.С. Алексеев	Методические основы проектирования основных параметров карьеров и режима горных работ	Описаны условия, при которых определяется проектная производительность карьера, уточнен комплекс основных факторов, предопределяющих установление проектируемой горной технологии
Г.Л. Краснянский К.Н. Трубецкой В.В. Хронин	Современные экономические аспекты проектирования, разработка ТЭО инвестиций и методы геолого-промышленной оценки месторождений	Системотехнический подход к методам определения углов наклона бортов, уступов, их высоты и ширины рабочей площадки, глубины и границ, производительности карьера
С.И. Фомин	Обоснование методов оценки эффективности проектных решений при строительстве рудных карьеров	Доказана целесообразность независимо от стадии проектирования карьеров создания и перманентного поддержания базы данных по рынкам рассматриваемых видов минерального сырья, финансовым рынкам, по технико-экономическим показателям карьеров-аналогов, установлены аналитические зависимости для определения надежности работы горнотехнической системы – карьер для простых и комплексных месторождений
Ю.В. Терехина	Оптимизация главных параметров малых карьеров на стадии предпроектной оценки решений	Предложена экспресс-методика комплексной оптимизации параметров малых карьеров на предпроектной стадии оценки, реализующая линейную стратегию принятия решений
И. А. Пыталев	Обоснование выбора режима горных работ при проектировании горнотехнической системы открытой разработки крутопадающего месторождения для обеспечения ее развития с совокупным использованием природных и техногенных георесурсов	Предложена методика обоснования условий устойчивого развития горнотехнической системы, включающая определение ценности формируемых техногенных георесурсов в зависимости от их вида, вместимости, характеристик, объема горных пород, позволяющая на разных этапах освоения месторождений определить очередность вовлечения в разработку отдельных участков для одновременного развития работ на участках с требуемыми физико-механическими свойствами горных пород и потребительскими характеристиками формируемых техногенных георесурсов
В.В. Иванов	Обоснование, разработка и корректировка методов определения оптимальных параметров и показателей открытой разработки с учетом горнотехнических особенностей месторождений для повышения эффективности и достоверности проектных решений	Предложены технологические решения по рациональному использованию минерального сырья и снижению потерь полезного ископаемого при проектировании открытой разработки сложноструктурных карбонатных
М.В. Рыльникова, А.И. Перепелицын, О.В. Зотеев, И.Л. Никифорова	Совершенствование нормативно-технического регулирования открытой разработки месторождений твердых полезных ископаемых при проектировании и обеспечении внедрения инновационных технологий	Подготовлены федеральные нормы и правила, учитывающие инновационную направленность геотехнологий, возможность применения детерминированных и вероятностных методов, современных средств контроля и мониторинга геомеханического состояния массива и методов оценки и управления устойчивостью
Д.Б. Мареев	Обоснование и разработка метода оценки информационного риска при реализации проектной производительности карьера	Предложена методика количественной оценки риска при реализации проектной производительности карьера с учетом неопределенности исходной горно-геологической и технико-экономической информации

А.С. Семенов	Обоснование методов оценки и управления проектным риском, учитывающих фактор времени и стохастический характер исходных данных	Выявлена степень влияния параметров и показателей на производительность карьера: высокая – скорость понижения добычных работ, высота уступа, длина экскаваторного блока; средняя – угол откоса борта карьера, угол углубки; низкая – ширина рабочей площадки
Д.В. Пасынков	Создание методов определения граничных показателей карьеров для оценки целесообразности разработки рудного месторождения на предварительной стадии проектирования	Предложена методика определения оптимальной производительности группы карьеров при совместной открытой разработке участков рудного месторождения и общей обогатительной фабрике на предварительной стадии проектирования
В.Л. Яковлев	Обоснование методологического подхода к решению проблем освоения недр на принципах системности, комплексности и инновационной направленности с учетом проектирования освоения новых месторождений, планирования и управления технологическими процессами на действующих горнодобывающих предприятиях	Разработан подход к исследованию, проектированию и планированию горных работ, схем вскрытия и систем разработки, формированию транспортных систем карьеров с учетом роста их глубины. Предложены методика и блочные модели рудных тел для подсчета запасов, обоснования кондиций, проектирования и планирования горных работ
М.В. Рыльникова	Условия и принципы устойчивого развития горнодобывающих предприятий в период повышенных рисков и внешних вызовов	Предложены подходы к обеспечению устойчивости развития ГТС путем формирования рациональной структуры горнотехнической системы, введения дополнительных инновационных процессов добычи и глубокой переработки минерального сырья, обоснования параметров процессов с учетом закономерностей совокупного взаимодействия всех вышеперечисленных факторов при проектировании и эксплуатации горнотехнических систем
Nelson Morales, Sebastian Seguel, Alejandro Caceres, Enrique Jelvez, Maximiliano Alarcón	Изучение геологической неопределенности в долгосрочной перспективе планирования открытых горных работ	Разработана методология, позволяющая сократить общую стоимость проекта. Более детальная разведка позволяет сократить срок службы карьера и оптимизировать календарный план горных работ

**Цели и задачи проведения опытно-промышленных работ**

В последние годы в России расширился интерес к проектированию опытно-промышленных испытаний (ОПИ) геотехнологии. Такие работы позволяют быстрее начать реальную добычу полезных ископаемых и получать надежную информацию для разработки базового проекта на освоение месторождения. Особенно важна разработка проекта ОПИ для эксплуатации технологических образований, характеризующихся весьма сложным распределением ценных компонентов. Опытно-промышленные работы дают возможность проверить, оценить принимаемые проектные параметры, устранить недостатки и проблемы выбранной технологии перед выходом на полномасштабное производство.

**Обоснование, состав и требования к структуре проектов проведения опытно-промышленных испытаний**

Основаниями для разработки проекта опытно-промышленных работ являются как рекомендации ГКЗ, так и положения проекта геологоразведочных работ, а также обязательные требования для успешного освоения месторождения [10]:

- уточнение геолого-структурных особенностей строения рудных тел и их распределения в пределах рудоносных зон;
- изучение технологических параметров переработки руд и уточнение показателей извлечения полезных компонентов, проведение технологических исследований на

крупнообъемных пробах в полупромышленном масштабе с целью разработки технологического регламента;

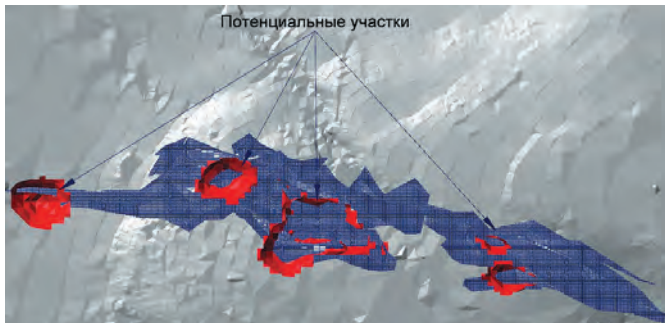
- изучение возможности селективной отработки рудных тел в пределах рудоносных зон и проведение опытно-промышленных испытаний экономически предпочтительных способов выемки руды для оптимизации и снижения показателей потерь и разубоживания руды;
- обоснование горнотехнических условий отработки месторождения, изучение физико-механических свойств всех технологических типов пород и руд, по совокупности установленных закономерностей геомеханического состояния массива горных пород для выбора и обоснования параметров системы разработки месторождения;
- выполнение комплекса исследований с целью оценки достоверности результатов геологического опробования и качества аналитических работ, разработка рекомендаций по их повышению, разработка методики отбора и обработки проб на стадии эксплуатационной разведки;
- изучение перспектив и экономической эффективности сортировки горной массы;
- поиск и оценка инновационных технологий ведения горных работ.

В ходе проведения опытно-промышленных работ определяются природная обводненность пласта, коэффициент фильтрации водопритоков, угол падения залежи относительно горизонта, ее мощность и качество сырья как в целике, так и в извлекаемой рудной массе [11]. Также отрабатываются оптимальные параметры технологии обогащения сырья, его сортировки по крупности непо-

средственно после извлечения из недр, подтверждаются реальные качественные показатели и запасы промышленной залежи<sup>1</sup> [12]. Особое значение отводится анализу поверхностной инфраструктуры, наличию подъездных дорог, линий электропередач, близлежащих населенных пунктов, трудовых ресурсов, ремонтно-восстановительных мастерских для ремонта оборудования и т.д.

**Современная практика проектирования опытно-промышленных работ**

Для проведения опытных работ выбирают участок месторождения со средними, наиболее представительными условиями залегания. В современной практике выбору участка ОПИ способствуют средства 3D-визуализации рудных тел в виде каркасов или блочных моделей (рис. 1), которые совместно со съемкой поверхности дают представление об оптимальном месте проведения опытно-промышленных работ.



**Рис. 1**  
Выбор оптимального участка для проведения опытно-промышленных работ на основе 3D-визуализации

**Fig. 1**  
Selection of the optimal site for pilot tests based on 3D visualization

Проектирование участка опытно-промышленных работ на месторождении включает в себя: выбор схемы вскрытия месторождения. Применение того или другого метода вскрытия и извлечения руды влечет за собой выбор требуемого типа и количества бурового и добычного оборудования, вспомогательного оборудования, способного в полной мере обеспечить проведение процесса добычи.

В ходе проведения опытно-промышленных работ ведется документирование всех результатов осуществляемых работ. Все, что происходит в процессе их проведения, изменения технологических параметров, возникающие инциденты и неполадки, в процессе исследований тщательно документируются и заносятся в специальный журнал, который является базовым документом при оценке результатов выполненных работ. В журнале также отмечаются все варианты использования того или иного оборудования.

Структура и содержание проектов опытно-промышленных испытаний должны включать: основание для проведения опытно-промышленных работ (испытаний) в соответствии с исходными данными для их проведения, поставленными целями и задачами опытно-промышлен-

ной разработки, в установленные сроки с учетом характеристики участка опытно-промышленных работ. Проект ОПИ должен включать программу проведения опытно-промышленных работ, обоснование сроков и объемов их выполнения, методику проведения испытаний. В проектные решения по выполнению программы работ включаются схема вскрытия участка опытно-промышленной разработки; система разработки и потребность в оборудовании; геолого-маркшейдерское и инженерно-геомеханическое обеспечение опытно-промышленных работ; требования к качеству добываемого сырья и расчет потерь и разубоживания полезных ископаемых при добыче; обоснование границ горного отвода, охранных целиков и санитарно-защитных зон; мероприятия по обеспечению безопасного недропользования и по охране окружающей среды, технико-экономический расчет. Очень важно правильно определить представительность объема опытно-промышленных испытаний.

В общем виде требования к оформлению проектов опытно-промышленных испытаний сводятся к следующему:

- наличие текстовой и графической информации, достаточной для анализа проектных решений без личного участия лиц, осуществлявших их подготовку;
- обоснование разработчиком структур проекта в соответствии с требованиями к структуре и оформлению технических проектов разработки месторождений, утвержденных приказом Минприроды России от 25.06.2010 №218;
- присутствие в проекте разделов, содержащих исходную информацию, обоснование объема и сроков выполнения программы работ, технических и технологических решений для выполнения программы исследований с соблюдением требований технической, экологической безопасности и охраны недр.

Объем и детальность проработки отдельных разделов определяются разработчиком проекта в зависимости от способа и системы разработки месторождения, горно-геологических условий, программы опытно-промышленных работ, состояния инфраструктуры и т.п.

**Заключение**

Оправданное повышение интереса к проведению опытно-промышленных испытаний (работ) при динамично меняющейся ситуации на рынках минерального сырья приводит к необходимости изменения основных теоретических и методологических подходов к проектированию карьеров, разработке проектов опытно-промышленных испытаний открытой геотехнологии, и обширному применению ОПИ и оценке эффективности проектных решений.

Проекты опытно-промышленных испытаний подготавливаются при недостаточности информации о месторождении с целью получения дополнительных исходных данных для подготовки ТЭО постоянных кондиций или на стадии разработки месторождения с целью проверки созданных технологий и средств их механизации, чтобы в процессе эксплуатации месторождения избежать пересмотра параметров системы разработки из-за несоответствия геомеханических и гидрогеологических представлений, приведенных в материалах детальной разведки, реальным условиям.

<sup>1</sup> Проектирование опытно-промышленных работ (ОПР) на примере Ключевского техногенного месторождения золота в Читинской области. Режим доступа: <https://zolotodb.ru/article/12847> (дата обращения: 02.05.2024).

## Список литературы / References

1. Фомин С.И. Обоснование технологических решений при организации отработки рудных карьеров. *Записки Горного института*. 2016;221:644–650. <https://doi.org/10.18454/PMI.2016.5.644>  
Fomin S.I. Foundations for technical solutions in organizing excavation of open ore pits. *Journal of Mining Institute*. 2016;221:644–650. (In Russ.) <https://doi.org/10.18454/PMI.2016.5.644>
2. Яковлев А.М. Планирование горных работ в режиме управления качеством сырья на основе геоинформационного моделирования. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2021;(5-1):258–268. [https://doi.org/10.25018/0236\\_1493\\_2021\\_51\\_0\\_258](https://doi.org/10.25018/0236_1493_2021_51_0_258)  
Yakovlev I.M. Planning of mining operations in the quality management mode based on geoinformation modeling. *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 2021;(5-1):258–268. (In Russ.) [https://doi.org/10.25018/0236\\_1493\\_2021\\_51\\_0\\_258](https://doi.org/10.25018/0236_1493_2021_51_0_258)
3. Клебанов Д.А. Проблемы эксплуатации и управления горнотранспортными комплексами и перспективы внедрения систем на основе формирования больших данных. В кн.: *Золото. Полиметаллы. XXI век: Устойчивое развитие: науч. тр. 4-й Международ. науч.-техн. конф., г. Челябинск, 27–30 марта 2024 г.* М: ИПКОН РАН; 2024. С. 169–171.
4. Заляднов В.Ю. Управление параметрами горнотехнической системы для обеспечения устойчивого функционирования горнодобывающего предприятия в изменяющихся условиях рынка. В кн.: *Золото. Полиметаллы. XXI век: Устойчивое развитие: науч. тр. 4-й Международ. науч.-техн. конф., г. Челябинск, 27–30 марта 2024 г.* М: ИПКОН РАН; 2024. С. 43–44.
5. Соколов А.С., Душин А.В., Игнатьева М.Н., Моор И.А. Запасы полезных ископаемых и достоверность геологической изученности месторождения как факторы конкурентоспособности предприятий горнопромышленного комплекса. *ЭТАП: экономическая теория, анализ, практика*. 2023;(6):77–91. <https://doi.org/10.24412/2071-6435-2023-6-77-91>  
Sokolov A.S., Dushin A.V., Ignatieva M.N., Moore I.A. Mineral reserves and reliability of geological study of the deposit as factors of competitiveness of mining enterprises. *ETAP: Economic Theory, Analysis, and Practice*. 2023;(6):77–91. (In Russ.) <https://doi.org/10.24412/2071-6435-2023-6-77-91>
6. Рыльникова М.В. Проблемы и перспективы устойчивого развития горнотехнических систем при комплексном освоении недр. В кн.: *Золото. Полиметаллы. XXI век: Устойчивое развитие: науч. тр. 4-й Международ. науч.-техн. конф., г. Челябинск, 27–30 марта 2024 г.* М: ИПКОН РАН; 2024. С. 18–21.
7. Трубецкой К.Н., Галченко Ю.П. *Геоэкология освоения недр Земли и экогеотехнология разработки месторождений*. М.: Научтехлитиздат; 2015. 360 с.
8. Мареев Д.Б. *Обоснование и разработка метода оценки информационного риска при реализации проектной производительности карьера: дисс. ... канд. техн. наук*. СПб.; 2000. 115 с.
9. Семёнов А.С. *Обоснование методов оценки и управления риском при проектировании открытой разработки рудных крутопадающих месторождений: автореф. дисс. ... канд. техн. наук*. СПб.; 2010. 21 с.
10. Евсеенко В.В. *Повышение экономической эффективности геологоразведочных работ на основе концепции управления стоимостью компании: дисс. ... канд. экон. наук*. СПб.; 2018. 176 с.
11. Файсханов А.М. Методический подход к обоснованию требований к проектированию опытно-промышленных испытаний открытой геотехнологии. В кн.: *Золото. Полиметаллы. XXI век: Устойчивое развитие: науч. тр. 4-й Международ. науч.-техн. конф., г. Челябинск, 27–30 марта 2024 г.* М: ИПКОН РАН; 2024. С. 45.
12. Кантемиров В.Д., Яковлев А.М., Титов Р.С. Применение геоинформационных технологий блочного моделирования для совершенствования методов оценки качественных показателей полезных ископаемых. *Известия высших учебных заведений. Горный журнал*. 2021;(1):63–73. <https://doi.org/10.21440/0536-1028-2021-1-63-73>  
Kantemirov V. D., Yakovlev A. M., Titov R. S. Applying geoinformation technologies of block modelling to improve the methods of assessing quality indicators of minerals. *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii. Gornyi Zhurnal*. 2021;(1):63–73. (In Russ.) <https://doi.org/10.21440/0536-1028-2021-1-63-73>

**Информация об авторах**

**Рыльникова Марина Владимировна** – доктор технических наук, профессор, Институт проблем комплексного освоения недр им. академика Н.В. Мельникова Российской академии наук, г. Москва, Российская Федерация; e-mail: rylnikova@mail.ru

**Олейник Дмитрий Николаевич** – советник руководителя, первый заместитель Председателя Центральной Комиссии Роснедр по разработке месторождений твердых полезных ископаемых (ЦКР-ТПИ Роснедр), Федеральное агентство по недропользованию (Роснедра) г. Москва, Российская Федерация

**Файсханов Артём Маратович** – инженер, АО «Гипроцветмет», г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

**Information about the authors**

**Marina V. Rylnikova** – Dr. Sci. (Eng.), Professor, Institute of Comprehensive Exploitation of Mineral Resources of Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation; e-mail: rylnikova@mail.ru

**Dmitry N. Oleinik** – Advisor to the Chief Manager, First Deputy Chairman of the Rosnedra Central Committee for Solid Mineral Deposit Development (Rosnedra CCSMDD), Federal Agency for Subsurface Use (Rosnedra), Moscow, Russian Federation

**Artem M. Fayskhanov** – Engineer, Giprotsvetmet JSC, St. Petersburg, Russian Federation

**Article info**

Received: 07.05.2024

Revised: 30.05.2024

Accepted: 01.06.2024

**Информация о статье**

Поступила в редакцию: 07.05.2024

Поступила после рецензирования: 30.05.2024

Принята к публикации: 01.06.2024

# Перспективы использования баз спутниковых данных эмиссии парниковых газов при мониторинге объектов добывающей промышленности

В.В. Антошин<sup>1</sup>, А.И. Маневич<sup>2,3</sup>✉, А.А. Гаврилова<sup>3</sup>, А.А. Камаев<sup>2,3</sup>

<sup>1</sup> ООО НГК «Горный», г. Москва, Российская Федерация

<sup>2</sup> Геофизический центр РАН, г. Москва, Российская Федерация

<sup>3</sup> Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС», г. Москва, Российская Федерация

✉ ai.manevich@yandex.ru

**Резюме:** Выбросы парниковых газов, в частности метана и углекислого газа, горноперерабатывающими и энергетическими предприятиями могут существенно влиять на загрязнение атмосферы приземного слоя, аэрозолей и атмосферный парниковый эффект. Непрерывный мониторинг эмиссий является основой для разработки эффективных стратегий сокращения выбросов парниковых газов. Для этой цели активно используются спутниковые миссии. В статье представлены обзор и описание существующих баз данных выбросов парниковых газов, полученных на основе спутниковых измерений. Методология мониторинга заключается в спутниковой спектроскопии, нацеленной на анализ спектральных характеристик света, поглощаемого атмосферой. Результаты измерений спутниковых спектрометров показывают общую молярную массу вещества по высоте атмосферного столба. Глобальный спутниковый мониторинг позволяет выявлять зоны аномальной концентрации и идентифицировать новые источники парниковых газов, сопоставлять их с наземными измерениями загрязняющих веществ.

**Ключевые слова:** парниковые газы, метан, оксид углерода, спутниковый мониторинг

**Для цитирования:** Антошин В.В., Маневич А.И., Гаврилова А.А., Камаев А.А. Перспективы использования баз спутниковых данных эмиссии парниковых газов при мониторинге объектов добывающей промышленности. *Горная промышленность*. 2024;(3):118–121. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2024-3-118-121>

## Perspectives of using satellite databases of greenhouse gas emissions in monitoring of mining facilities

V.V. Antoshin<sup>1</sup>, A.I. Manevich<sup>2,3</sup>✉, A.A. Gavrilova<sup>3</sup>, A.A. Kamaev<sup>2,3</sup>

<sup>1</sup> NGK Gorny LLC, Moscow, Russian Federation

<sup>2</sup> Geophysical Center, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation

<sup>3</sup> National University of Science and Technology MISIS, Moscow, Russian Federation

✉ ai.manevich@yandex.ru

**Abstract:** Emissions of the greenhouse gases, particularly methane and carbon dioxide, by the mining, processing, and energy industries can significantly affect pollution in the bottom layer of the atmosphere, aerosols, and the atmospheric greenhouse effect. Continuous monitoring of emissions is the basis for developing effective strategies to reduce greenhouse gas emissions. Satellite missions are actively used for this purpose. The article provides an overview and description of the existing databases of greenhouse gas emissions obtained based on satellite measurements. The monitoring methodology involves satellite spectroscopy aimed at analyzing the spectral characteristics of light absorbed by the atmosphere. The results of measurements by satellite spectrometers show the total molar mass of substances throughout the atmospheric column. Global satellite monitoring allows identifying zones of anomalous concentration and identifying new sources of greenhouse gases, comparing them with the ground-based measurements of pollutants.

**Keywords:** greenhouse gases, methane, carbon monoxide, satellite monitoring

**For citation:** Antoshin V.V., Manevich A.I., Gavrilova A.A., Kamaev A.A. Perspectives of using satellite databases of greenhouse gas emissions in monitoring of mining facilities. *Russian Mining Industry*. 2024;(3):118–121. (In Russ.) <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2024-3-118-121>

### Введение

Метан CH<sub>4</sub> и углекислый газ CO<sub>2</sub> являются одними из основных парниковых газов [1, 2]. В глобальном охвате поверхности Земли существует множество как природных, так и антропогенных источников парниковых газов.

Причем по последним оценкам глобального мониторинга атмосферы вклад горноперерабатывающего и энергетического секторов может составлять до 30% всех выбросов метана [3] (рис. 1). Практический интерес к глобальному мониторингу парниковых газов и в частности выбросов ме-

тана обоснован его свойствами – он более эффективно поглощает тепловое излучение, чем углекислый газ (разница составляет около 30 раз) [4]. Поэтому именно сокращение выбросов метана может сравнительно быстро привести к снижению глобальной концентрации метана в атмосфере и, следовательно, снижению парникового эффекта. В этой связи так называемые «эмитенты» метана являются главными точками интереса для контроля и мониторинга объема их выбросов. Анализ данных по эмиссии парниковых газов позволяет оценить воздействие добычи полезных ископаемых на окружающую среду и климат. Это важно для разработки эффективных стратегий сокращения выбросов парниковых газов, снижения негативного воздействия на окружающую среду и управления рисками, адаптации и снижения углеродного следа промышленности в соответствии с отечественными («Об ограничении выбросов парниковых газов» ФЗ №296 от 2 июля 2021 г.) и международными протоколами (GHG protocol) и стандартами.

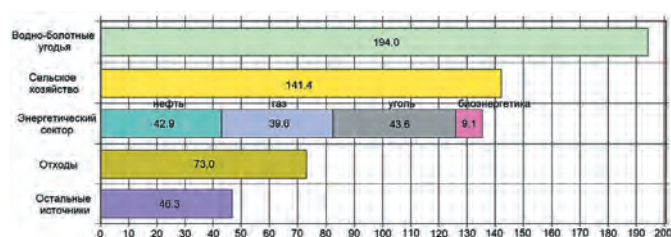


Рис. 1  
Выбросы метана в 2021 г. по данным [3]

Fig. 1  
Methane emissions in 2021 according to [3]

Для целей глобального мониторинга эмиссий парниковых газов, имеющих планетарный масштаб, на данный момент активно используются спутниковые миссии [5]. Спутниковые данные также могут использоваться для мониторинга изменений в лесных и водных ресурсах, что важно для оценки влияния добывающей промышленности на углеродный баланс и биологическое разнообразие регионов. В частности, спутниковые данные позволяют идентифицировать и анализировать источники эмиссий парниковых газов, связанные с деятельностью горно-, нефте- и газодобывающих предприятий, включая промышленные установки [6]. Актуальность и развитие таких задач подтверждается только постоянно растущим количеством новых спутниковых миссий, ориентированных на мониторинг парниковых газов<sup>1</sup>. Это такие спутниковые миссии, как:

- MethaneSAT, предназначенный для измерения выбросов метана от нефтяных и газовых объектов;
- Метеор-М №2-4 с новым бортовым инфракрасным спектрометром, предназначенным для температурно-влажностного зондирования атмосферы и определения малых концентраций углекислого газа, метана, закиси азота, озона, водяного пара, фреонов;
- Спутниковая группировка TANGO, ориентированная на измерение содержания в атмосфере парниковых газов на уровне отдельных источников выбросов: электростанций, угольных шахт, мусорных свалок, заводов;
- Космические аппараты GHOS-4 и GHOS-5, ориентированные на гиперспектральные измерения выбросов метана с высокой разрешающей способностью (472 спектральных канала, полоса захвата составит 8 м);

– Спектрометр EMIT (Earth Surface Mineral Dust Source Investigation), установленный на борту МКС для точечного выделения шлейфов метана и мониторинга атмосферной пыли;

– Спутниковая миссия Sentinel-5P, предназначенная для непрерывного мониторинга различных газов в атмосфере, таких как углекислый газ CO<sub>2</sub>, метан CH<sub>4</sub>, диоксид азота NO<sub>2</sub> и озон O<sub>3</sub>.

Довольно большой опыт и объем данных накопленных спутниковых данных о состоянии атмосферы в настоящее время позволяют активно развивать и создавать открытые базы выбросов парниковых газов. Использование баз данных выбросов парниковых газов на основе спутниковых измерений представляет собой мощный и перспективный инструмент для мониторинга и управления экологическими и климатическими рисками деятельности добывающей промышленности. Поэтому цель настоящей статьи – рассмотреть основные существующие базы данных выбросов парниковых газов на основе спутниковых измерений.

### Методология

Спутниковые измерения концентрации парниковых газов в атмосфере основаны на принципах дистанционного зондирования Земли из космоса, при котором спутник наблюдает эмиссии и поглощения определенных электромагнитных излучений, проходящих через атмосферу. Спутниковые сенсоры выполняют измерения рассеянного и отраженного света от поверхности Земли, проходящего через атмосферу, что позволяет оценить состав и содержание парниковых газов в атмосфере Земли. По своей сути это спутниковая спектроскопия, нацеленная на анализ спектральных характеристик света, поглощаемого атмосферой. Парниковые газы имеют характерные абсорбционные линии в спектре, которые можно использовать для определения их концентрации (рис. 2) [7]. Кривая оптической толщины метана, углекислого газа и водяного

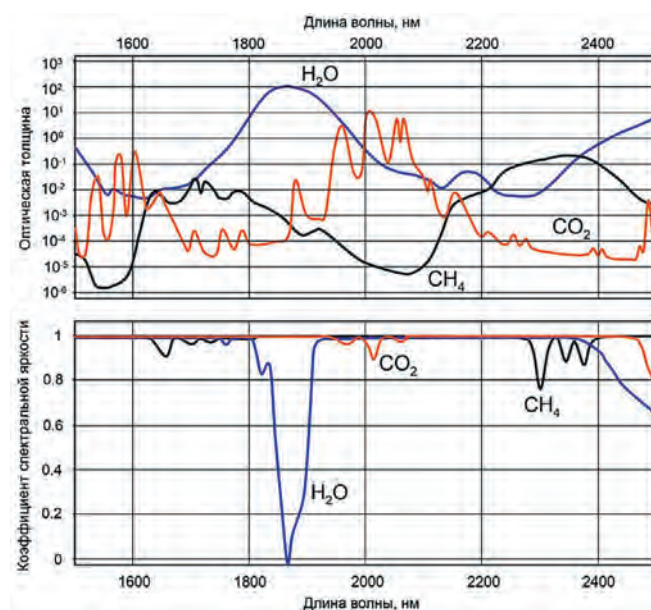


Рис. 2  
Характеристическая кривая оптической толщины коэффициентов спектральной яркости метана, углекислого газа и водяного пара по данным [7]

Fig. 2  
A characteristic curve of the optical depth of methane, carbon dioxide and water vapour spectral brightness coefficients according to [7]

<sup>1</sup> Greenhouse Gas Satellite Missions Portal. Available at: <https://database.eohandbook.com/ghg/index.aspx> (accessed: 12.04.2024).

**Таблица 1**  
Базы спутниковых данных эмиссии парниковых газов

**Table 1**  
Satellite databases of greenhouse gas emissions

Название	Доступ	Краткое описание
IMEO Methane Data	<a href="https://methanedata.azurewebsites.net/plumemap?mars=false">https://methanedata.azurewebsites.net/plumemap?mars=false</a>	<a href="https://methanedata.azurewebsites.net/plumemap?mars=false">https://methanedata.azurewebsites.net/plumemap?mars=false</a>
Climate TRACE	<a href="https://climatetrace.org/">https://climatetrace.org/</a>	Глобальный каталог выбросов парниковых газов с 2021 г.
GMET	<a href="https://globalenergymonitor.org/projects/global-methane-emitters-tracker/">https://globalenergymonitor.org/projects/global-methane-emitters-tracker/</a>	Каталог данных выбросов и шлейфов метана угле-, нефте- и газодобывающих предприятий с 2021 г.
EMIT Methane Point Source Plume Complexes	<a href="https://earth.gov/ghgcenter/data-catalog/emit-ch4plume-v1">https://earth.gov/ghgcenter/data-catalog/emit-ch4plume-v1</a>	Каталог данных выбросов и шлейфов метана с 1 августа 2022 г.
Kayrros Methane Watch	<a href="https://methanewatch.kayrros.com/map">https://methanewatch.kayrros.com/map</a>	Каталог точечных выбросов метана, в основном связанных с добычей угля, нефти и газа, с января 2019 г.
SPON Methane plume maps	<a href="https://earth.sron.nl/methane-emissions/">https://earth.sron.nl/methane-emissions/</a>	Каталог точечных выбросов метана (еженедельный мониторинг) с ноября 2017 г.

пара показана на рис. 2. Приблизительно её можно считать аналогом кривой спектров поглощения этих веществ. Для обнаружения и оценки концентрации метана в столбе атмосферы используются спектральные каналы коротковолнового инфракрасного диапазона SWIR – ~1560–1660 нм и ~2090–2290 нм. Перепад кривой в пределах интервала измерения канала является основной характеристикой для выявления повышенного содержания парникового газа в атмосфере. Так, у метана виден резкий перепад в диапазоне ~1560–1660 нм, а у углекислого газа в диапазоне ~2090–2290 нм. Наиболее широко используемые спутниковые спектрометры для мониторинга атмосферы на данный момент – это прибор TROPOMI (TROPOspheric Monitoring Instrument) на борту спутника Sentinel-5P и прибор EMIT (Earth Surface Mineral Dust Source Investigation) на борту МКС. Спектрометр TROPOMI измеряет отраженное солнечное излучение в ультрафиолетовом, видимом, ближнем инфракрасном и коротковолновом инфракрасном диапазонах [8]. Пространственное разрешение TROPOMI составляет 7×3,5 км. EMIT – гиперспектрометр, содержащий 285 спектральных каналов в диапазоне от 381 до 2493 нм, со спектральным разрешением порядка 7,5 нм [9]. Полоса обзора EMIT составляет в интервале между 52° с.ш. и 52° ю.ш., пространственное разрешение – 60 м.

**Результаты**

Рассмотрим основные базы спутниковых данных парниковых выбросов. Эти базы данных формируются под эгидой крупных космических или климатических международных агентств. Их сводный перечень представлен в табл. 1.

IMEO (International Methane Emissions Observatory) Methane Data – глобальный набор данных о выбросах метана, включая систему оповещения об аномальных разовых (крупных) выбросах метана (Methane Alert and Response System, MARS) с января 2023 г. Каталог IMEO Methane Data использует спутниковые данные Sentinel-2,5P, EMIT, Landsat-8,9, GOES, PRISMA и EnMAP.

Climate TRACE – глобальный набор данных о выбросах парниковых газов с 2021 г., включающий детальную инвентаризацию источников выбросов на основе государственных отчетных материалов (база данных имеет записи о более чем 380 млн источников выбросов). Climate TRACE использует спутниковые данные Sentinel-2,5P, EMIT, Landsat-8,9 и другие для расчетов в том числе и приземных концентраций парниковых газов<sup>2</sup>.

Global Methane Emitters Tracker (GMET) – содержит наборы данных выбросов метана в результате деятельности добычи ископаемого угля, нефти и газа, а также транспортировки и хранения природного газа. В каталог включены данные как точечных выбросов, так и мониторинга формирующихся шлейфов метана. Каталог GMET использует данные проекта Climate TRACE для формирования своих оценок деятельности добывающих предприятий.

EMIT Methane Point Source Plume Complexes – содержит глобальные наборы данных выбросов и шлейфов метана, полученные гиперспектрометром EMIT [9] начиная с 1 августа 2022 г.

Kayrros Methane Watch – глобальный набор данных о выбросах метана и идентификации эмитентов выбросов с января 2019 г. По большей части эмитенты связаны с добычей угля, нефти и газа. Каталог Kayrros Methane Watch использует спутниковые данные Sentinel-5P, EMIT и GHGSat.

SPON Methane plume maps – оперативные (еженедельный мониторинг) наборы данных о выбросах метана и идентификации эмитентов выбросов с ноября 2017 г. Сервис ориентирован как на природные, так и на антропогенные источники. Каталог SPON Methane plume maps использует спутниковые данные Sentinel-5P.

**Выводы**

Результаты измерений спутниковых спектрометров показывают не приземную концентрацию вещества, а его общую молярную массу по высоте атмосферного столба, зондируемого сенсором с привязкой его к координатам. Молярная масса в этом случае измеряется в молях на квадратный метр (распределение по площади). Для перехода к приземным концентрациям (нормируемых при мониторинге загрязняющих веществ) необходимо использовать специальные модели массопереноса химических веществ в атмосфере. Приземная концентрация загрязняющих веществ зависит от факторов климата, погоды, протекающих химических реакций. Для их учета и моделирования приземной концентрации на основе спутниковых измерений используются, например, модели WRF-chem [10] или GEOS-Chem [11]. Поэтому прямое сопоставление данных спутникового мониторинга и приземных концентраций загрязняющих веществ пока не представляется возможным.

Однако активно развиваются методы моделирования эмиссии парниковых газов на основе спутниковых данных (проект Climate TRACE). Рассмотренные базы спутниковых данных эмиссии парниковых газов представляют большой интерес для мониторинга объектов добывающей промышлен-

<sup>2</sup> Climate TRACE methodologies. Available at: <https://github.com/climatetracecoalition/methodology-documents/tree/main> (accessed: 12.04.2024).

ленности. Глобальный спутниковый мониторинг позволяет выявлять зоны аномальной концентрации и идентифицировать новые источники парниковых газов. А в некоторых случаях даже сопоставлять их с наземными измерениями загрязняющих веществ. Определенную перспективу в этом

отношении представляет сопоставление наземных и спутниковых данных на карбоновых полигонах<sup>3</sup>, находящихся в добывающих регионах России.

<sup>3</sup> Карбоновые полигоны Российской Федерации. Режим доступа: <https://carbon-polygons.ru/> (дата обращения: 10.04.2024).

### Список литературы / References

- Zhu Q., Liu J., Peng C., Chen H., Fang X., Jiang H., Yang G., Zhu D., Wang W., Zhou X. Modelling methane emissions from natural wetlands by development and application of the TRIPLEX-GHG model. *Geoscientific Model Development*. 2014;7(3):981–999. <https://doi.org/10.5194/gmd-7-981-2014>
- Тетельмин В.В. Количественная оценка глобального потепления. *Горная промышленность*. 2023;(3):64–70. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2023-3-64-70>  
Tetelmin V.V. Quantitative estimation of global warming. *Russian Mining Industry*. 2023;(3):64–70. (In Russ.) <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2023-3-64-70>
- Saunio M., Stavert A.R., Poulter B., Bousquet P., Canadell J.G., Jackson R.B. et al. The Global Methane Budget 2000–2017. *Earth System Science Data*. 2020;12(3):1561–1623. <https://doi.org/10.5194/essd-12-1561-2020>
- Stocker T.F., Qin D., Plattner G.K., Tignor M., Allen S.K., Boschung J. et al. *IPCC Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press; 2013. 1535 p. Available at: <https://www.ipcc.ch/report/ar5/wg1/> (accessed: 10.04.2024).
- Jacob D.J., Varon D.J., Cusworth D.H., Dennison P.E., Frankenberg C., Gautam R. et al. Quantifying methane emissions from the global scale down to point sources using satellite observations of atmospheric methane. *Atmospheric Chemistry and Physics*. 2022;22(14):9617–9646. <https://doi.org/10.5194/acp-22-9617-2022>
- Kholod N., Evans M., Pilcher R.C., Roshchanka V., Ruiz F., Coté M., Collings R. Global methane emissions from coal mining to continue growing even with declining coal production. *Journal of Cleaner Production*. 2020;256:120489. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120489>
- Varon D.J., Jervis D., McKeever J., Spence I., Gains D., Jacob D.J. High-frequency monitoring of anomalous methane point sources with multispectral Sentinel-2 satellite observations. *Atmospheric Measurement Techniques*. 2020;14(4):2771–2785. <https://doi.org/10.5194/amt-14-2771-2021>
- Veefkind J.P., Aben I., McMullan K., Förster H., Vries J. de, Otter G. et al. TROPOMI on the ESA Sentinel-5 Precursor: A GMES mission for global observations of the atmospheric composition for climate, air quality and ozone layer applications. *Remote Sensing of Environment*. 2012;120:70–83 <https://doi.org/10.1016/j.rse.2011.09.027>
- Thompson D.R., Green R.O., Bradley C., Brodrick P.G., Mahowald N., Dor E.B. et al. On-orbit calibration and performance of the emit imaging spectrometer. *Remote Sensing of Environment*. 2023;303:113986. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2023.113986>
- Grell G.A., Peckham S.E., Schmitz R., McKeen S.A., Frost G., Skamarock W.C., Eder B. Fully coupled “online” chemistry within the WRF model. *Atmospheric Environment*. 2005;39(37):6957–6975. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2005.04.027>
- Bey I., Jacob D.J., Yantosca R.M., Logan J.A., Field B.D., Fiore A.M. et al. Global modeling of tropospheric chemistry with assimilated meteorology: Model description and evaluation. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*. 2001;106(D19):23073–23095. <https://doi.org/10.1029/2001JD000807>

#### Информация об авторах

**Антошин Владислав Викторович** – директор управления по промышленной безопасности, охраны труда и охраны окружающей среды, ООО НГК «Горный», г. Москва, Российская Федерация; e-mail: [antoshinVV@ngk-gorniy.ru](mailto:antoshinVV@ngk-gorniy.ru)

**Маневич Александр Ильич** – научный сотрудник лаборатории геодинамики Геофизического центра РАН, старший преподаватель кафедры геологии и маркшейдерского дела, Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС», г. Москва, Российская Федерация; e-mail: [ai.manevich@yandex.ru](mailto:ai.manevich@yandex.ru)

**Гаврилова Алевтина Александровна** – студент кафедры геологии и маркшейдерского дела, Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС», г. Москва, Российская Федерация; e-mail: [anitvelag@mail.ru](mailto:anitvelag@mail.ru)

**Камаев Артем Анатольевич** – инженер лаборатории геодинамики Геофизического центра РАН, аспирант кафедры геологии и маркшейдерского дела, Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС», г. Москва, Российская Федерация; e-mail: [artemkakamaev@gmail.com](mailto:artemkakamaev@gmail.com)

#### Информация о статье

Поступила в редакцию: 12.04.2024

Поступила после рецензирования: 06.05.2024

Принята к публикации: 07.06.2024

#### Information about the authors

**Vladislav V. Antoshin** – Director of Industrial Safety, Health and Environment Safety Department, NGK Gorny LLC, Moscow, Russian Federation; e-mail: [antoshinVV@ngk-gorniy.ru](mailto:antoshinVV@ngk-gorniy.ru)

**Alexandr I. Manevich** – Research Scientist, Laboratory of Geodynamics, Geophysical Center, Russian Academy of Sciences, Lecturer of the Department of the Geology and Surveying, National University of Science and Technology MISIS, Moscow, Russian Federation; e-mail: [ai.manevich@yandex.ru](mailto:ai.manevich@yandex.ru)

**Alevtina A. Gavrilova** – Student of the Department of the Geology and Surveying, National University of Science and Technology MISIS, Moscow, Russian Federation; e-mail: [anitvelag@mail.ru](mailto:anitvelag@mail.ru)

**Artyom A. Kamaev** – Engineer, Laboratory of GEODYNAMICS, Geophysical Center, Russian Academy of Sciences, Postgraduate Student of the Department of the Geology and Surveying, National University of Science and Technology MISIS, Moscow, Russian Federation; e-mail: [artemkakamaev@gmail.com](mailto:artemkakamaev@gmail.com)

#### Article info

Received: 12.04.2024

Revised: 06.05.2024

Accepted: 07.05.2024

# Геологическое дешифрирование данных дистанционного зондирования Земли на примере месторождения Колмозерское Мурманской области

А.А. Камаев<sup>1,2</sup>, А.И. Маневич<sup>1,2</sup>✉, В.В. Антошин<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Геофизический центр РАН, г. Москва, Российская Федерация

<sup>2</sup> Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС», г. Москва, Российская Федерация

<sup>3</sup> ООО НГК «Горный», г. Москва, Российская Федерация

✉ ai.manevich@yandex.ru

**Резюме:** В данной статье рассмотрена необходимость развития минерально-сырьевой базы России для поддержки высокотехнологичной экономики страны. Особое внимание уделяется поиску и разработке стратегически важных видов сырья, таких как титан, вольфрам, литий и другие. Подчеркнута важность обеспечения ресурсами из собственных источников, минимизируя зависимость от импорта. В статье описываются дистанционные методы исследования, а именно использование данных дистанционного зондирования Земли (спутниковых снимков) для поиска и оценки потенциальных месторождений. На примере Мурманской области проводится анализ данных спутниковой съемки с целью выявления потенциальных узлов минерализации. Используемые методы включают дешифрирование снимков с помощью геологических индексов. С их помощью можно выявить зоны геологического интереса, которые в дальнейшем могут быть использованы при полном комплексе геологоразведочных мероприятий.

**Ключевые слова:** минерально-сырьевая база, стратегические виды сырья, геологоразведка, дистанционное зондирование Земли, спутниковая съемка, Мурманская область, узлы минерализации

**Для цитирования:** Камаев А.А., Маневич А.И., Антошин В.В. Геологическое дешифрирование данных дистанционного зондирования Земли на примере месторождения Колмозерское Мурманской области. *Горная промышленность*. 2024;(3):122–125. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2024-3-122-125>

## Geological interpretation of remote sensing data using the case of the Kolmozerskoye field in the Murmansk region

A.A. Kamaev<sup>1,2</sup>, A.I. Manevich<sup>1,2</sup>✉, V.V. Antoshin<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Geophysical Center, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation

<sup>2</sup> National University of Science and Technology MISIS, Moscow, Russian Federation

<sup>3</sup> NGK Gorny LLC, Moscow, Russian Federation

✉ ai.manevich@yandex.ru

**Abstract:** This article discusses the need for the development of Russia's mineral and raw material base to support the country's high-tech economy. Special attention is given to prospecting and mining of strategically important types of raw materials, such as titanium, tungsten, lithium, and others. The importance of securing resources from domestic sources, minimizing dependence on imports, is emphasized. The article describes remote survey methods, specifically the use of Earth remote sensing data, i.e. the satellite images, for prospecting and assessment of potential deposits. An analysis of satellite data of the Murmansk Oblast is conducted to identify the potential mineralization nodes. The methods used include interpretation of images using geological indexes. With their help, zones of geological interest can be identified, which can later be used in a full range of geological exploration activities.

**Keywords:** mineral and raw material base, strategic types of raw materials, geological exploration, remote sensing of Earth, satellite imagery, Murmansk region, mineralization nodes

**For citation:** Kamaev A.A., Manevich A.I., Antoshin V.V. Geological interpretation of remote sensing data using the case of the Kolmozerskoye field in the Murmansk region. *Russian Mining Industry*. 2024;(3):122–125. (In Russ.) <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2024-3-122-125>

## Введение

Высокотехнологичная экономика России требует большого количества ресурсов и их разнообразия. В данном контексте необходимо наладить восполнение определенной части минерально-сырьевой базы страны, а именно стратегических видов сырья за счет ее собственных ресурсов, а не импортных поставок. Согласно Распоряжению Правительства Российской Федерации №2473-р. от 30 августа 2022 г. среди наиболее важных минеральных ресурсов такие виды сырья, как титан, вольфрам, уран, плавиковый шпат, марганец, молибден, оксиды и карбонаты лития, йод и другие [1], и большая часть из них доставляется из-за рубежа [2]. Они играют ключевую роль в различных отраслях экономики, поскольку являются необходимыми компонентами для производства передовых технологий, электроники, энергетики, медицины и других сфер деятельности. Сейчас по данным видам ресурсов ведется поиск новых месторождений, выполняется технологическая и геолого-экономическая переоценка существующих, осуществляется стремительное модифицирование технологий разведки и добычи [3].

Редкоземельные, литиевые, танталовые и ниобиевые месторождения полезных ископаемых имеют стратегическое экономическое значение для обеспечения современных технологий и отраслей промышленности [4–5]. Разведка и добыча этих ресурсов важны для обеспечения стабильного развития экономики, инновационных технологий и конкурентоспособности российской и мировой промышленности. Поэтому при поиске месторождений наряду с традиционной полевой геологоразведкой набирает стремительные обороты использование данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), ввиду свободного формата их распространения, широкого пространственного и временного охвата и возможности получать информацию о зоне интереса без непосредственного местонахождения в ней.

## Методология

В данной работе был проведен анализ данных спутниковой съемки территории Мурманской области с целью обнаружения аномалий яркости в спутниковых снимках, связанных с узлами минерализации и скоплений полезного ископаемого. Для этого будет изучена площадь в границах лицензии Колмозерского месторождения, для территории которого отобраны спутниковые снимки будут дешифрованы и проанализированы. Спектрометрический анализ данных дистанционного зондирования Земли из космоса представляет собой метод, который основан на измерении электромагнитного излучения, отраженного или испущенного земной поверхностью в различных спектральных диапазонах. Этот метод анализа позволяет получать информацию о составе объектов и явлений на поверхности Земли и, в частности, о характеристиках горных пород [6; 7].

В качестве исходных данных был выбран безоблачный космический снимок спутника Landsat-8, датчики которого производят съемку как в видимом диапазоне, так и в инфракрасном, что также играет существенную роль при дешифрировании снимков и распознавании образов. Данные спутниковой съемки Landsat-8 были получены с помощью платформы Google Earth Engine [7]. Последующая их обработка была произведена программными средствами Quantum GIS 3.

При дешифрировании космического снимка были ис-

пользованы геологические индексы [6]. Для их расчета используют значения спектральной яркости, содержащиеся в структуре космоснимка и совершают над ними различные математические операции, например, складывают различные спектральные каналы, делят их друг на друга и др. Для геологических целей существуют разнообразные индексы, составленные исходя из спектральных свойств определенных минералов и горных пород.

Для геологического дешифрирования исследуемого района был применен метод композитирования геологических индексов, предложенный Ф.Ф. Сабинсом [8]. Суть метода заключается в расчете индексов, позволяющих выделить геологический контекст в спутниковых изображениях, а затем в объединении этих индексов в единый набор данных – растровое изображение. В своей работе [8] Сабинс предложил использовать композит из следующих индексов (рис. 1, а):

1. Индекс минералов, образованных оксидом железа (гематит, магнетит), который рассчитывается исходя из отношения интенсивностей отраженного света в красном (RED) и голубом диапазоне (BLUE), т.е. отношение каналов RED/BLUE соответственно.

2. Индекс минералов, содержащих в себе железо (пироксен, оливин, амфибол). Рассчитывается из отношения интенсивностей отраженного света в первом коротковолновом инфракрасном диапазоне (SWIR1) и ближнем инфракрасном диапазоне (NIR), что соответствует отношению каналов SWIR1/NIR.

3. Индекс минералов-гидроокислов (каолинит, мусковит, эпидот, хлорит), который находится отношением интен-

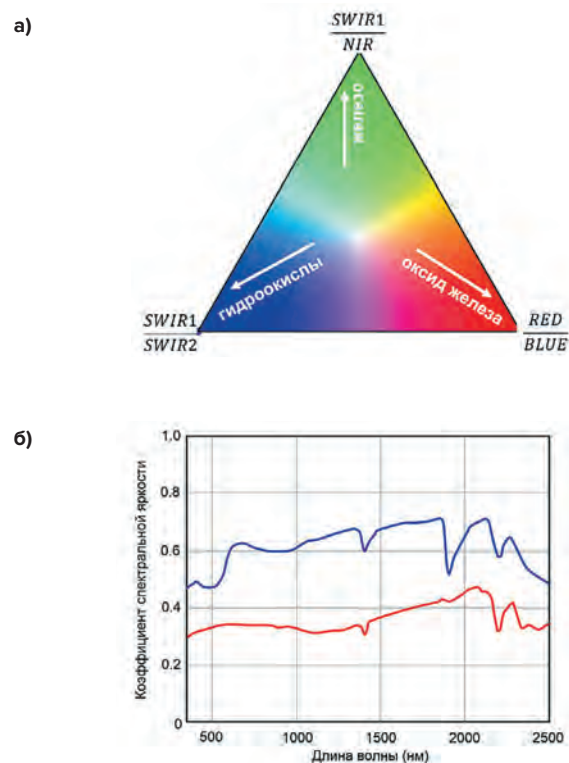
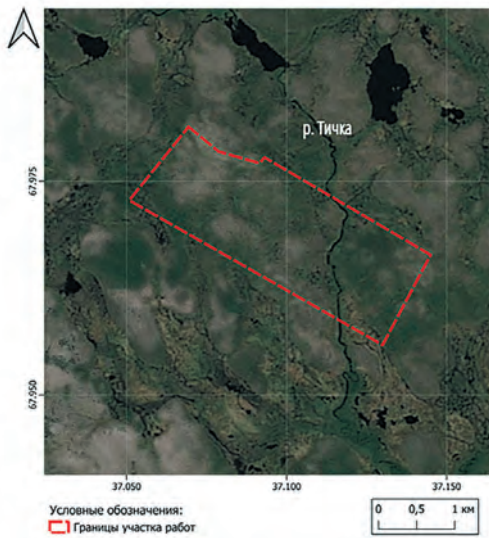


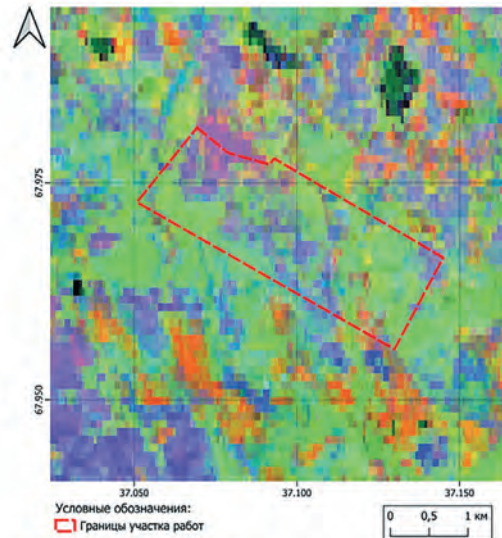
Рис. 1  
RGB-модель композита Сабинса [9] (а) и характеристическая кривая коэффициентов спектральной яркости минерала сподумен [10–11] (б)

Fig. 1  
An RGB model of the Sabins' color composite [9] (a) and a characteristic curve of the spectral brightness factors of the spodumene mineral [10-11] (b)

а)



б)



**Рис. 2**  
Территория исследуемого участка (а) и цветовой композит модели Сабинса исследуемой территории (б)

**Fig. 2**  
Territory of the surveyed area (a) and the colour composite of the Sabins's model of the surveyed area (б)

сивностей отраженного света в первом коротковолновом инфракрасном диапазоне (SWIR1) и втором коротковолновом инфракрасном диапазоне (SWIR2), т.е. отношением каналов SWIR1/SWIR2.

**Результаты**

Территория исследования представлена на рис. 2, а и включает в себя лицензионные границы месторождения. Объекты земной поверхности в пределах исследуемого участка имеют уникальные спектральные характеристики, то есть отражают, поглощают или испускают энергию при определенных длинах волн. Сопоставление характеристической кривой коэффициентов спектральной яркости минерала сподумен (см. рис. 1, б) позволяют классифицировать горные породы на космических снимках, используя характеристические кривые коэффициентов спектральной яркости минерала сподумен [9; 10]. С использованием RGB-модели Сабинса [9] был получен композит яркостных аномалий (рис. 2, б) для исследуемой территории.

На рис. 2, б представлено сложное распределение яркостных аномалий. На изучаемой территории можно отметить две основные цветовые аномалии – ярко-зеленого цвета, соответствующая повышенным содержаниям желе-

за, и фиолетового цвета, соответствующая повышенным аномалиям гидроокислов (см. рис. 1, а). Именно аномалии гидроокислов в наибольшей степени соответствуют характеристическому графику сподумена (см. рис. 1, б). Кроме того, на рисунке выделяются точечные аномалии, близкие к оксидам железа.

**Выводы**

Из результатов анализа спутниковых данных в целях и задачах геологического дешифрирования минеральных узлов можно сделать следующие выводы. Спектрометрический анализ данных дистанционного зондирования из космоса показывает высокую перспективу в области геологического дешифрирования. Путем изучения спектральных характеристик объектов дистанционным методом можно получать информацию о составе, структуре и свойствах геологических образований.

Дальнейшее исследование спектрометрического анализа данных дистанционного зондирования может привести к развитию новых методов и технологий для точного определения свойств литий-тантал-ниобиевых месторождений и геологического картирования.

**Список литературы / References**

1. Хатьков В.Ю., Боярко Г.Ю. Ранжирование видов минерального сырья России по импортозависимости. *Интерэкспо Гео-Сибирь*. 2023;2(4):108–114. <https://doi.org/10.33764/2618-981X-2023-2-4-108-114>  
Khatkov V.Yu., Boyarko G.Yu. Ranking of types of mineral raw materials in Russia by import dependence. *Interekspo Geo-Sibir*. 2023;2(4):108–114. (In Russ.) <https://doi.org/10.33764/2618-981X-2023-2-4-108-114>

2. Мингалеева Р.Д. Запасы и добыча редкоземельных металлов и элементов – ключевой фактор развития возобновляемой энергетики на современном этапе трансформации мировой экономики. *Вестник университета*. 2023;(5):37–45. <https://doi.org/10.26425/1816-4277-2023-5-37-45>  
Mingaleeva R.D. Reserves and extraction of rare earth metals and elements as a key factor in the renewable energy sector development at the world economy transformation current stage. *Vestnik Universiteta*. 2023;(5):37–45. (In Russ.) <https://doi.org/10.26425/1816-4277-2023-5-37-45>
3. Кондратьев В.Б. Китай в глобальной горной промышленности. *Горная промышленность*. 2023;(3):78–87. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2023-3-78-87>  
Kondratiev V.B. China in Global Mining Industry. *Russian Mining Industry*. 2023;(3):78–87. (In Russ.) <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2023-3-78-87>
4. Кондратьев В.Б. Роль критически важных сырьевых материалов в экономике США. *Горная промышленность*. 2022;(5):121–130. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2022-5-121-130>  
Kondratiev V.B. The Role of Critical Raw Materials in US Economy. *Russian Mining Industry*. 2022;(5):121–130. (In Russ.) <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2022-5-121-130>
5. Drury S.A. *Image interpretation in geology*. London: Allen & Unwin; 1987. 243 p.
6. Sabins F.F. *Remote Sensing: Principles and interpretation*. 2<sup>nd</sup> ed. New York: Freeman; 1986. 494 p.
7. Gorelick N., Hancher M., Dixon M., Ilyushchenko S., Thau D., Moore R. Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. *Remote Sensing of Environment*. 2017;202:18–27. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.06.031>
8. Sabins F.F. Remote sensing for mineral exploration. *Ore Geology Reviews*. 1999;14(3-4):157–183. [https://doi.org/10.1016/S0169-1368\(99\)00007-4](https://doi.org/10.1016/S0169-1368(99)00007-4)
9. Gao Y., Bagas L., Li K., Jin M., Liu Y., Teng J. Newly discovered Triassic lithium deposits in the Dahongliutan area, NorthWest China: A case study for the detection of Lithium-Bearing pegmatite deposits in rugged terrains using Remote-Sensing Data and images. *Frontiers in Earth Science (Lausanne)*. 2020;8:591966. <https://doi.org/10.3389/feart.2020.591966>
10. Cardoso-Fernandes J., Silva J., Perrotta M.M., Lima A., Teodoro A.C., Ribeiro M.A. et al. Interpretation of the reflectance spectra of Lithium (Li) minerals and pegmatites: A case study for mineralogical and lithological identification in the Fregeneda-Almendra area. *Remote Sensing*. 2021;13(18):3688. <https://doi.org/10.3390/rs13183688>

#### Информация об авторах

**Камаев Артем Анатольевич** – инженер лаборатории геодинамики Геофизического центра РАН, аспирант кафедры геологии и маркшейдерского дела, Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС», г. Москва, Российская Федерация; e-mail: artemkakamaev@gmail.com

**Маневич Александр Ильич** – научный сотрудник лаборатории геодинамики Геофизического центра РАН, старший преподаватель кафедры геологии и маркшейдерского дела, Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС», г. Москва, Российская Федерация; e-mail: ai.manevich@yandex.ru

**Антошин Владислав Викторович** – директор управления по промышленной безопасности, охраны труда и охраны окружающей среды, ООО НГК «Горный», г. Москва, Российская Федерация; e-mail: antoshinVV@ngk-gornyi.ru

#### Information about the authors

**Artyom A. Kamaev** – Engineer, Laboratory of GEODYNAMICS, Geophysical Center, Russian Academy of Sciences, Postgraduate Student of the Department of the Geology and Surveying, National University of Science and Technology MISIS, Moscow, Russian Federation; e-mail: artemkakamaev@gmail.com

**Alexandr I. Manevich** – Research Scientist, Laboratory of Geodynamics, Geophysical Center, Russian Academy of Sciences, Lecturer of the Department of the Geology and Surveying, National University of Science and Technology MISIS, Moscow, Russian Federation; e-mail: ai.manevich@yandex.ru

**Vladislav V. Antoshin** – Director of Industrial Safety, Health and Environment Safety Department, NGK Gorniy LLC, Moscow, Russian Federation; e-mail: antoshinVV@ngk-gornyi.ru

#### Article info

Received: 29.03.2024

Revised: 06.05.2024

Accepted: 08.05.2024

#### Информация о статье

Поступила в редакцию: 29.03.2024

Поступила после рецензирования: 06.05.2024

Принята к публикации: 08.06.2024

# Разработка технологии проведения и крепления горной выработки в зоне тектонически-ослабленных пород

Р.Ш. Насыров<sup>1</sup>, А.В. Третьяк<sup>1</sup>, С.С. Неугомонов<sup>2</sup>, А.М. Мажитов<sup>2</sup>✉

<sup>1</sup> Донской ГОК (филиал АО «ТНК «Казхром»), г. Хромтау, Республика Казахстан

<sup>2</sup> Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, г. Магнитогорск, Российская Федерация

✉ artur.mazhitov@yandex.ru

**Резюме:** Наличие тектонически-ослабленных и нарушенных зон сопровождается снижением скорости проходки подземных выработок и безопасности ведения горных работ. Как правило, такие зоны ограничены вертикальными и субвертикальными нарушениями, способствующими ослаблению и потере устойчивости породного и рудного массива. Нарушение естественного состояния, в частности проведение горной выработки, провоцирует необратимые деформации за счет перераспределения и концентрации напряжений на приконтурный более жесткий породный массив. Причем в массиве самой тектонической зоны не образуются значительных напряжений, обусловленных его обрушением. Поэтому при разработке решений по проведению и креплению выработок в тектонической зоне породный массив должен рассматриваться как ослабленный и сильно раздробленный с несвязными структурными блоками. Гранулометрический состав породного массива тектонической зоны изменяется в широком диапазоне – от нескольких до десятка сантиметров. В связи с этим представленная в работе технология проведения и крепления выработок учитывает возможное свободное обрушение несвязного мелкоблочного вмещающего породного массива. В работе рассмотрены физико-механические характеристики напряженно-деформированного состояния горного массива тектонически-ослабленной зоны и приконтурных вмещающих пород и на основе этого предложена технология проходки и крепления подземных горных выработок.

**Ключевые слова:** тектонически-ослабленная зона, проходка выработок, устойчивость массива, комбинированная крепь, многоуровневое крепление

**Для цитирования:** Насыров Р.Ш., Третьяк А.В., Неугомонов С.С., Мажитов А.М. Разработка технологии проведения и крепления горной выработки в зоне тектонически-ослабленных пород. *Горная промышленность*. 2024;(3):126–130. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2024-3-126-130>

## Developing a technology of driving and supporting mine workings in tectonically weakened rock zones

R.Sh. Nasyrov<sup>1</sup>, A.V. Tretyak<sup>1</sup>, S.S. Neugomonov<sup>2</sup>, A.M. Mazhitov<sup>2</sup>✉

<sup>1</sup> Donskoy Mining and Processing Plant (branch of TNC KAZCHROME JSC), Khromtau, Republic of Kazakhstan

<sup>2</sup> Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russian Federation

✉ artur.mazhitov@yandex.ru

**Abstract:** Presence of tectonically weakened and disturbed zones leads to decreased underground excavation rates and reduced safety of the mining operations. As a rule, such zones are bounded by vertical and subvertical disturbances that contribute to weakening and loss of stability of the rock and ore mass. Disturbance of the natural state, in particular driving of a mine workings, provokes irreversible deformations due to redistribution and concentration of stresses within the boundary rock mass, which is more rigid. At the same time no significant stresses are formed within the rock mass of the tectonic zone due to its caving. Therefore, when developing solutions for driving and supporting mining excavations within the tectonic zone, the rock mass should be considered as weakened and highly fragmented with unbonded structural blocks. The particle-size distribution within the rock mass of the tectonic zone varies in a wide range of sized from several to tens of centimetres. In this context, the mining and rock reinforcement technology presented in this paper accounts for the possible free caving of the non-bonded host rock mass made up of small-sized blocks. The paper discusses physical and mechanical characteristics and the stress-and-strain state of the rock mass within the tectonically weakened zone and the boundary host rocks, and a technology of driving and supporting underground mine workings is proposed on this basis.

**Keywords:** tectonically weakened zone, driving of mine workings, rock mass stability, combined support, multi-tier support

**For citation:** Nasyrov R.Sh., Tretyak A.V., Neugomonov S.S., Mazhitov A.M. Developing a technology of driving and supporting mine workings in tectonically weakened rock zones. *Russian Mining Industry*. 2024;(3):126–130. (In Russ.) <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2024-3-126-130>

**Введение**

Проблема проходки и крепления подземных выработок, находящихся в тектонически-ослабленных зонах, является актуальной научно-практической задачей, направленной на обеспечение безопасности при ведении горных работ в нарушенных и неустойчивых породах. Исходя из природных геоструктурных характеристик рассматриваемых зон выбор технологии проходки и типа крепления должен учитывать следующие факторы [1–7]:

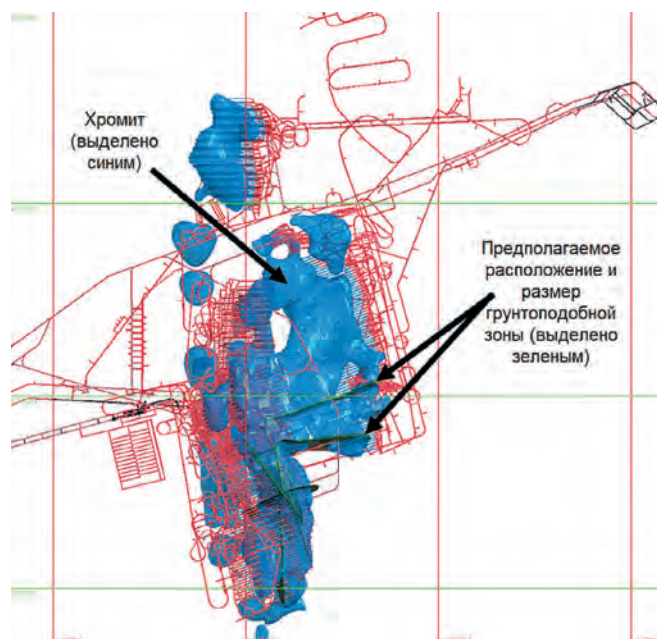
- интенсивное осыпание забоя и кровли после проходки выработки;
- кратковременное сохранение устойчивости горного массива (менее 4 ч);
- конструктивные элементы крепи испытывают нагрузку от веса обрушенного породного массива.

В качестве примера рассмотрены тектонически-нарушенные зоны в пределах рудных тел шахты Десятилетия независимости Казахстана (г. Хромтау, Казахстан). Как показано на рис. 1, зоны ограничены вертикальными и субвертикальными нарушениями, способствующими ослаблению и потере устойчивости породного и рудного массива.

**Результаты**

На основе анализа горно-геологических характеристик массива и принятых допущений разработана многоуровневая комбинированная технология крепления для обеспечения устойчивости сильнотрещиноватого несвязного (грунтоподобного) массива. Тип и состав элементов комбинированной крепи представлены в табл. 1.

Разработанная технология и конструкция представленного вида крепи увязываются с технологическим циклом проходки выработки и состоят из последовательности выполнения следующих операций и процессов. Первоначально производится бурение разведочной скважины на глубину не менее 15 м до пересечения с ослабленной зоной. Разведочное бурение выполняется для изучения и уточнения горно-геологических условий перед началом проходческих работ. На втором этапе производится непосредственно крепление, которое начинается не менее чем



**Рис. 1**  
Расположение тектонически-ослабленных зон

**Fig. 1**  
Location of the tectonically weakened zones

за 5 м до пересечения с породами тектонически-ослабленной зоны (расстояние до границы зоны определяется разведочным бурением). Крепления выполняются уровнями в следующей последовательности:

- установка фрикционных анкеров (SS46) длиной 3,0 м под углом вверх на 10–15°, представляющих собой опережающее крепление;
- установка решетчатой фермы непосредственно у груди забоя для последующего тросового крепления;
- подвигание забоя выработки на 1 м в разрыхленном массиве тектонической зоны;
- укладка слоя фиброармированного торкретбетона толщиной не менее 25 мм на груди забоя и не менее 50 мм в кровле и бортах выработки для предотвращения осыпания

**Таблица 1**  
Конструктивные параметры многоуровневой комбинированной крепи

**Table 1**  
Structural parameters of the multi-tiered combined support

Элемент крепления	Спецификации	Рекомендуемая схема и размеры крепления
Фрикционные анкеры для забивного крепления	SS46 Прочность скрепления 0,120 МН на метр Устойчивость к деформации 0,120 МН	Шаг между анкерами 0,3 м, длина 3,0 м Наклон вверх под углом 10–15°
Решетчатые фермы	4-арматурные №140 Диаметр арматуры: 20 мм	Шаг 1,0 м
Фиброармированный торкретбетон – цикл 1	Прочность на сжатие 35 МПа Кoeffициент поглощения энергии RDP на 28 день – 450 Дж	Для бортов и кровли 50 мм (минимум) Для крепления забоя 25 мм (минимум)
Сварная сетка	Диаметр 8 мм	Для крепления бортов и кровли Межосевое расстояние между квадратами 0,1 м
Фрикционные анкеры	SS46 Устойчивость к деформации 0,120 МН	Для бортов и кровли По квадратной сетке 1,0 м x 1,0 м, длина 3,0 м
Тросовые анкеры	17,8 мм Устойчивость к деформации 0,305 МН	По квадратной сетке 1,0 м x 1,0 м, длина 6,0 м Установка на высоте 1 м от почвы, привязка к решетчатым фермам
Фиброармированный торкретбетон – цикл 2	Прочность на сжатие 35 МПа Кoeffициент поглощения энергии RDP на 28 день – 450 Дж	Для бортов и кровли 100 мм (минимум)

ния горной массы. При необходимости данный вид работ производится поэтапно во время зачистки забоя;

- установка сварной сетки в кровле и бортах с помощью прижимных болтов к фрикционным анкерам SS46;

- установка тросовых анкеров в бортах и кровле выработки, которые привязываются к ранее установленным решетчатым фермам, расположенным на расстоянии 1,0 м от груди забоя;

- нанесение слоя фиброармированного торкретбетона толщиной 100 мм для изоляции головок анкеров, сетки и решетчатой фермы.

Далее цикл проходки выработки повторяется. Основным отличием от существующих способов проходки и крепления выработок является наличие решетчатых ферм, которые устанавливаются с шагом 1,0 м по мере продвижения забоя. Представленный способ крепления выработки продолжается на расстоянии 5 м после выхода из тектонически-ослабленной зоны.

Требуемые эксплуатационные характеристики разработанного способа крепления достигаются при строгом соблюдении вышеуказанной последовательности операций с регулярным проведением мониторинга состояния налегающего массива. При возведении крепи по данной технологии формируются определенные требования и рекомендации:

1. При проходке параллельных штреков для сохранения устойчивости междуштрекового целика необходимы дополнительный мониторинг деформаций горного массива и усиленное крепление выработки в зоне тектонического ослабления.

2. Проходка и крепление выработки тектонически-ослабленной зоны снижают интенсивность подготовительных работ, что должно быть учтено при составлении графика организации работ.

Исходя из физико-механических характеристик породного массива, слагающего тектонически-ослабленную зону, велика вероятность осыпания, вплоть до обрушения, несвязных разрыхленных пород в кровле и бортах выработки даже после ее проходки и крепления. В связи с этим крепление должно обеспечивать устойчивость выработки при статической нагрузке от налегающих пород. Статическая нагрузка на выработку рассчитывается по методу Терцаги [8–10], согласно которому у выработках на значительной глубине в ослабленном массиве интенсивность нагрузки на кровлю выработки оценивается по глубине арочного влияния, которая обусловлена геометрией выработки. Принцип арочного влияния заключается в способности ослабленного массива переходить в состояние самоподдерживающегося на определенной высоте над выработкой за счет сил трения, действующих по границе пород (рис. 3) [11; 12]. В физическом смысле принцип определяет способность пород над выработкой передавать свой вес на породы по обе стороны от выработки. Критерием выбора крепления на ослабленных участках является наличие достаточной опорной устойчивости для удержания подработанной породы с коэффициентом запаса равным 1,5.

С учетом результатов выполненной оценки нагрузки по методу Терцаги рекомендованы к применению следующие конструктивные элементы многоуровневого крепления:

1. Одноканатные тросовые анкеры и фрикционные анкеры типа SS46;

2. Фиброармированный торкретбетон со следующими параметрами:

- 8-часовая прочность на сжатие – 5 МПа;

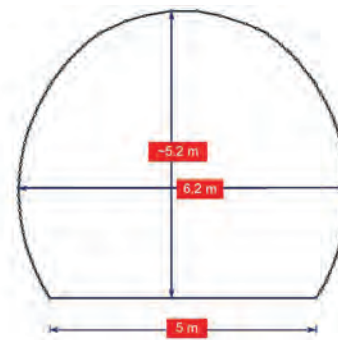


Рис. 2  
Рекомендуемая форма горной выработки

Fig. 2  
Recommended shape of the mine workings



Рис. 3  
Схема расчета нагрузок на крепь

Fig. 3  
A schematic drawing for load calculations on the rock support

- 28-суточная прочность на сжатие – 35 МПа;
- коэффициент поглощения энергии RDP на 28 суток – 450 Дж;

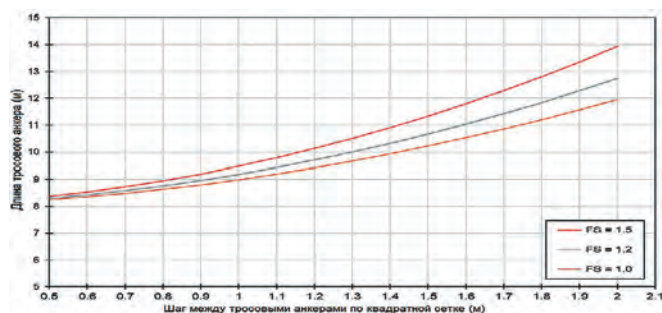
3. Сварная сетка диаметром 8 мм;

4. Решетчатые фермы – 4-арматурные №140 диаметром 20 мм.

По результатам моделирования высота разрыхленного материала рассчитывалась с учетом модификатора  $H_p_{ult}$ , равного 0,73, и составила 8 м над штреком. Для 8-метровой глубины разрыхления необходимы тросовые анкеры длиной 9,5 м с шагом 1,0 м по квадратной сетке с требуемым коэффициентом запаса 1,5. Сводный расчет параметров крепления приведен в виде графика на рис. 4. Такая длина тросовых анкеров является технологически сложной для установки, поэтому для обеспечения соответствующей расчетным параметрам нагрузки крепления пород ослабленной зоны рассматривается арочная крепь.

В качестве мер по снижению риска нарушения устойчивости выработки предлагается использовать опережающее упрочнение приконтурного массива за счет дополнительной установки радиальных фрикционных анкеров (рис. 5) с последующим нанесением фиброармированного торкретбетона <sup>1</sup>.

<sup>1</sup> Using the Q system: rock mass classification and support design. Norwegian Geotechnical Institute (NGI). 2015. NGI Publication, Oslo. 54 p. Available at: [https://www.ngi.no/globalassets/bilder/forskning-og-radgivning/bygg-og-anlegg/handbook-the-q-system-may-2015-nettutg\\_update-june-2022.pdf](https://www.ngi.no/globalassets/bilder/forskning-og-radgivning/bygg-og-anlegg/handbook-the-q-system-may-2015-nettutg_update-june-2022.pdf) (accessed: 10.02.2024).



**Рис. 4**  
Зависимость необходимой длины тросового анкера от сетки установки

**Fig. 4**  
The dependence of the required cable bolt length on the installation grid

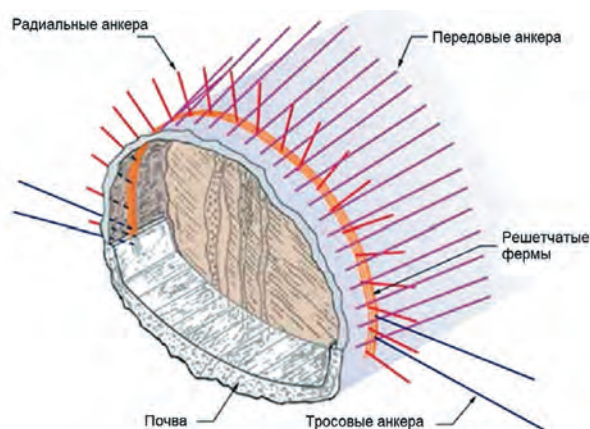
После проходки и возведения крепи в тектонически-ослабленной зоне регулярно проводится контроль качества установки крепи и определение соответствия параметров крепления и формы выработок. Положения, входящие в контроль качества, приведены в табл. 2.

**Таблица 2**  
Позиции контроля качества возведения крепи при проходке горных выработок в ослабленных и нарушенных зонах

Позиция оценки качества	Мера контроля качества
Проверка крепления	Визуальный контроль установленного крепления и глубины цикла уходки, проверка правильности выполнения рекомендаций по установке крепления и выемке
Законтурное обрушение	Мониторинг незакрепленных выработок во время выемки и зачистки забоя, а также до и во время установки крепления для определения профиля пройденной выработки и степени осыпания или показателей тектонической зоны
Качество установки крепления	Испытание выдергиванием установленных анкеров
	Испытание торкретбетона
	Мониторинг после торкретирования для сравнения с отсканированной незакрепленной поверхностью и оценки толщины слоя уложенного торкретбетона

**Рис. 5**  
Схема опережающей крепи

**Fig. 5**  
A schematic view of the advance support



### Заключение

В заключение необходимо отметить, что в вопросах по оптимальному управлению процессом проходки в сложных горнотектонических условиях обязательно учитывать обобщенные вышеприведенные мероприятия:

- допускать изменение геометрии горных выработок до полного арочного профиля;
- использовать обязательное опережающее крепление;
- уходка забоя должна быть принята не более 1,0 м;

- обязательное нанесение армированного фиброволокном торкретбетона путем набрызгивания;
- для предотвращения осыпания материала следует предусмотреть крепление забоя путем набрызгивания слоя фиброармированного торкретбетона толщиной 25 мм в каждом проходческом цикле;
- через каждые 1,0 м предполагается устанавливать решетчатые фермы.

### Список литературы / References

- Алексеев А.В., Иовлев Г.А. Влияние неоднородности массива на устойчивость проходческого забоя при строительстве метрополитена. *Международный научно-исследовательский журнал*. 2017;(8-3):6–14. <https://doi.org/10.23670/IRJ.2017.62.007>  
Alekseev A.V.I, Iovlev G.A. Influence of the inhomogeneity of the solid mass on the stability of the mine working during the construction of the subway. *Mezhdunarodnyi Nauchno-Issledovatel'skii Zhurnal*. 2017;(8-3):6–14. (In Russ.) <https://doi.org/10.23670/IRJ.2017.62.007>
- Креницын Р.В. Напряженно-деформированное состояние массива горных пород при отработке месторождений Урала. *Горная промышленность*. 2022;(5):79–82. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2022-5-79-82>  
Krinit'syn R.V. Stress-deformed state of the rock mass in the development of deposits in the Urals. *Russian Mining Industry*. 2022;(5):79–82. (In Russ.) <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2022-5-79-82>
- Кузьмин С.В., Шнайдер И.В., Кыштымов И.В. Выявление опасных зон при проходке подготовительных выработок в сложных горно-геологических условиях. *Горный журнал*. 2024;(1):45–49. <https://doi.org/10.17580/gzh.2024.01.07>  
Kuzmin S.V., Shnaider I.V., Kyshtymov I.V. Detection of hazardous zones in development headings in difficult geological conditions. *Gornyi Zhurnal*. 2024;(1):45–49. (In Russ.) <https://doi.org/10.17580/gzh.2024.01.07>

4. Левин Л.Ю., Семин М.А., Паршаков О.С. Совершенствование методов прогнозирования состояния ледопородного ограждения строящихся шахтных стволов с использованием распределенных измерений температуры в контрольных скважинах. *Записки Горного института*. 2019;237:268–274. <https://doi.org/10.31897/PMI.2019.3.274>  
Levin L.Y., Semin M.A., Parshakov O.S. Improving methods of frozen wall state prediction for mine shafts under construction using distributed temperature measurements in test wells. *Journal of Mining Institute*. 2019;237:268–274. <https://doi.org/10.31897/PMI.2019.3.274>
5. Арыстан И.Д., Абеуов Е.А., Абдрашев Р.М., Матаев А.К. Крепление горизонтальных горных выработок в условиях шахт Донского ГОКа. В кн.: Гвоздкова Т.Н. (ред.) Современные тенденции и инновации в науке и производстве: сб. материалов 8-й междунар. науч.-практ. Конф., г. Междуреченск, 3–4 апр. 2019 г. Междуреченск: Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева; 2019. С. 126.1–126.7.
6. Мажитов А.М., Пыталев И.А., Доможиров Д.В., Боровиков Е.В., Струков И.Н. Метод одностадийной проходки восстающего при одновременном формировании отрезного компенсационного пространства. *Рациональное освоение недр*. 2022;(5):46–51.  
Mazhitov A.M., Pytalev I.A., Domozhiron D.V., Borovikov E.V., Strukov I.N. Single-stage rising method with the simultaneous formation of a cutoff compensation space. *Ratsionalnoe Osvoenie Nedr*. 2022;(5):46–51. (In Russ.)
7. Лисковец А.С., Тациенко В.П., Мешков А.А. Направления развития и совершенствования тампонажной крепи. *Горная промышленность*. 2020;(2):88–93. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2020-2-88-93>  
Liskovets A.S., Tatsienko V.P., Meshkov A.A. Directions of development and improvement of grouting support. *Russian Mining Industry*. 2020;(2):88-93. (In Russ.) <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2020-2-88-93>
8. Дашко Р.Э., Каган А.А. *Механика грунтов в инженерно-геологической практике*. М.: Недра; 1977. 237 с.
9. Proctor R.V., White T.L. *Rock tunneling with steel supports with an introduction to tunnel geology*. Youngstown, Ohio; 1946. 271 p.
10. Овсяченко А.Н., Трофименко С.В., Мараханов А.В., Карасев П.С., Рогожин Е.А., Имаев В.С. и др. Детальные геолого-геофизические исследования зон активных разломов и сейсмическая опасность Южно-Якутского региона. *Тихоокеанская геология*. 2009;28(4):55–74.  
Ovsyuchenko A.N., Marakhanov A.V., Karasev P.S., Rogozhin E.A., Trofimenko S.V., Nikitin V.M. et al. Detailed geological-geophysical studies of active fault zones and the seismic hazard in the South Yakutia region. *Russian Journal of Pacific Geology*. 2009;3(4):356–373. (In Russ.) <https://doi.org/10.1134/S1819714009040046>
11. Еременко В.А., Гахова Л.Н., Лушников В.Н., Есина Е.Н., Семенякин Е.Н. Формирование зон концентрации высоких напряжений при разработке месторождений с гравитационно-тектоническим исходным напряженным состоянием массива горных пород. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2013;(9):5–16.  
Eremenko V.A., Gakhova L.N., Louchnikov V.N., Esina E.N., Semenyakin E.N. Initiation of higher stress zones in mining under gravitational tectonic stresses of the intact rock mass. *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 2013;(9):5–16. (In Russ.)
12. Козырев А.А., Семенова И.Э., Аветисян И.М. Геомеханическое обоснование выемки запасов глубоких горизонтов Кукисвумчоррского месторождения. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2017;(4):143–155.  
Kozyrev A.A., Semenova I.E., Avetisyan I.M. Geomechanical substantiation of deep-level mining at Kukisvumchorr deposit. *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 2017;(4):143–155. (In Russ.)

**Информация об авторах**

**Насыров Равиль Шаукатович** – начальник шахты «Десятилетия независимости Казахстана», Донской ГОК (филиал АО «ТНК «Казхром»), г. Хромтау, Республика Казахстан.

**Третьяк Анатолий Викторович** – начальник научно-инженерного центра Донской ГОК (филиал АО «ТНК «Казхром»), г. Хромтау, Республика Казахстан.

**Неугомонов Сергей Сергеевич** – кандидат технических наук, доцент кафедры разработки месторождений полезных ископаемых, Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, г. Магнитогорск, Российская Федерация

**Мажитов Артур Маратович** – доктор технических наук, доцент, профессор кафедры разработки месторождений полезных ископаемых, Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, г. Магнитогорск, Российская Федерация; e-mail: artur.mazhitov@yandex.ru

**Information about the authors**

**Ravil Sh. Nasyrov** – Head of the ‘10th Anniversary of Kazakhstan’s independence’ mine, Donskoy Mining and Processing Plant (branch of TNC KAZCHROME JSC), Khromtau, Republic of Kazakhstan

**Anatoly V. Tretyak** – Head of Research and Engineering Centre, Donskoy Mining and Processing Plant (branch of TNC KAZCHROME JSC), Khromtau, Republic of Kazakhstan

**Sergey S. Neugomonov** – Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor, Department of Mineral Deposits Development, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russian Federation

**Artur M. Mazhitov** – Dr. Sci. (Eng.), Professor, Department of Mineral Deposits Development, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russian Federation; e-mail: artur.mazhitov@yandex.ru

**Article info**

Received: 03.04.2024

Revised: 16.05.2024

Accepted: 18.05.2024

**Информация о статье**

Поступила в редакцию: 03.04.2024

Поступила после рецензирования: 16.05.2024

Принята к публикации: 18.05.2024

# Возможности и проблемы энергогенерации в Республике Тыва

М.П. Куликова✉, Г.Ф. Балакина

Тувинский институт комплексного освоения природных ресурсов Сибирского отделения Российской академии наук, г. Кызыл, Российская Федерация

✉ mpkulikova@mail.ru

**Резюме:** АКТУАЛЬНОСТЬ. Энергетический сектор экономики составляет основу функционирования отраслей экономики и социальной сферы. Современные технологии энергогенерации включают в себя использование угля, газа, нефти, атомных, возобновляемых источников.

**ЦЕЛЬ.** Анализ состояния энергогенерации в Республике Тыва, определение факторов развития и оптимизации ее структуры.

**РЕЗУЛЬТАТЫ.** Сделан обзор современных мировых тенденций энергогенерации в сравнении с тенденциями ее развития в России и регионах. Предложены направления диверсификации источников энергогенерации: использование наряду с углем газа как привозного, так и газа угольных пластов, возобновляемых источников энергии (солнца и ветра).

**ВЫВОДЫ.** Ориентация только на один источник энергии снижает энергетическую безопасность региона. Энергодефицит, наличие затратной дизельной генерации сдерживают экономическое развитие Республики Тыва. В республике, располагающей обширными запасами угля, угольная генерация должна переходить на использование современных технологий «чистого угля». Высокая доля ТЭЦ в структуре мощностей угольной генерации позволит развивать когенерацию с использованием инновационных природобезопасных российских технологий. Предложены варианты решения проблемы энергодефицита в Туве в перспективе до 2035 г.

**Ключевые слова:** энергогенерация, уголь, Республика Тыва, угольная генерация, диверсификация источников энергоснабжения

**Для цитирования:** Куликова М.П., Балакина Г.Ф. Возможности и проблемы энергогенерации в Республике Тыва. *Горная промышленность*. 2024;(3):131–134. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2024-3-131-134>

# Possibilities and challenges of energy generation in the Republic of Tyva

M.P. Kulikova✉, G.F. Balakina

Tuvinian Institute for Exploration of Natural Resources of Siberian Branch of Russian Academy of Sciences, Kyzyl, Russian Federation

✉ mpkulikova@mail.ru

**Abstract:** RELEVANCE. The energy sector forms the basis for functioning of other economic sectors and social services. Present-day technologies of energy generation are based on using coal, gas, oil, hydro, nuclear and renewable sources.

**PURPOSE.** Analysis of the current state of energy generation in the Republic of Tyva, identification of drivers for development and optimization of its structure.

**RESULTS.** A review is made of the current global trends in energy generation. Directions for diversifying energy generation sources are proposed, e.g. using both imported and coal seam gas as well as hydro resources along with coal.

**CONCLUSIONS.** Focusing on only one energy source reduces the energy security of the region. Energy shortages and the presence of costly diesel-based power generation hinder the economic development of the Republic of Tyva. In the republic that has extensive coal reserves, coal generation has to introduce modern “clean coal” technologies. A high share of thermal power plants in the structure of the coal-fired generation capacity will allow the development of cogeneration using innovative, environmentally friendly Russian technologies. Options for solving the challenge of energy shortage in Tuva in the future until 2035 are proposed.

**Keywords:** energy generation, coal, Republic of Tyva, coal generation, diversification of energy supply sources

**For citation:** Kulikova M.P., Balakina G.F. Possibilities and challenges of energy generation in the Republic of Tyva. *Russian Mining Industry*. 2024;(3):131–134. (In Russ.) <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2024-3-131-134>

**Введение**

Энергетический сектор экономики составляет основу функционирования отраслей экономики и социальной сферы. Динамично развивающиеся экономики стран Азиатско-Тихоокеанского региона демонстрируют быстрый рост объемов энергогенерации и диверсификацию ее источников. В настоящее время рынок электроэнергии находится в фокусе нескольких глобальных долгосрочных трендов: увеличение спроса на энергию, декарбонизация и децентрализация. Мировое сообщество развивает низкоуглеродную генерацию с диверсификацией структуры ТЭБ за счет перехода к энергетике нового поколения с высокоэффективным использованием традиционных энергоресурсов, развития ВИЭ, увеличения доли атомной энергетики и добычи нетрадиционных углеводородов.

Основными стратегическими ориентирами Энергетической стратегии России на период до 2035 г. должны стать энергетическая безопасность, энергетическая эффективность, экономическая эффективность и устойчивое развитие энергетики. При традиционной структуре генерации в РФ к 2050 г. доля низкоуглеродной генерации увеличится с 33,9 до 56,8%, угольных ТЭС сократится до 4,7%, а угольная генерация в регионах, располагающих обширными запасами угля, постепенно будет переходить на безопасную платформу с использованием сверхкритического и ультрасверхкритического параметра пара, мощных систем фильтрации и улавливания CO<sub>2</sub><sup>1</sup>.

**Развитие электрогенерации в мире и РФ**

В настоящее время в мире основным драйвером изменений в электроэнергетике является климатическая повестка, направленная на сокращение выбросов CO<sub>2</sub> в атмосферу. Анализ состояния рынка электроэнергии показал, что спрос на электроэнергию остаётся устойчивым несмотря на энергетический кризис. По производству электроэнергии РФ (1047 ТВт/ч (тераватт)) занимает 4-е место в мире, крупнейшим производителем энергии является Китай (7779 ТВт/ч). Аналитиками прогнозируется снижение доли угольной генерации (до 10%) и газа (до 12%) из-за наращивания ВИЭ и перезапуска атомной генерации в Европе, тогда как в ряде стран (Китай, Индия, Индонезия и др.) пока продолжается рост мощности угольных ТЭС с использованием современных технологий на сверхкритических параметрах пара<sup>2</sup>.

К основным факторам развития электроэнергетики в РФ относят стоимость производства энергии, экологию и климат, энергетическую безопасность, устойчивое развитие энергетики и региональное экономическое развитие. Природный газ является доминирующим топливом, выработка энергии за счёт гидрогенерации, АЭС и угольной генерации примерно одинакова, ВИЭ используется незначительно из-за их низкой эффективности в большинстве регионов и высокой стоимости производства. В энергосистему РФ, протяженную сеть с неравномерно распределенной мощностью, входит 911 электростанций со следующей структурой, ГВт: ТЭС – 163,5; ГЭС – 50,1; АЭС – 29,5; ВИЭ – 4,4 и суммарной мощностью ~ 247601,8 МВт. ТЭС работают в 73 регионах, из них «монотопливным» балансом характеризуются 45: 38 – газовые, 7 – угольные (Сибирь, Дальний Восток)<sup>3</sup>. В России функционируют около

200 ГЭС (с мощностью не менее 1 МВт), суммарная мощность малых ГЭС (МГЭС) составляет 996 МВт<sup>4</sup>, 11 АЭС, совокупная мощность объектов на основе ВИЭ ~ 4208,3 МВт<sup>5</sup>.

Обзор мировых энергетических стратегий показывает их нацеленность на повышение энергоэффективности, самообеспечение энергоресурсами, диверсификацию структуры топливно-энергетического баланса за счет развития ВИЭ и добычи нетрадиционных углеводородов<sup>6</sup>. В перспективе прогнозируется, что рост глобального электроснабжения будет обеспечиваться за счёт низкоуглеродной генерации (ВИЭ, ГЭС, АЭС) и сокращения доли ТЭС (табл. 1).

**Таблица 1**  
Производство электроэнергии по источникам (фактическое и прогнозное), %

**Table 1**  
Electricity generation by source (actual and forecast), %

Наименование	В мире [2]			В РФ [3]		
	2022	2030	2050	2022	2030	2050
ВИЭ	14	28	51	1,6	7,5	12,5
СЭС	4	12	25	1,6	7,5	12,5
ВЭС	7	13	22			
Биоэнергетика	3	3	4			
ГЭС	15	15	14	20,3	17,2	19,0

При традиционной структуре генерации в РФ к 2050 г. доля низкоуглеродной генерации увеличится с 33,9 до 56,8%, угольных ТЭС сократится до 4,7%<sup>7</sup>. Поскольку доля угольной генерации в регионах, располагающих обширными запасами угля, включая Туву, где ввод других мощностей маловероятен, останется достаточно высокой, то ее целесообразно переводить на современную экологически безопасную платформу<sup>8</sup> [1].

**Структура производства энергии в Туве**

Энергосистема Республики Тыва входит в объединенную энергосистему Сибири, граничит с энергосистемой Республики Монголия. Для электроснабжения потребителей труднодоступных территорий (с. Тоора-Хем, с. Ырбан, с. Хамсара, с. Сыстыг-Хем, с. Мугур-Аксы, с. Кызыл-Хая, с. Тоолайлыг, с. Кунгуртут, с. Балыктыг, с. Хут, с. Севи, с. Усть-Ужеп, с. Катазы, с. Качык) используются дизельные электростанции (ДЭС), их суммарная мощность ~ 5 МВт<sup>9</sup>.

Основные производители тепловой энергии в г. Кызыле – АО «Кызылская ТЭЦ» (17 МВт), работающая в режиме когенерации, государственные и муниципальные котельные и др. Недостаточная пропускная способность межсистемных связей энергосистемы, высокий износ электросетевого оборудования подстанций и линий

4 Гидроэнергетика России и зарубежных стран. Декабрь, 2022. 88 с.  
 5 ЕЭС 2023. Единая энергетическая система России. Режим доступа: <https://www.so-ups.ru/functioning/ups/ups2023/> (дата обращения: 23.03.2024).  
 6 Statistical review of world energy. 72 ed. Energy institute; 2023. 62 p.; World energy council. Available at: <https://www.worldenergy.org> (accessed: 23.03.2024).  
 7 ЕЭС 2023. Единая энергетическая система России. Режим доступа: <https://www.so-ups.ru/functioning/ups/ups2023/> (дата обращения: 23.03.2024); Схема и программа развития электроэнергетических систем России (СилПР ЭЭС) на 2024–2029 г. от 30.11.2023 №1095. Режим доступа: <https://www.so-ups.ru/future-planning/sipr-ees/> (дата обращения: 23.03.2024).  
 8 Программа развития угольной промышленности России на период до 2035 г.: Распоряжение Правительства Российской Федерации №1582-р от 13.06.2020 г. Режим доступа: <http://static.government.ru/media/files/OokX6PriWgDz4CnNAxwlyZE6zm6l52S.pdf> (дата обращения: 23.03.2024).  
 9 Об утверждении государственной программы Республики Тыва «Энергоэффективность и развитие энергетики в Республике Тыва»: Постановление Правительства Республики Тыва от 02.11.2023 №792. Режим доступа: <http://www.mintrud.tuva.ru/node/6810> (дата обращения: 23.03.2024).

1 Энергетическая стратегия России на период до 2035 г.: Распоряжение Правительства Российской Федерации № 523-р от 09.06.2020 г.  
 2 Statistical review of world energy. 72 ed. Energy institute; 2023. 62 p.  
 3 ЕЭС 2023. Единая энергетическая система России. Режим доступа: <https://www.so-ups.ru/functioning/ups/ups2023/> (дата обращения: 23.03.2024).

Таблица 2  
Структура производства энергии в Республике Тыва

Table 2  
Structure of energy generation in the Republic of Tyva

Наименование	2022 г.		2035 г.		2035 г.		2035 г.	
	Мощность, МВт	%	Экстраполяционный		Инерционный		Инновационный	
			Мощность, МВт	%	Мощность, МВт	%	Мощность, МВт	%
ВИЭ	–		–	–	0,7	1,5	1,4	2,5
ГЭС	–		–	–	–	–	–	–
МГЭС	0,015	0,03	1,0	2,0	1,0	2,2	1,2	2,1
<b>ТЭС:</b>								
Уголь:								
1. ТЭЦ	17	42,5	18,3	36,4	17,9	39,4	41,0	40,2
2. Котельные	17,435	43,6	19,5	38,7	18,7	41,1	18,3	39,3
ДЭС	5	12,5	10	19,9	5,7	12,5	6,8	12,0
Автономные гибридные энергоустановки (АГЭУ)	0,55	1,37	1,5	3,0	1,5	3,3	2,2	3,9
Итого	40,0	100,0	50,3	100,0	45,5	100,0	70,9	100,0

электропередач сетей и потери в электрических сетях, наличие затратной дизельной генерации обуславливают отставание объемов энергогенерации от потребностей экономики и социальной сферы и сдерживают социально-экономическое развитие региона.

Республика не имеет выхода к единой системе газоснабжения, авторами статьи рассмотрены и предложены пути решения проблемы обеспечения газом за счёт комплексного использования внутрирегиональных возможностей (газ из угольных пластов, потенциал подземного пожара) и использования сжиженного углеводородного газа [2]. В качестве альтернативы дизельной генерации исследователями оценена пригодность труднодоступных территорий республики для использования ветрогенераторов, дизель-солнечной электростанции на фотоэлектрических модулях при производстве энергии<sup>10</sup>. По технико-экономическим показателям (среднегодовая скорость ветра 0,8–2,3 м/с, среднемесячная солнечная инсоляция на наклонную поверхность в разрезе года) и проведённым расчётам проекты строительства ВЭС, СЭС оказались неэффективными на указанных территориях. Гидроэнергетический потенциал региона оценивается в 5,1 ГВт по мощности и 23 млрд кВт·ч по электроэнергии; при этом 96% гидроресурсов сосредоточено на реках Большого и Малого Енисея, в настоящее время функционирует МГЭС (15 кВт) на реке Барлык, приостановлена работа МГЭС на реке Чаваш (165 кВт). Республика Тыва вырабатывает 0,04 ГВт (40 МВт) – 0,07% в СФО<sup>11</sup>, остальная часть электроэнергии приобретается на оптовом рынке электроэнергии, в регионе сохраняется острая проблема энергодефицита.

Применение распределённой генерации на базе автономных гибридных энергоустановок – АГЭУ (солнечные электростанции, сопряжённые с дизель-генераторами и аккумуляторами) – одно из современных инновационных решений для объектов труднодоступных, удалённых от существующих сетей, территорий республики. В 2019 г. в сёлах Мугур-Аксы и Кызыл-Хая были введены в эксплу-

атацию две автономные АГЭУ с суммарной мощностью 550 кВт и выработкой 770 тыс. кВт·ч/год<sup>12</sup>.

В долгосрочной перспективе развитие энергетики, с нашей точки зрения, может происходить по трем вариантам: экстраполяционному, инерционному и инновационному (табл. 2), различающимся степенью использования угольной генерации и вовлечения в хозяйственный оборот возобновляемых источников энергии.

Предполагается, что инновационные разработки по технологиям применения ВИЭ сделают генерацию на их основе более рентабельной, чтократно увеличит возможности их применения. Технические параметры ДЭС и АГЭУ также будут усовершенствованы. В инновационный вариант заложена и возможность строительства и введения в эксплуатацию двух новых блоков Кызылской ТЭЦ мощностью по 12 МВт каждый, что позволит решить проблему энергодефицита. Инерционный вариант предусматривает незначительное приращение энергогенерации вследствие ограниченного внедрения новых технологий, развитие производства будет происходить за счёт применения энергосберегающих технологий и отказа от части перспективных проектов в силу дефицита энергообеспеченности.

Глубокая модернизация энергетической отрасли в Туве – насущная потребность: в регионе реализуются крупные инвестиционные проекты, быстрыми темпами вводится жильё и инфраструктура, в 2022 г. электропотребление составило 837 млн кВт·ч, максимум потребления мощности – 160 МВт. При ожидаемых темпах роста электропотребления ~ 2289 млн кВт·ч и развития новых производств в 2026–2029 гг. (Ак-Сугский ГОК (161 МВт), ООО «Лунсин» (24 МВт); ООО «Кара-Бельдир» (15 МВт), создание пункта пропуска «Хандагайты» (РФ) – «Боршоо» (Монголия) и др.) дефицит по мощности и электроэнергии представляет угрозу для энергетической безопасности региона<sup>13</sup> [3].

В связи с этим Государственной программой «Энергоэффективность и развитие энергетики в Республике Тыва на

<sup>10</sup> Схема и программа перспективного развития электроэнергетики Республики Тыва на 2023–2027 г. Режим доступа: <https://ces.rchuv.ru/news/2022/01/11/shema-i-programma-perspektivnogo-razvitiya-elektro?ysclid=lw3a59n2t4326260535> (дата обращения: 23.03.2024).

<sup>11</sup> ЕЭС 2023. Единая энергетическая система России. Режим доступа: <https://www.so-ups.ru/functioning/ups/ups2023/> (дата обращения: 23.03.2024). ЕЭС 2023. Единая энергетическая система России. Режим доступа: <https://www.so-ups.ru/functioning/ups/ups2023/> (дата обращения: 23.03.2024).

<sup>12</sup> Об утверждении государственной программы Республики Тыва «Энергоэффективность и развитие энергетики в Республике Тыва»: Постановление Правительства Республики Тыва от 02.11.2023 №792. Режим доступа: <http://www.mintrud.tuva.ru/node/6810> (дата обращения: 23.03.2024).

<sup>13</sup> Об утверждении государственной программы Республики Тыва «Энергоэффективность и развитие энергетики в Республике Тыва»: Постановление Правительства Республики Тыва от 02.11.2023 №792. Режим доступа: <http://www.mintrud.tuva.ru/node/6810> (дата обращения: 23.03.2024).

период до 2035 г.» предусматривается модернизация генерирующего оборудования в объеме 1,3 МВт на ТЭС, планируется ввод ЛЭП напряжением 110 кВ и выше протяженностью 1312,4 км, а также трансформаторной мощности. Реализацией основных пунктов программы в республике занимается компания «Россети», в 2023 г. запущен новый автотрансформатор, что повысило надежность электроснабжения г. Кызыла и районов республики; ведётся строительство линии электропередач «Туран – Туманная» по труднодоступным территориям Пий-Хемского и Тоджинского кожуунов (для электроснабжения будущего Ак-Сугского ГОКа).

Модернизация энергосистемы повысит энергобезопасность, обеспечит потребность в энергоресурсах компаний по добыче полезных ископаемых и устранил энергодефицит в электрической и тепловой мощности, объем инвестиций для решения проблем энергообеспечения оценивается в 2–2,5 млрд руб.<sup>14</sup>.

<sup>14</sup> Об утверждении государственной программы Республики Тыва «Энергоэффективность и развитие энергетики в Республике Тыва»: Постановление Правительства Республики Тыва от 02.11.2023 №792. Режим доступа: <http://www.mintrud.tuva.ru/node/6810> (дата обращения: 23.03.2024); Схема и программа перспективного развития электроэнергетики Республики Тыва на 2023–2027 г. Режим доступа: <https://ces.rchuv.ru/news/2022/01/11/shema-i-programma-perspektivnogo-razvitiya-elektro?ysclid=lw3a59n2t4326260535> (дата обращения: 23.03.2024).

**Выводы**

Ориентация только на один источник энергии снижает энергетическую безопасность региона. Энергодефицит, наличие затратной дизельной генерации сдерживают экономическое развитие Республики Тыва. Целесообразна диверсификация источников энергогенерации: расширение использование газа, который в настоящее время используется только для бытовых нужд, привлечение возобновляемых источников энергии (ветра и солнца).

В республике, располагающей обширными запасами угля, угольная генерация должна переходить на использование современных инновационных технологий «чистого угля». Высокая доля ТЭЦ в структуре мощностей угольной генерации позволит развивать когенерацию с использованием российских инновационных технологий, обеспечивающих снижение вредного воздействия на окружающую среду в соответствии с тенденциями развития энергогенерации в других странах.

**Список литературы / References**

1. Чурашев В.Н., Маркова В.М. Остаться нельзя уйти: к вопросу о развитии угольной генерации в России. *ЭКО*. 2019;49(11):63–93. <https://doi.org/10.30680/ECO0131-7652-2019-11-63-93>  
Churashev V.N., Markova V.M. Stay or leave: on coal generation prospects in Russia. *ECO*. 2019;49(11):63–93. (In Russ.) <https://doi.org/10.30680/ECO0131-7652-2019-11-63-93>
2. Куликова М.П., Балакина Г.Ф. Экологические преимущества подземной газификации углей в Республике Тува. *Экология и промышленность России*. 2018;22(10):60–65. <https://doi.org/10.18412/1816-0395-2018-10-60-65>  
Kulikova M.P., Balakina G.F. Ecological advantages of underground coal gasification in the Republic of Tuva. *Ecology and Industry of Russia*. 2018;22(10):60–65. (In Russ.) <https://doi.org/10.18412/1816-0395-2018-10-60-65>
3. Балакина Г.Ф., Куликова М.П. Исследование энергетической безопасности Республики Тува. *Региональная экономика: теория и практика*. 2012;10(37):36–41.  
Balakina G.F., Kulikova M.P. Research of power safety of the Tuva Republic. *Regional Economics: Theory and Practice*. 2012;10(37):36–41.

**Информация об авторах**

**Куликова Марина Петровна** – кандидат химических наук, старший научный сотрудник, доцент, Тувинский институт комплексного освоения природных ресурсов Сибирского отделения Российской академии наук, г. Кызыл, Российская Федерация; <https://orcid.org/0000-0003-2963-814X>; e-mail: [mpkulikova@mail.ru](mailto:mpkulikova@mail.ru)

**Балакина Галина Федоровна** – доктор экономических наук, главный научный сотрудник, Тувинский институт комплексного освоения природных ресурсов Сибирского отделения Российской академии наук, г. Кызыл, Российская Федерация; <https://orcid.org/0000-0003-2387-7190>; e-mail: [balakina.gal@yandex.ru](mailto:balakina.gal@yandex.ru)

**Информация о статье**

Поступила в редакцию: 11.03.2024  
Поступила после рецензирования: 08.05.2024  
Принята к публикации: 12.05.2024

**Information about the authors**

**Marina P. Kulikova** – Cand. Sci. (Chem.), Senior Researcher, Associate Professor, Tuvian Institute for Exploration of Natural Resources of Siberian Branch of Russian Academy of Sciences, Kyzyl, Russian Federation; <https://orcid.org/0000-0003-2963-814X>; e-mail: [mpkulikova@mail.ru](mailto:mpkulikova@mail.ru)

**Galina F. Balakina** – Dr. Sci. (Econ.), Senior Researcher, Tuvian Institute for Exploration of Natural Resources of Siberian Branch of Russian Academy of Sciences, Kyzyl, Russian Federation; <https://orcid.org/0000-0003-2387-7190>; e-mail: [balakina.gal@yandex.ru](mailto:balakina.gal@yandex.ru)

**Article info**

Received: 11.03.2024  
Revised: 08.05.2024  
Accepted: 12.05.2024

# Производство и применение оксида магния в Российской Федерации

Е.В. Пояркова✉, А.С. Махновская

Оренбургский государственный университет, г. Оренбург, Российская Федерация

✉ mmkm@mail.osu.ru

**Резюме:** В настоящей статье представлены современные, дополняющие сведения из проведенных мировыми аналитическими компаниями маркетинговых обзоров отраслевого рынка производства и применения оксида магния. Показан наблюдаемый на протяжении десятилетия устойчивый рост мирового спроса на MgO, обусловленный не только традиционными отраслями применения, но и появлением новых инновационных сфер. Мировые тенденции указывают на увеличение производства оксида магния и развитие новых технологий его извлечения. Это направление обеспечивает возможность улучшения качества продукции, повышения эффективности производства и расширения рыночных возможностей в связи с активным развитием высокотехнологичных отраслей экономики. На основании маркетинговых анализов выявляется растущая конкуренция как на мировом рынке оксида магния в целом, так и в Российской Федерации в частности, что стимулирует производителей к разработке инновационных продуктов и стратегий маркетинга для удержания и расширения своей доли на рынке. Вместе с тем в отрасли производства магнесии выявлена проявляющаяся у некоторых мировых лидеров потенциальная нестабильность из-за новых экологических требований, обуславливающих ограничения в производстве, что может повлечь за собой проблемы в поставках по всему миру.

**Ключевые слова:** оксид магния, магнесия, производство оксида магния, промышленное применение оксида магния, области потребления оксида магния, спрос оксида магния, мировой рынок оксида магния

**Для цитирования:** Пояркова Е.В., Махновская А.С. Производство и применение оксида магния в Российской Федерации. *Горная промышленность*. 2024;(3):135–138. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2024-3-135-138>

## Production and utilization of magnesium oxide in the Russian Federation

E.V. Poyarkova✉, A.S. Makhnovskaya

Orenburg State University, Orenburg, Russian Federation

✉ mmkm@mail.osu.ru

**Abstract:** This article presents up-to-date, complementary information from the marketing reviews of the industry for the production and use of magnesium oxide conducted by global analytical companies. It shows a steady growth in the global demand for MgO, observed over the past decade and driven not only by the traditional industries, but also by emerging innovative areas. Global trends indicate an increase in the production of magnesium oxide and the development of new technologies for its extraction. This area provides an opportunity to improve the product quality, increase production efficiency and expand market opportunities due to the active development of high-tech sectors of the economy. Based on marketing analyses, growing competition is revealed both in the global magnesium oxide market in general and in the Russian Federation in particular, which encourages manufacturers to develop innovative products and marketing strategies to retain and expand their share in the market. At the same time, a potential instability has been identified in the magnesia industry, manifested in some world leaders, due to the new environmental requirements that cause restrictions in production, which may lead to problems in supplies around the world.

**Keywords:** magnesium oxide, magnesia, magnesium oxide production, industrial applications of magnesium oxide, consumption areas for magnesium oxide, demand in magnesium oxide, global market of magnesium oxide

**For citation:** Poyarkova E.V., Makhnovskaya A.S. Production and utilization of magnesium oxide in the Russian Federation. *Russian Mining Industry*. 2024;(3):135–138. (In Russ.) <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2024-3-135-138>

**Введение**

Среди всех соединений магния оксид магния (MgO) выделяется как наиболее востребованный. Он существует в различных видах, каждый из которых обладает уникальными характеристиками и промышленным применением, обусловленным двумя основными факторами: режимом термической активации исходного сырья и процентным содержанием MgO.

Требования, предъявляемые к товарному оксиду магния на мировом рынке, связаны с областями его применения, такими как: огнеупорные материалы (28%), резинотехнические изделия (24%), строительные материалы (15%), буровые растворы (10%), металлургия (8%), химическая отрасль (7%), пищевая медицина (5%) и прочее (3%).

**Мировые тенденции производства оксида магния**

В настоящее время наибольшие объемы магнезии потребляет огнеупорная промышленность [1–3]. Также известны области применения соединений магния в качестве нетрадиционного сырья для изготовления различных строительных материалов, в том числе строительной облицовочной керамики, тепло- и звукоизоляционных материалов, пигментов [4]. Но с активным развитием высокотехнологичных отраслей экономики – авиа-, ракетостроения, автомобильной и нефтяной промышленности, мировой спрос на оксид магния будет постоянно расти. Так, в 2019 г. объем продаж на рынке MgO составлял 4757,7 млн долл. с ежегодным ростом на 6,5%, а к 2022 г. продажи увеличились на 990 млн долл., что свидетельствует о росте спроса на оксид магния как продукта потребления.

Выручка от продаж на мировом рынке магния в 2024 г. составит 5121,2 млн долл., при этом годовой темп роста производства соединений магния в период с 2024 по 2031 г. может варьироваться следующим образом: в Северной Америке – в пределах 3,8%, в Южной Америке – 5,0%, в Европе – 4,1%, в Азиатско-Тихоокеанском регионе – 7,6%, на Ближнем Востоке и в Африке – 5,3%<sup>1</sup>.

Согласно маркетинговому обзору отраслевого рынка, выполненному компанией Mordorintelligence<sup>2</sup>, на мировом рынке нанопорошков оксида магния спрос тоже будет возрастать с предпологаемым среднегодовым темпом роста более 8% в течение прогнозируемого периода (до 2028 г.). Основными факторами такого роста являются увеличение мирового спроса на топливные присадки и спрос из сегмента электроники. Вместе с тем более высокая стоимость производства эффективных топливных присадок, вероятно, будет препятствовать росту рынка, но постоянно растущий спрос на огнеупорные материалы, напротив, способствует росту рынка в ближайшие годы. Ожидается, что Азиатско-Тихоокеанский регион проявит доминирование на рынке производства и потребления порошков из MgO, и в ближайшее время будет наблюдаться самый высокий совокупный среднегодовой темп роста.

Лидирующий производитель на мировом рынке магнезии – Китай, который к тому же выполняет функции ос-

новного экспортера во многие страны. На втором месте по объемам производства MgO находится Российская Федерация, однако по сравнению с Китаем в ней получают практически в 10 раз меньше магнезии. Замыкает тройку лидеров Турция, в которой производят оксида магния в 17,3 раз меньше, чем в Китае, и в 1,59 раз меньше, чем в России. На четвертом месте стоит Бразилия, где в отличие от стран-лидеров имеются также возможность и опыт производить MgO из жидкого магнезиального сырья. Достаточно большую долю мирового производства MgO занимает его получение из морской воды и рассолов и составляет более 15% общего объема в мире.

США находятся на 6-й позиции в мировом рейтинге производителей MgO, где в качестве исходного материала используют только каустическую и мертво-обожженную магнезию, полученную из морской воды, при мощности производства 434 тыс. т/год. По оценке Геологической службы США на долю Японии, Нидерландов и США в настоящее время приходится 56% мирового производства магнезиальных порошков из морской воды [5].

В ближайшее время мировое лидерство в отрасли производства магнезии может измениться. Складывающаяся ситуация связана с новыми экологическими требованиями в мире в целом и в Китае в частности. К примеру, осенью 2021 г. власти ряда провинций Китая вынужденно перешли на сокращение потребления электроэнергии, чтобы соответствовать необходимым показателям. Последствием экологической политики стали продолжительные отключения электричества, приводящие к перебоям в работе предприятий, связанных с добычей и производством магния. Поскольку Китай производит около 90% мирового объема MgO, то любое ограничение его получения скажется на всей цепочке поставок и в высокой степени отразится на Европейском союзе, где большую долю используемого магния страны получают из Китая.

В 2018 г. мировой рынок оксида магния оценивался примерно в 4,14 млрд долл. США, в 2020 г. – в 4,6 млрд долл. США, а в 2022 г. уже в 5,13 млрд долл. США. По прогнозам, к 2025 г. его мировая рыночная стоимость вырастет примерно до 5,98 млрд долл. США, а к 2030 г. достигнет 7,55 млрд долл. США. Между тем в 2022 г. объем рынка оксида магния составил около 15,18 млн метрических тонн<sup>3</sup>.

Данные также свидетельствуют о текущих тенденциях роста производства и потребления продуктов из магний-содержащего сырья не только на уровне стран, но и ключевых регионов<sup>4</sup>. Так, по мнению старшего аналитика Manoj Phagare компании Cognitive Market Research: «В 2023 г. сегмент магнезита занимал заметную долю мирового рынка магния и, по прогнозам, в ближайшем будущем он будет значительно расти. Некоторые из ключевых компаний Nippon Kinzoku Co Ltd. (Япония), Alliance Magnesium Inc (Канада) и другие сосредоточены на своей модели построения стратегии для укрепления своего портфеля продуктов и расширения своего бизнеса на мировом рынке»<sup>5</sup>.

<sup>3</sup> Market volume of magnesium oxide worldwide from 2015 to 2022, with a forecast for 2023 to 2030: market review. Available at: [https://translated.turbopages.org/proxy\\_u/en-ru.ru.461282a9-6626710a-3b9ff7e0-74722d776562/https/www.statista.com/statistics/1310514/magnesium-oxide-market-volume-worldwide/?\\_\\_ya\\_mt\\_enable\\_static\\_translations=1](https://translated.turbopages.org/proxy_u/en-ru.ru.461282a9-6626710a-3b9ff7e0-74722d776562/https/www.statista.com/statistics/1310514/magnesium-oxide-market-volume-worldwide/?__ya_mt_enable_static_translations=1) (accessed: 20.04.2024).

<sup>4</sup> Magnesium Market Report 2024 (Global Edition): market review. 2023. Available at: <https://www.cognitivemarketresearch.com/magnesium-market-report> (accessed: 20.04.2024).

<sup>5</sup> Magnesium Market Report 2024 (Global Edition): market review. 2023. Available at: <https://www.cognitivemarketresearch.com/magnesium-market-report> (accessed: 20.04.2024).

<sup>1</sup> Magnesium Market Report 2024 (Global Edition): market review. 2023. Available at: <https://www.cognitivemarketresearch.com/magnesium-market-report> (accessed: 20.04.2024).

<sup>2</sup> Magnesium Oxide Nanopowder Market: Growth, Trends, Impact covid-19 and Forecasts (2023–2028): market review. India: Telangana. 2023. Available at: <https://www.mordorintelligence.com/ru/industry-reports/magnesium-oxide-nano-powder-market> (accessed: 20.04.2024).

Наращиванию выпуска оксидов магния в России способствовал возросший спрос со стороны иностранных потребителей. Так, только за 2019 г. экспортеры вывезли за пределы РФ на 10 тыс. т оксидов магния больше, чем в 2018 г., доведя значение экспорта до 155 тыс. т, что поставило Россию в пятерку мировых лидеров по объемам поставок, при этом ежегодно объем экспорта возрастает.

### Производство магнезии в Российской Федерации

Практическая значимость магнезиальных пород и продуктов их переработки определяется широким использованием в различных отраслях промышленности [4]. Основными производителями и поставщиками MgO в Российской Федерации являются следующие организации:

– ООО «Вязьма-брусит» (Смоленская область) занимается разработкой единственного в РФ месторождения брусита, с запасами около 8 млн т при годовой добыче более 450 тыс. т и производстве готовой продукции более 310 тыс. т/год;

– АО «Боровичский комбинат огнеупоров» (Новгородская область) не имел своих месторождений. Однако в апреле 2022 г. информационное агентство АО «Интерфакс-Поволжье» опубликовало сведения, что Боровичский комбинат огнеупоров приобрел 50% акций АО «Литосфера» (Оренбургская область), занимающегося разработкой серпентинито-магнезитового месторождения с добычей магнезита более 40 тыс. т/год и продажей соответствующей продукции;

– ООО «Группа «Магнезит»» имеет две промышленные площадки – Саткинское (Челябинская область) и Красноярское (Красноярский край) производства. Группа «Магнезит» разрабатывает Ельничное месторождение в Сатке (Челябинская область), где за 2021 и 2022 гг. было добыто порядка 338 тыс. т магнезита. Общий объем добычи сырого магнезита компании достигает 1,6 млн т/год<sup>6</sup>;

– АО «НикоМаг» (Волгоградская область) ведёт разработку месторождения методом скважинного выщелачивания. Компанией организовано современное производство оксида и гидроксида магния мощностью 30 и 25 тыс. т/год соответственно из бишофита с объемом добычи исходного сырья более 60 тыс. т/год;

– ООО «Михайловский завод химических реактивов» (Алтайский край) производит выпуск товарного химически осажденного оксида магния, при этом в качестве сырья используется попутная магнезитная руда [2]. Производственные мощности предприятия по суспензии гидроксида магния составляют 150 т/мес. или около 1,8 тыс. т/год;

– Богдановичское ОАО «Огнеупоры» (Свердловская область). В наименования выпускаемой продукции предприятия входят магнезиальные неформованные огнеупорные материалы, которых за первые 6 месяцев 2023 г. было выпущено 1503 т (при 1526 т в 2022 г. за аналогичный период)<sup>7</sup>.

Согласно статистике внешней торговли РФ объём импорта прочих оксидов магния, с примесями или без при-

месей, в Россию за 2020 г. составил 61,83 млн долл. при массе груза 82,14 тыс. т. РФ импортирует MgO с мирового рынка с выраженной (30,11%) сезонностью. До 2022 г. максимум ввоза приходился на январь, минимум – на сентябрь<sup>8</sup>.

Распределение импорта среди крупнейших стран-поставщиков прочих оксидов магния в РФ за 2020 г. было следующим: Китай (доля по стоимости – 68,28%, доля по массе – 67,04%), Словакия (9,00% стоимости, 18,18% массы), Нидерланды (7,99% стоимости, 7,05% массы)<sup>9</sup>.

По данным таможенной выписки, лидирующими областями промышленности, потребляющими импортный MgO, остаются огнеупорная и металлургическая промышленности<sup>10</sup>. Огнеупорные компании используют материал устойчивый к H<sub>2</sub>O и CO<sub>2</sub>; с этой целью оксид магния обжигают до полного спекания и перехода к другой модификации. Именно такой мертво-обожженный MgO в большем объеме и поставляется из-за рубежа (около 79%).

Необходимо отметить, что растущее потребление MgO сталкивается с ограниченными возможностями добычи природного магнезитового сырья. В связи с этим возникла острая необходимость использовать альтернативные техногенные источники сырья, однако такое извлечение MgO сопряжено с рядом проблем [6; 7]. Низкое содержание MgO и его химическая связь с другими соединениями по сравнению с природными источниками приводят к низкой степени извлечения, что делает такие технологии нерентабельными. Поэтому, оценивая возможность организации производства по получению MgO, необходимо учитывать все параметры, влияющие на рентабельность и экономический эффект, такие как: стоимость исходного сырья; выход готового продукта и его качество; тепловые и энергетические затраты; доступность сырья; продолжительность процесса и другие [7]. Стало быть, разработка экономически эффективных и экологически безопасных методов извлечения оксида магния из различных видов сырья останется актуальной задачей для промышленности в ближайшем времени.

### Выводы

Мировое использование оксида магния играет ключевую роль в промышленных процессах различных отраслей, а его извлечение из сырья представляет собой важный этап в промышленном цикле. Готовый продукт MgO находит широкое применение в металлургии, строительстве, химической промышленности, сельском хозяйстве, фармацевтике и косметологии.

Статистика потребления MgO в промышленности зависит от различных факторов, а наибольший спрос наблюдается на крупных рынках, таких как Китай, Россия, Бразилия, США, Индия и Европейский союз.

Уникальные свойства и характеристики MgO позволяют не только расширить традиционные области применения, но и открывают новые перспективы для развития и улучшения различных промышленных процессов.

8 Таможенная выписка: данные по коду товарной номенклатуры внешнеэкономической деятельности Евразийского экономического союза ТН ВЭД 2519901 за период с 01.01.2018 по 31.07.2019.

9 Таможенная выписка: данные по коду товарной номенклатуры внешнеэкономической деятельности Евразийского экономического союза ТН ВЭД 2519901 за период с 01.01.2018 по 31.07.2019.

10 Таможенная выписка: данные по коду товарной номенклатуры внешнеэкономической деятельности Евразийского экономического союза ТН ВЭД 2519901 за период с 01.01.2018 по 31.07.2019.

6 Группа Магнезит разрабатывает Ельничное месторождение в Сатке: пресс-релиз Министерства промышленности, новых технологий и природных ресурсов Челябинской области Российской Федерации. Режим доступа: <https://minprom.gov74.ru/minprom/news/view.htm?id=10831873> (дата обращения: 11.10.2022).

7 Годовой отчет эмитента эмиссионных ценных бумаг Богдановичского ОАО «Огнеупоры» за 6 месяцев 2023 года. Режим доступа: <https://www.e-disclosure.ru/portal/company.aspx?id=2665> (дата обращения: 22.04.2024).

## Список литературы / References

1. Масалимов А.В., Смирнов А.Н., Орехова Н.Н., Гришин И.А. Состояние сырьевой базы для обнаружения перспективных источников получения оксида магния в процессах обогащения. *Вестник Забайкальского государственного университета*. 2021;27(3):16–25. <https://doi.org/10.21209/2227-9245-2021-27-3-16-25>  
Masalimov A.V., Smirnov A.N., Orekhova N.N., Grishin I.A. The raw material base for the discovery of magnesium oxide production promising sources in the beneficiation processes. *Transbaikal State University Journal*. 2021;27(3):16–25. (In Russ.) <https://doi.org/10.21209/2227-9245-2021-27-3-16-25>
2. Осадченко И.М., Лябин М.П., Романовская А.Д. Оксид магния: свойства, методы получения и применения (аналитический обзор). *Природные системы и ресурсы*. 2018;8(3):5–14. <https://doi.org/10.15688/nsr.jvolsu.2018.3.1>  
Osadchenko I.M., Lyabin M.P., Romanovskaya A.D. Magnesium oxide: Properties, methods of preparation and application (analytical review). *Natural Systems and Resources*. 2018;8(3):5–14. (In Russ.) <https://doi.org/10.15688/nsr.jvolsu.2018.3.1>
3. Щербаклова Т.А., Шевелев А.И. Сырьевая база магнезита России и перспективы её развития. *Георесурсы*. 2016;18(1):75–78. <https://doi.org/10.18599/grs.18.1.14>  
Scherbakova T.A., Shevelev A.I. Magnesite raw material base of Russia and prospects of its development. *Georesursy*. 2016;18(1):75–78. (In Russ.) <https://doi.org/10.18599/grs.18.1.14>
4. Климовская Е.Е., Фролов П.В., Ильина В.П., Иванов А.А. Оценка минерально-сырьевого потенциала магнезиальных пород республики Карелия. *Труды Карельского научного центра Российской академии наук*. 2020;(6):36–57. <https://doi.org/10.17076/them1260>  
Klimovskaya E.E., Frolov P.V., Ilyina V.P., Ivanov A.A. Assessment of the mineral resource potential of high-magnesian rocks of the republic of Karelia. *Transactions of the Karelian Research Centre of the Russian Academy of Sciences*. 2020;(6):36–57. (In Russ.) <https://doi.org/10.17076/them1260>
5. Пальгова А.Ю. Обзор мировых запасов магнезиального сырья. *Молодой ученый*. 2015;(3):193–196. Режим доступа: <https://moluch.ru/archive/83/15216/> (дата обращения: 19.03.2024).  
Palgova A.Yu. Review of world reserves of magnesia raw. *Molodoy ucheniy*. 2015;(3):193–196. Available at: <https://moluch.ru/archive/83/15216/> (accessed: 19.03.2024).
6. Смирнов А.Н., Великанов В.С., Гришин И.А., Масалимов А.В. Изучение возможности переработки отходов обогащения магнезита с получением высокоактивной магнезии. *Горная промышленность*. 2018;(6):83–85. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2018-6-142-83-85>  
Smirnov A.N., Velikano V.S., Grishin I.A., Masalimov A.V. Studying the opportunities of reprocessing of magnesite processing wastes with the recovery of high potent magnesia. *Russian Mining Industry*. 2018;(6):83–85. (In Russ.) <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2018-6-142-83-85>
7. Аяшева А.С., Пояркова Е.В. Извлечение оксида магния при выщелачивании магнезиального сырья с использованием угольной кислоты. *Башкирский химический журнал*. 2023;30(2):89–96. <https://doi.org/10.17122/bcj-2023-2-89-96>  
Ayasheva A.S., Poyarkova E.V. Extraction of magnesium oxide during the leaching of magnesian raw with the use of carbonic acid. *Bashkir Chemistry Journal*. 2023;30(2):89–96. (In Russ.) <https://doi.org/10.17122/bcj-2023-2-89-96>

**Информация об авторах**

**Пояркова Екатерина Васильевна** – доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой механики материалов, конструкций и машин, Оренбургский государственный университет, г. Оренбург, Российская Федерация; <https://orcid.org/0000-0001-9170-5636>; e-mail: mmkm@mail.osu.ru

**Махновская Ангелина Сергеевна** – аспирант кафедры механики материалов, конструкций и машин, Оренбургский государственный университет, г. Оренбург, Российская Федерация; e-mail: kalmykova.a.c@yandex.ru

**Information about the authors**

**Ekaterina V. Poyarkova** – Dr. Sci. (Eng.), Associate Professor, Head of the Department of Mechanics of Materials, Structures and Machines, Orenburg State University, Orenburg, Russian Federation; <https://orcid.org/0000-0001-9170-5636>; e-mail: mmkm@mail.osu.ru

**Angelina S. Makhnovskaya** – Postgraduate Student of the Department of Mechanics of Materials, Structures and Machines, Orenburg State University, Orenburg, Russian Federation; e-mail: kalmykova.a.c@yandex.ru

**Информация о статье**

Поступила в редакцию: 10.04.2024

Поступила после рецензирования: 13.05.2024

Принята к публикации: 19.05.2024

**Article info**

Received: 10.04.2024

Revised: 13.05.2024

Accepted: 19.05.2024

# Вопросы внедрения аналитических систем больших данных и других достижений цифровизации для повышения эффективности бизнеса горнодобывающих компаний

А.М. Балашов ✉

Новосибирский государственный педагогический университет, г. Новосибирск, Российская Федерация

✉ Ltha1@yandex.ru

**Резюме:** В настоящее время цифровизация и широкое внедрение цифровых технологий значительно меняют деятельность людей во многих сферах. Цифровые технологии обеспечивают автоматизацию бизнес-процессов, управление данными, аналитику, поддерживают принятие стратегических решений и диктуют необходимость внедрения новых подходов к ведению бизнеса для повышения его эффективности и рентабельности, а также обеспечения устойчивости развития компаний в современных условиях. Особо следует сказать о внедрении технологий обработки и анализа больших данных и других достижений «Индустрии-4.0» в горнодобывающей промышленности.

Применение аналитических систем больших данных в современном производстве, в том числе и в горной промышленности, обеспечивает комплексный подход к обработке и анализу большого количества информации, а также предоставляет организациям значительные преимущества, отражающиеся на различных уровнях управления и принятия стратегических решений. Перспективы внедрения и развития данных цифровых решений выглядят в настоящее время весьма обнадеживающими. Эффективное управление этими процессами предоставляет компаниям значительные возможности и преимущества, позволяя повысить конкурентоспособность, оптимизировать использование ресурсов и увеличить эффективность бизнеса в целом.

**Ключевые слова:** цифровая трансформация, технологии обработки и анализа больших данных, операционные расходы, горнодобывающая промышленность

**Для цитирования:** Балашов А.М. Вопросы внедрения аналитических систем больших данных и других достижений цифровизации для повышения эффективности бизнеса горнодобывающих компаний. *Горная промышленность*. 2024;(3):139–142. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2024-3-139-142>

## Issues related to implementation of big data analytical systems and other digitalization achievements to improve the business efficiency of mining companies

A.M. Balashov ✉

Novosibirsk State Pedagogical University, Novosibirsk, Russian Federation

✉ Ltha1@yandex.ru

**Abstract:** Currently, digitalization and widespread adoption of digital technologies are significantly changing people's activities in many areas. Digital technologies provide automation of business processes, data management, analytics, they support strategic decision-making and dictate the need to introduce new approaches to doing business in order to increase its efficiency and profitability, as well as to ensure sustainability of companies' development in modern conditions. It needs to be especially mentioned how the big data processing and analysis technologies and other Industry 4.0 achievements are introduced in the mining industry.

The use of big data analytical systems in modern production, including the mining industry, provides an integrated approach to processing and analyzing a large amount of information. It also provides organizations with significant advantages reflected at various levels of management and strategic decision-making. The prospects for implementation and development of these digital solutions currently look very encouraging. Effective management of these processes provides companies with significant opportunities and advantages, allowing them to increase competitiveness, optimize the use of resources and increase the efficiency of their business as a whole.

**Keywords:** digital transformation, big data processing and analysis technologies, operating costs, mining industry

**For citation:** Balashov A.M. Issues related to implementation of big data analytical systems and other digitalization achievements to improve the business efficiency of mining companies. *Russian Mining Industry*. 2024;(3):139–142. (In Russ.) <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2024-3-139-142>

**Введение**

В настоящее время цифровизация и широкое внедрение цифровых технологий значительно меняют деятельность людей во многих сферах. Цифровые технологии обеспечивают автоматизацию бизнес-процессов, управление данными, аналитику, поддерживают принятие стратегических решений и диктуют необходимость внедрения новых подходов к ведению бизнеса для повышения его эффективности и рентабельности, а также обеспечения устойчивости развития компаний в современных условиях.

В промышленности все более широко говорят о переходе к «Индустрии 4.0». Этот переход подразумевает внедрение следующих ключевых компонентов, которые существенно модернизируют производственные процессы [1, с. 49]:

- обработка больших данных, применение возможностей нейросетей и искусственного интеллекта;
- цифровая и дополненная реальность, которые значительно повышают эффективность многих технологических процессов;
- концепция Интернета вещей, организующая движение информации между некоторыми физическими объектами, имеющими необходимое технологическое оснащение;
- технология роботизации, которая замещает ручной труд в некоторых технологических процессах;
- облачные технологии, дающие возможности сбора и хранения информации, минуя физические носители.

**Результаты**

Индустрия 4.0 представляет собой цифровую трансформацию производства, и внедрение ее достижений позволяет обеспечить такие выгоды и возможности, как увеличение конкурентоспособности компаний, повышение производительности труда, автоматизация и оптимизация бизнес-процессов, снижение операционных расходов, улучшение условий труда и др. В контексте горной промышленности основной целью реализации данного направления является повышение производительности. В частности, сформулирована стратегическая цель достижения роста указанного показателя в пять раз, а также улучшения ключевых экологических критериев как минимум в 2–3 раза [2, с. 209]. Кроме того, возможности цифровой трансформации могут в некоторой степени нивелировать тенденции повышения операционных расходов в горнодобывающей промышленности, которая наблюдается в последние десятилетия. Согласно оценкам экспертов в этой области за последнее десятилетие увеличение данного показателя составило порядка 90%.

Основные составляющие управления в этой перспективе включают в себя совершенствование и цифровую трансформацию технологических процессов с целью достижения максимальных результатов использования горнотранспортных средств и технологического оборудования. Горнодобывающие предприятия активно продолжают работать над повышением уровня прозрачности, возможностью оперативных ответных действий и усилением технологического контроллинга с использованием возможностей анализа информации. Согласно ожиданиям количество горнодобывающих предприятий, применяющих цифровые решения в сфере анализа информации, должно вырасти как минимум на треть [3, с. 31].

В европейских странах в течение длительного времени

осуществляется активное создание специальных цифровых решений, которые позиционируются как «Горно-геологические информационные системы» (ГИС). Они находят все более широкое применение в горнодобывающей индустрии. Существенное влияние на данный процесс оказало распространение ИКТ-технологий, программных продуктов и расширение инструментов программирования. Данные разработки пришли в нашу страну два десятилетия назад, при этом некоторые из них активно эксплуатируются на сегодняшний день горнодобывающими компаниями, геологоразведочными организациями, проектными и исследовательскими фирмами.

Одним из известных представителей горно-геологических информационных систем является ГИС MINEFRAME. Структурные компоненты и функциональные характеристики ГИС MINEFRAME обеспечивают возможность разработки компьютерных систем для инженерного сопровождения работ на открытых и в подземных горных объектах, которые могут адаптироваться к особенностям каждой горнодобывающей компании. Практически это означает формирование унифицированного виртуального окружения, способного в будущем поддерживать внедрение автоматизированных технологий в горнодобывающей индустрии [4, с. 64].

В рамках системного подхода, базирующегося на имитационных технологиях, комплексная технологическая система выступает в виде взаимосвязанных компонентов, которые моделируют характеристики физических аналогов. Это наиболее ярко видно при выполнении задачи проектирования подземных работ на участках с высоким напряжением. Здесь важно отметить, что технические решения обязаны подвергаться геомеханической оценке за счет наличия значительных рисков.

Идея, которая реализована с помощью инструментов описываемой информационной системы, состоит в применении итерационного подхода для выявления наилучшего технологического решения. Этот метод подразумевает перебор альтернативных вариантов с учетом показателя напряженно-измененного статуса горных образований. Итоги определения данного показателя можно представить графически при помощи модуля GEOTECH-3D, что предоставляет дополнительные данные для более глубокой аналитики. По завершении комплекса итераций выявляется экономически эффективная альтернатива, которая гарантирует безопасное осуществление производственных процессов. Также стоит отметить, что в процессе планирования работ итоги, представленные в GEOTECH-3D как участки микроразрушений, дают возможность определить реакцию горных образований на приложенные действия [5, с. 27].

Опыт эксплуатации ГИС MINEFRAME на объектах отечественных горнодобывающих предприятий показывает ее способность эффективно адаптироваться под различные горно-геологические условия и объемы выполняемых работ. В настоящее время данная информационная система успешно внедрена на более чем 500 автоматизированных рабочих местах предприятий горной промышленности. Также необходимо отметить, что применение информационной системы MINEFRAME покрывает значительный спектр научных и коммерческих задач, в частности, в области аргументации применения определенных технологий выполнения открытых и подземных работ. Это включает в себя анализ технико-экономических аспектов методов добычи природных ресур-

сов. Реализация данных задач способствует расширению возможностей MINEFRAME, которая в настоящее время включает в себя более 200 инструментов для автоматизации многих аспектов геотехнологических процессов.

Особо следует сказать о внедрении технологий обработки и анализа больших данных в горной промышленности. Аналитические системы больших данных представляют собой комплексные информационные платформы, разработанные для эффективной обработки, анализа и интерпретации больших объемов данных, которые обычные методы неспособны эффективно обработать [6]. Основной целью таких систем является извлечение ценной информации из множества неструктурированных или слабоструктурированных данных, чтобы поддерживать принятие обоснованных решений в реальном времени.

Характеристики аналитических систем больших данных включают в себя следующее:

1. Масштабируемость. Эти системы спроектированы для обработки огромных объемов данных, растущих в объеме и сложности. Их архитектура предоставляет возможность масштабирования по объему данных без потери производительности.

2. Обработка в реальном времени. Аналитические системы больших данных обеспечивают способность обрабатывать данные немедленно, что позволяет компаниям быстро реагировать на изменяющиеся условия рынка и оперативно принимать стратегические решения.

3. Поддержка разнообразных данных. Эти системы предоставляют инструменты для работы с различными типами данных, включая текст, изображения, видео, структурированные и неструктурированные данные.

4. Методы анализа и машинного обучения. Аналитические системы больших данных интегрируют методы анализа данных и машинного обучения для выявления паттернов, трендов и закономерностей в больших объемах информации.

5. Интеграция и хранение данных. Системы предоставляют средства для интеграции данных из различных источников и обеспечивают их хранение в удобном и доступном формате.

6. Гибкость и настраиваемость. Аналитические системы должны быть гибкими и легко настраиваемыми под конкретные потребности предприятия, позволяя аналитикам создавать персонализированные отчеты и аналитические инструменты [6].

Применение аналитических систем в современном производстве, в том числе и в горной промышленности, предоставляет организациям значительные преимущества, отражающиеся на различных уровнях управления и принятия стратегических решений. Одним из основных преимуществ является улучшение качества принятия решений благодаря возможности анализа больших объемов данных. Эти системы обеспечивают комплексный анализ информации, что позволяет выявлять тенденции, паттерны и важные зависимости, положительно влияя на точность и обоснованность стратегических шагов.

Еще одним существенным преимуществом является способность предоставлять в реальном времени актуальную информацию для поддержки оперативных решений. Аналитические системы обеспечивают мгновенный доступ к данным, что позволяет бизнес-лидерам оперативно реагировать на изменяющиеся условия рынка, минимизировать риски и максимизировать возможности.

Другим важным преимуществом является повышение

эффективности бизнес-процессов. Аналитические системы автоматизируют процессы анализа данных, сокращая время, затрачиваемое на получение информации, и обеспечивая более эффективное использование ресурсов компании. Это также содействует улучшению общей операционной производительности.

Кроме того, аналитические системы играют важную роль в выявлении новых бизнес-возможностей. Анализ данных позволяет выявлять неочевидные тенденции, рыночные пробелы и потребности клиентов, способствуя более инновационному подходу к развитию продуктов и услуг [7]. Таким образом, использование аналитических систем становится стратегическим преимуществом, обеспечивающим более осознанный и эффективный управленческий подход в современном бизнесе.

Технологии обработки и анализа больших данных представляют собой ключевой аспект современной информационной архитектуры, ориентированной на эффективное управление и анализ объемных и разнообразных данных. Одной из важнейших технологий в этой области является распределенное хранение данных. Системы, например, такие как Apache Hadoop, обеспечивают распределенное хранение и обработку данных через кластеры серверов, обеспечивая высокую надежность и возможность обработки данных в объемах петабайт и более.

Технологии обработки потоков данных, такие как Apache Kafka, предоставляют инструменты для обработки данных в режиме реального времени. Это позволяет компаниям оперативно реагировать на события и изменения, что критично для бизнеса в условиях быстро меняющейся окружающей среды.

Для эффективного анализа данных применяются технологии обработки в памяти, такие как Apache Spark. Они позволяют проводить сложные вычисления и анализ больших объемов данных в реальном времени, обеспечивая высокую скорость выполнения задач<sup>1</sup>.

Технологии машинного обучения также стали неотъемлемой частью арсенала анализа больших данных. Библиотеки и платформы, такие как TensorFlow и scikit-learn, предоставляют средства для разработки и реализации моделей машинного обучения, что позволяет автоматизировать процессы прогнозирования и классификации [8].

## Заключение

Современные аналитические системы больших данных играют важную роль в повышении конкурентоспособности и улучшении бизнес-процессов, обеспечивая компаниям возможность извлекать ценную информацию из множества данных. Данные технологии обеспечивают комплексный подход к обработке и анализу данных, позволяя горнодобывающим предприятиям извлекать ценные знания из больших объемов информации и принимать обоснованные решения в условиях динамичной и конкурентной бизнес-среды. В подтверждение этого в работе [9, с. 39] приводятся следующие усредненные результаты от процесса внедрения цифровых технологий на горнодобывающих предприятиях:

– увеличение прибыли благодаря повышению производительности и сокращению расходов составляет приблизительно 10–15%;

<sup>1</sup> Большие данные: как извлечь из них информацию. Технологический прогноз. 2010;(3):22–29. Режим доступа: [https://4cio.ru/usercontent/1324/PwC\\_Technology-Forecast-Issue3%202010\\_rus.pdf](https://4cio.ru/usercontent/1324/PwC_Technology-Forecast-Issue3%202010_rus.pdf) (дата обращения: 05.04.2024).

– рост объемов производства при сокращении времени простоя технологического оборудования достигает в среднем 10–15%;

– увеличение скорости процессов разработки в 1,5–2 раза;

– сокращение расходов на реализацию физических тестов продукции составляет от 50 до 70%;

– уменьшение расходов на менеджмент логистических цепочек на уровне 20–30%;

– оптимизация технологических процессов, которая ведет к сокращению расходов приблизительно на 30%.

Таким образом, перспективы внедрения и развития данных цифровых решений выглядят весьма обнадеживающими. Эффективное управление этими процессами предоставляет компаниям значительные возможности и преимущества, позволяя повысить конкурентоспособность, оптимизировать использование ресурсов и увеличить эффективность бизнеса в целом.

### Список литературы / References

1. Кабалдин Ю.Г., Шатагин Д.А., Аносов М.С., Колчин П.В. Разработка цифровой модели (двойника) механообрабатывающего предприятия. *Journal of Advanced Research in Technical Science*. 2019;(13):45–54. <https://doi.org/10.26160/2474-5901-2019-13-45-54>  
Kabaldin Yu.G., Shatagin D.A., Anosov M.S., Kolchin P.V. Development of a digital model (twin) mechanical-processing enterprise. *Journal of Advanced Research in Technical Science*. 2019;(13):45–54. (In Russ.) <https://doi.org/10.26160/2474-5901-2019-13-45-54>
2. Стадник Д.А., Габараев О.З., Стадник Н.М., Григорян К.Л. Повышение качества цифровых «двойников» горнодобывающих предприятий на базе стандартизации атрибутивного наполнения технологических 3D-моделей в ГИС. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2020;(11-1):202–212. <https://doi.org/10.25018/0236-1493-2020-111-0-202-212>  
Stadnik D.A., Gabaraev O.Z., Stadnik N.M., Grigoryan K.L. Digital twin quality improvement for mines through standardization of attribute content for 3D GIS-based geotechnical modeling. *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 2020;(11-1):202–212. (In Russ.) <https://doi.org/10.25018/0236-1493-2020-111-0-202-212>
3. Паршина И.С., Фролов Е.Б. Разработка цифрового двойника производственной системы на базе современных цифровых технологий. *Экономика промышленности*. 2020;13(1):29–34. <https://doi.org/10.17073/2072-1633-2020-1-29-34>  
Parshina I.S., Frolov E.B. Development of a digital twin of the production system on the basis of modern digital technologies. *Russian Journal of Industrial Economics*. 2020;13(1):29–34. (In Russ.) <https://doi.org/10.17073/2072-1633-2020-1-29-34>
4. Казаков О.Д., Азаренко Н.Ю. Цифровые двойники бизнес-процессов: пространственно-временной слой. *Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Естественные и технические науки*. 2022;(4-2):60–67. Режим доступа: <http://www.nauteh-journal.ru/files/226ea44d-e800-4265-bfb4-7d06410ca7e7> (дата обращения: 12.04.2024).  
Kazakov O.D., Azarenko N.Yu. Digital twins of business processes: spatio-time layer. *Modern Science: Actual Problems of Theory and Practice. Series: Natural and Technical Sciences*. 2022;(4-2):60–67. (In Russ.) Available at: <http://www.nauteh-journal.ru/files/226ea44d-e800-4265-bfb4-7d06410ca7e7> (accessed: 12.04.2024).
5. Пономарев К.С., Феофанов А.Н., Гришина Т.Г. Стратегия цифрового двойника производства как метод цифровой трансформации предприятия. *Вестник современных технологий*. 2019;(4):23–30.  
Ponomarev K.S., Feofanov A.N., Grishina T.G. Strategy of a digital twin of manufactory as a method of digital enterprise transformation. *Vestnik Sovremennykh Tekhnologii*. 2019;(4):23–30. (In Russ.)
6. Силен Д. *Основы Data Science, Big Data. Python и наука о данных*. М.: Питер; 2017. 354 с.
7. Михнев И.П., Челнокова А.Д., Реут А.Д. Технологии Big Data и их применение в сфере современного высшего образования. В кн.: *Развитие современного образования: от теории к практике: материалы 4-й Междунар. науч.-практ. конф., Чебоксары, 19 марта 2018 г.* Чебоксары: ЦНС «Интерактив плюс»; 2018. С. 14–18. <https://doi.org/10.21661/r-470090>
8. Фрэнкс Б. *Революция в аналитике. Как в эпоху Big Data улучшить ваш бизнес с помощью операционной аналитики*. М.: Альпина Диджитал; 2014. 370 с.
9. Доррер М.Г. Реализация цифрового двойника бизнес-процессов на базе системы ELMA. *ИТНОУ: Информационные технологии в науке, образовании и управлении*. 2021;(1):35–43.  
Dorrer M.G. ELMA-based digital business process double. *ITNOU: Informatsionnye Tekhnologii v Nauke, Obrazovanii i Upravlenii*. 2021;(1):35–43. (In Russ.)

#### Информация об авторе

**Балашов Алексей Михайлович** – кандидат экономических наук, доцент кафедры информационных систем и цифрового образования, Новосибирский государственный педагогический университет, г. Новосибирск, Российская Федерация; <https://orcid.org/0000-0002-4264-2592>; e-mail: Ltha1@yandex.ru

#### Information about the author

**Aleksey M. Balashov** – Cand. Sci. (Econ.), Associate Professor of the Department Information Systems and Digital Education, Novosibirsk State Pedagogical University, Novosibirsk, Russian Federation; <https://orcid.org/0000-0002-4264-2592>; e-mail: Ltha1@yandex.ru

#### Информация о статье

Поступила в редакцию: 16.04.2024  
Поступила после рецензирования: 20.05.2024  
Принята к публикации: 30.05.2024

#### Article info

Received: 16.04.2024  
Revised: 20.05.2024  
Accepted: 30.05.2024

# Оценка нагрузок приводов рабочего оборудования карьерного экскаватора (часть 1)

Е.И. Шешукова, Д.А. Шибанов, С.Л. Иванов✉, Е.С. Недашковская

Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

✉ Ivanov\_SL@pers.spmi.ru

**Резюме:** Одной из главных задач при проведении открытых работ, обеспечивающих заданный уровень готовности горного оборудования, является проведение своевременного и качественного технического обслуживания и ремонта в частности карьерных экскаваторов. Наиболее нагруженными являются приводы подъема и напора рабочего оборудования экскаватора, что значительно повышает риски отказов их элементов. Адекватная оценка нагруженности этих приводов на основе анализа изменения действующих токов и напряжений их двигателей позволяет скорректировать периодичность работ по техническому обслуживанию. В процессе исследования в рамках рабочего цикла равного 26,75 с получены характерные точки укрупненных рабочих процессов: копания; поворота платформы с одновременным перемещением ковша из верхней точки траектории в точку разгрузки; реверса механизма поворота платформы с возвращением и позиционированием рабочего оборудования в исходное положение. На основе оценки построения плана положений механизма рабочего оборудования экскаватора ЭКГ-18Р и учета движущих сил и сил сопротивления движению в рамках рабочего цикла определено изменение усилий в канатах подъемной лебедки экскаватора. Проведенный анализ полученных значений усилия в канатах подъемной лебедки при трех линейных траекториях копания при углах наклона последней 60, 70 и 80° показал, что наименьшие усилия в канате подъемной лебедки возникают при крайней ближней траектории с углом 60°. Полученные данные позволят не только выбрать рациональную траекторию и угол отработки уступа, но и скорректировать периодичность работ по техническому обслуживанию согласно фактической наработке приводов подъема, напора и хода.

**Ключевые слова:** карьерный экскаватор, рабочий цикл экскаватора, усилия в канатах подъемной лебедки, двигатель подъема, траектория копания, траектория движения рабочего органа экскаватора

**Для цитирования:** Шешукова Е.И., Шибанов Д.А., Иванов С.Л., Недашковская Е.С. Оценка нагрузок приводов рабочего оборудования карьерного экскаватора (часть 1). *Горная промышленность*. 2024;(3):143–148. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2024-3-143-148>

# Assessment of loads acting on the working attachment of a mine shovel (Part 1)

E.I. Sheshukova, D.A. Shibarov, S.L. Ivanov✉, E.S. Nedashkovskaya

Empress Catherine II Saint Petersburg Mining University, St. Petersburg, Russian Federation

✉ Ivanov\_SL@pers.spmi.ru

**Abstract:** One of the major tasks in carrying out open-pit mining operations is timely and high quality maintenance and repair of mining equipment, in particular, mechanical shovels, which secures a required availability level. The most loaded are the lift and pressure drives of the shovel's working attachments, which significantly increases the risk of failure of their components. An adequate assessment of the loads acting on these drives through analyzing the changes in currents and voltages of their motors makes it possible to adjust the time between maintenance. In the course of the study, the representative points of the following three lumped working processes were obtained within the working cycle of 26.75 s: excavating; platform rotation with simultaneous movement of the shovel from the upper point of the path to the unloading point; reverse movement of the platform rotation mechanism with the returning and its positioning of the working attachment to the initial position. Changes in forces acting on the ropes of the lifting winch of the shovel were determined based on the evaluation of the obtained layout of the working attachment positions for the EKG-18R mechanical shovel and taking into account the driving and motion resistance forces within the working cycle. Analysis of the obtained force values acting on the ropes of the lifting winch at the three linear excavation paths with the inclination angles of 60, 70 and 80° has shown that the lowest forces in the lifting winch rope occur at the closest path with the angle of 60°. The received data will allow not only to select a rational path and the angle of bench mining, but also to adjust the time between maintenance according to the actual operating time of the lifting, pressure and movement drives.

**Keywords:** mining shovel, shovel working cycle, forces acting on the lift winch ropes, lifting motor, excavation path, shovel attachment path of travel

**For citation:** Sheshukova E.I., Shibarov D.A., Ivanov S.L., Nedashkovskaya E.S. Assessment of loads acting on the working attachment of a mine shovel (Part 1). *Russian Mining Industry*. 2024;(3):143–148. (In Russ.) <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2024-3-143-148>

**Введение**

Экскаватор является неотъемлемым объектом в процессе добычи полезных ископаемых открытым способом [1; 2]. Как любой объект горного производства в процессе своей работы он подвержен деградационным процессам, а перегрузки способны вызвать внезапный отказ, что в свою очередь приведет к простоям.

Предотвращение аварийных простоев обеспечивается качественным и своевременным проведением технического обслуживания и ремонта [3–5]. Повысить качество этих работ, снизить риск отказов возможно внедрением в практику имитационных моделей, автоматизированного управления, цифровых технологий и т.д. [6; 7], для чего необходимо установление взаимосвязи нагруженности главных приводов экскаватора и влияющих на эффективность работы факторов, включая геотехнологические схемы отработки забоя [8; 9].

Анализ отказов карьерных экскаваторов типа ЭКГ показал, что наиболее нагруженными и наименее отказоустойчивыми являются рабочее оборудование экскаватора, его приводы подъема и напора [10–12]. Режим работы последних характеризуется резкими колебаниями нагрузок, что обусловлено техническим состоянием экскаватора, качеством подготовки забоя и горной массы и организаций ведения горных работ, эргатическими, горно-геологическими, горнотехническими и климатическими факторами [13; 14].

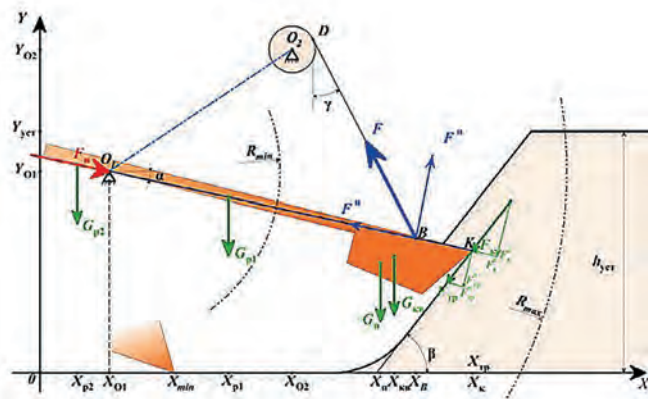
**Методология**

Чтобы повысить однородность полученных при наблюдениях данных целесообразно симитировать процесс, например, на стенде, детерминированно меняя необходимые условия эксплуатации. При этом важно, чтобы управление осуществлялось высококвалифицированным машинистом, а также фиксировать повторяемость циклов работы, обеспечивающих заданный уровень достоверности для оценки нагруженности приводов.

Для обеспечения указанных условий на стенде ООО «ИЗ-КАРТЭКС имени П.Г. Коробкова» были проведены серии экспериментов, включающие в себя 12-цикловые симуляции работы экскаватора ЭКГ-18Р для различных условий эксплуатации, включая базовые, которые обеспечивали минимизацию погрешности оценки характерных величин длительности цикла и его характерных точек при удовлетворительной повторяемости результатов [15; 16]. Проанализированные изменения значений напряжений двигателей подъема, напора и поворота позволили сформировать единый рабочий цикл экскаватора для следующих условий: работа выполнена машинистом 8-й категории, разрабатываемая порода III категории, горная масса без негабаритов, рабочая площадка горизонтальная, климатические и погодные условия – нормальные. Полученный таким образом цикл 26,75 с принят за базовый [17; 18]. На основе базового цикла определены характерные временные точки рабочих процессов.

Рабочий цикл экскаватора (26,75 с) включает в себя три укрупненных рабочих процесса: копание (0–10,25 с); поворот платформы с одновременным перемещением ковша из верхней точки траектории в точку разгрузки над самосвалом (10,25–15,0 с); реверс механизма поворота платформы с возвращением рабочего оборудования в исходное положение (15,0–26,75 с).

Загруженность механизмов подъема и напора опреде-



**Рис. 1**  
**Расчетная схема для оценки**  
**нагрузок рабочего**  
**оборудования экскаватора**

**Fig. 1**  
**Calculation scheme to assess**  
**the loads acting on the**  
**shovel's attachment**

лим теоретически, для чего представим загрузку рабочего оборудования в цикле схемой на рис. 1.

На величину подъемного усилия действует вес рабочего оборудования: части рукоятки, находящиеся перед седловым подшипником  $G_{p1}$  и за ним  $G_{p2}$ , а также вес ковша  $G_k$ . При осуществлении процесса копания (от 0 с до 10,25 с) экскаватор также преодолевает силы сопротивления копанию  $F_{коп}$  и трения  $F_{тр}$ . От начала копания до момента разгрузки (от 0 с до 15 с) необходимо учитывать вес горной массы в ковше  $G_n$ . Этот вес при осуществлении процесса копания является переменной величиной, изменяющейся от нуля до максимума, максимальная величина которого определяется объемом ковша. На схеме (см. рис. 1) рабочее оборудование обозначено условной линией, проходящей через центр поворота  $O_1$  и точку копания  $K$ . Траектория копания выбрана в виде прямой, наклоненной к горизонту под углом и ограниченной предельной высотой уступа.

В качестве исходных данных приняты рабочие и габаритные размеры экскаватора: наибольшая эксплуатационная высота копания, радиус и высота разгрузки, длина рукоятки и взаиморасположение седлового подшипника и подъемной лебедки. По этим значениям построен план положений механизма рабочего оборудования экскаватора ЭКГ-18Р с учетом характерных точек при копании, позиционировании под разгрузкой и при выгрузке с последующим возвратом ковша в исходное положение [19; 20].

При задании траектории движения рабочего оборудования в забое необходимо исключить образование навесов и козырьков, учитывать возможное наличие негабарита, минимизировать перемещение экскаватора в забое.

Угол наклона траектории отработки забоя для III категории ориентировочно составляет 50–75°, но в некоторых работах для механических лопат рассматриваются углы до 90° [21].

Составив уравнение моментов относительно точки поворота  $O_1$  и задавшись коэффициентом динамичности  $K_d$ , равным 1,2 [22–24], усилием в канате, создаваемым подъемной лебедкой, канат которой закреплен в точке  $B$ , получим результирующее усилие  $F$  в канатах:

$$\begin{cases} F = \frac{(G_{p1}l_{p1} + G_k l_k + G_{n1}l_n - G_{p2}l_{p2}) \cos \alpha + (F_{\text{коп}} l_{\text{коп}} + F_{\text{тр}} l_{\text{тр}}) \cos(90 + \alpha - \beta)}{\cos(\gamma - \alpha) l_F} K_{\text{д}}, \text{ если } \angle DBK > 90^\circ \\ F = \frac{(G_{p1}l_{p1} + G_k l_k + G_{n1}l_n - G_{p2}l_{p2}) \cos \alpha + (F_{\text{коп}} l_{\text{коп}} + F_{\text{тр}} l_{\text{тр}}) \cos(90 + \alpha - \beta)}{\cos(\alpha - \gamma) l_F} K_{\text{д}}, \text{ если } \angle DBK \leq 90^\circ \end{cases} \quad (1)$$

Здесь  $l_{p1}, l_k, l_n, l_{p2}, l_{\text{коп}}, l_{\text{тр}}, l_F$  – длины, определяемые через соответствующие значения оси абсцисс  $X$  (см. рис. 1) и соответствующие расстоянию между седловым подшипником и точками приложения сил  $G_{p1}, G_k, G_n, G_{p2}, F_{\text{коп}}, F_{\text{тр}}$  соответственно;  $\alpha$  – угол между положением оси рукояти и горизонталью;  $\beta$  – угол траектории отработки уступа;  $\gamma$  – угол между канатом и вертикалью.

Сила в канатах подъемной лебедки  $F$  раскладывается на две составляющие: усилие подъема  $F^n$ , перпендикулярное условной оси, и осевое усилие  $F^h$ , направленное вдоль этой оси:

$$F^n = F \cos(\gamma - \alpha); \quad (2)$$

$$F^h = F \cos(90 + \alpha - \gamma). \quad (3)$$

Определяющей в работе привода напора будет осевая составляющая усилия  $F$  как результирующая нагрузка, преодолеваемая механизмом подъема при работе экскаватора.

**Результаты**

В соответствии с планом положений продолжительность цикла работы экскаватора разбита на дискретное количество точек, которые соответствуют основным положениям рабочего органа экскаватора (высшая точка копания, точка разгрузки, начальное и конечное положения) и промежуточным положениям между ними. Для каждой точки определено время в цикле.

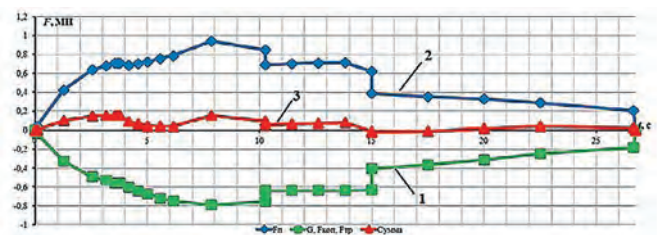
Согласно общей схеме и с учетом выражений (1) и (2) на рис. 2 показано изменение усилия подъема, необходимое для осуществления процесса копания, перемещения ковша в точку разгрузки и возвращения рабочего органа в исходное положение при траектории (максимально дальняя траектория) с углом наклона линейной траектории движения  $60^\circ$ .

На рис. 2 зеленым цветом (линия 1) представлены суммарные усилия сопротивления (весовые составляющие,

силы сопротивления копанию и сила трения). Синим цветом (линия 2) – усилие в канате, создаваемое лебедкой подъема, для преодоления сопротивлений (линия 1). Красным цветом (линия 3) – результирующая движущих сил и сопротивлений, отклонения которой от оси ординат являются не учтенными нами сопротивлениями.

Подъемная составляющая усилия в канатах в процессе копания возрастает до достижения ковшом верхней бровки уступа. Здесь же (10,25 с) силы сопротивления копанию и трения обнуляются вследствие окончания процесса копания. Далее усилия незначительно меняются до точки разгрузки (15 с), где скачкообразно падают после разгрузки ковша с дальнейшим плавным снижением до возвращения рабочего оборудования в исходное положение.

При сохранении выявленных тенденций изменения составляющих подъемного усилия  $F^n$  подъемной лебедки значения этого усилия в зависимости от угла наклона траектории и расположения траектории по глубине забоя будут меняться. Ниже представлены результаты изменения усилий в трех разных траекториях движения при углах откоса  $60, 70$  и  $80^\circ$ . Крайняя ближняя траектория (ТБ) ограничена минимально возможным выдвиганием рукояти, крайняя дальняя (ТД), выбранная максимально



**Рис. 2**  
Изменение усилий  $F^n$ , создаваемых подъемной лебедкой экскаватора ЭКГ-18Р в цикле при угле  $60^\circ$  и высоте уступа, равной эксплуатационной

**Fig. 2**  
Changes in  $F^n$  forces created by the lifting winch of the EKG-18R mechanical shovel during a cycle at the angle of  $60^\circ$  and the bench height equal to the operational height

**Таблица 1**  
Относительная величина суммарного усилия в канатах подъемной лебедки для заданной траектории

**Table 1**  
Relative value of the total force in the lifting winch ropes for a given path

Характерные точки цикла	Угол наклона траектории движения ковша ( $\beta$ ), °								
	60			70			80		
t, с	ТБ	ТС	ТД	ТБ	ТС	ТД	ТБ	ТС	ТД
3,76	1,626	1,676	1,729	1,640	1,621	1,631	2,007	1,571	1,795
5,0	1,638	1,647	1,662	1,906	1,701	1,836	1,966	1,743	1,969
7,85	2,110	2,158	2,269	2,231	2,291	2,439	2,243	2,360	2,575
10,25(1)	2,019	2,130	2,268	1,958	2,097	2,346	2,113	2,087	2,390
10,25(2)	1,668	1,760	1,875	1,508	1,628	1,824	1,538	1,556	1,797
12,625	1,713	1,747	1,796	1,635	1,699	1,746	1,596	1,669	1,719
15,0	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
25,0	0,667	0,700	0,790	0,854	0,941	0,990	0,916	0,960	1,129
Сумма	12,441	12,820	13,389	12,733	12,978	13,811	13,380	12,946	14,375

возможным выдвиганием рукояти с учетом наибольшей высоты копания, средняя (ТС) – середина между двумя крайними.

**Обсуждение результатов**

Выбраны восемь характерных точек, позиции которых в табл. 1 соответствуют времени в цикле, для анализа изменения усилия в функции выбранной траектории. Найдены величины изменения подъемной составляющей  $F^n$  усилия в канатах подъемной лебедки для различных положений и углов наклона траектории. Базовым значением выбрано усилие в точке разгрузки (15 с), которое одинаково для всех траекторий и равно 342287 Н.

Для траектории движения ковша с углом ее наклона относительно горизонтали 60° при уменьшении расстояния между экскаватором и обрабатываемым уступом усилие уменьшается для всех рассматриваемых точек.

Для угла наклона 70° в точке 5, когда канат перпендикулярен основной оси, при уменьшении расстояния характерно сначала уменьшение усилия на 13,5%, а затем увеличение на 20,5% относительно базового показателя. Также в начале копания (3,76) усилие при уменьшении расстояния увеличивается на 9,1%. Остальные точки имеют одинаковые тенденции изменения усилия, как при угле 60°.

Для угла наклона 80° в начале копания (3,76) для траектории ТБ характерно увеличение нагрузки на 21,2% по сравнению с траекторией ТД, однако при средней траектории в этой точке нагрузка уменьшается на 22,4%. Характер изменения усилия в других точках аналогичен углу 70°.

**Заключение**

При суммировании полученных соотношений всех точек для каждой траектории выявлено, что наименьшие усилия для составляющей подъема возникают при крайней ближней траектории с углом 60°.

Помимо этого, при расчете максимально обрабатываемой площади уступа экскаватором с одного установка было выявлено, что при угле отработки 80° машина способна осуществить выемку в 3,11 раза большую, чем при угле 60°, а при величине угла 70° эта величина составит лишь 2,27 раз.

Исходя из этого, зная изменение усилий в канатах подъемной лебедки при разных траекториях движения ковша или углах ее наклона, возможно корректировать периодичность работ технического обслуживания и ремонта согласно фактической наработке даже при базовых условиях эксплуатации. Корректировка этих сроков будет способствовать как снижению рисков отказов оборудования, так и рациональному использованию ресурса механизма хода экскаватора.

Необходимы дальнейшее исследование усилий напорной составляющей, проведение совместного анализа для выявления закономерностей взаимовлияния двигателей приводов и напора экскаватора. Данные вопросы будут рассмотрены во второй части статьи.

**Список литературы / References**

1. Макаров В.Н., Анистратов К.Ю. Достижение наивысших рекордных показателей месячной производительности экскаваторов ЭКГ-18 на разрезах ЗАО «Стройсервис». *Уголь*. 2019;(1):20–26. <https://doi.org/10.18796/0041-5790-2019-1-20-26>  
Makarov V.N., Anistratov K.Yu. Achievement of the highest record indicators of the monthly production of ekg-18 excavators at open-pit mines of “Stroyservice” JSC. *Ugol’*. 2019;(1):20–26. (In Russ.) <https://doi.org/10.18796/0041-5790-2019-1-20-26>
2. Иванова П.В., Асонов С.А., Иванов С.Л., Кувшинкин С.Ю. Анализ структуры и надежности современного парка карьерных экскаваторов. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2017;(7):51–57. Режим доступа: [https://giab-online.ru/files/Data/2017/7/51\\_57\\_7\\_2017.pdf](https://giab-online.ru/files/Data/2017/7/51_57_7_2017.pdf) (дата обращения: 06.03.2024).  
Ivanova P.V., Asonov S.A., Ivanov S.L., Kuvshinkin S.Yu. Analysis of structure and reliability of modern fleet of mine shovels. *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 2017;(7):51–57. (In Russ.) Available at: [https://giab-online.ru/files/Data/2017/7/51\\_57\\_7\\_2017.pdf](https://giab-online.ru/files/Data/2017/7/51_57_7_2017.pdf) (accessed: 06.03.2024).
3. Корогодин А.С., Иванов С.Л. Техническое обслуживание и ремонт цапф барабанной мельницы плавучего комплекса горного оборудования. *Устойчивое развитие горных территорий*. 2023;15(3):760–770. <https://doi.org/10.21177/1998-4502-2023-15-3-760-770>  
Korogodin A.S., Ivanov S.L. Maintenance and repair of drum mill trunnions of a floating mining equipment complex. *Sustainable Development of Mountain Territories*. 2023;15(3):760–770. (In Russ.) <https://doi.org/10.21177/1998-4502-2023-15-3-760-770>
4. Абдельвахаб А., Михайлов А.В. Влияние железорудной пыли на изнашивание поверхности штоков гидроцилиндров карьерного экскаватора. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2023;(11-1):5–23.  
Abdelwahab A., Mikhailov A.V. Iron ore dust influence on the wear surface of quarry excavator hydraulic cylinder rods. *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 2023;(11-1):5–23. (In Russ.)
5. Назарычев А.Н., Дяченко Г.В., Сычев Ю.А. Исследование надежности тягового электропривода карьерных самосвалов на основе анализа отказов его функциональных узлов. *Записки Горного института*. 2023;261:363–373. Режим доступа: <https://pmi.spmi.ru/pmi/article/view/16189> (дата обращения: 06.03.2024).  
Nazarychev A.N., Dyachenok G.V., Sychev Y.A. A reliability study of the traction drive system in haul trucks based on failure analysis of their functional parts. *Journal of Mining Institute*. 2023;261:363–373. (In Russ.) Available at: <https://pmi.spmi.ru/pmi/article/view/16189> (accessed: 06.03.2024).

6. Gorlov I, Ivanov S., Knyazkina V, Iakupov D. Device for integrated diagnostics of mining machines triboelements. *E3S Web of Conferences*. 2021;326:00001. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202132600001>
7. Комиссаров А.П., Маслеников О.А., Набиуллин Р.Ш., Хорошавин С.А. Оценка степени противодействия двигателей приводов главных механизмов карьерного экскаватора. *Горное оборудование и электромеханика*. 2022;(6):10–16. <https://doi.org/10.26730/1816-4528-2022-6-10-16>  
Komissarov A.P., Maslenikov O.A., Nabiullin R.S., Khoroshavin S.A. Assessment of the degree of counteraction of the drive motors of the main mechanisms of the quarry excavator. *Mining Equipment and Electromechanics*. 2022;(6):10–16. (In Russ.) <https://doi.org/10.26730/1816-4528-2022-6-10-16>
8. Лукашук О.А. Закономерности формирования режимных параметров главных механизмов карьерного экскаватора в процессе экскавации горных пород. *Горное оборудование и электромеханика*. 2019;(3):14–17. <https://doi.org/10.26730/1816-4528-2019-3-14-17>  
Lukashuk O.A. Regularities of forming the standard parameters of main mechanisms of open-pit excavator in the process of rock excavation. *Mining Equipment and Electromechanics*. 2019;(3):14–17. (In Russ.) <https://doi.org/10.26730/1816-4528-2019-3-14-17>
9. Костыгова Д.М., Казунин Д.В. Математическое моделирование электрических систем карьерного экскаватора в режиме реального времени. *Вестник Санкт-Петербургского университета. Прикладная математика. Информатика. Процессы управления*. 2017;13(1):81–90. <https://doi.org/10.21638/11701/spbu10.2017.108>  
Kostygova D.M., Kazunin D.V. Mathematical real time model of mining excavator electrical systems. *Vestnik of St Petersburg University. Applied Mathematics. Computer Science. Control Processes*. 2017;13(1):81–90. (In Russ.) <https://doi.org/10.21638/11701/spbu10.2017.108>
10. Лукашук О.А., Летнев К.Ю., Лукашук М.Д. Идентификация положения ковша карьерного экскаватора в забое. *Актуальные проблемы повышения эффективности и безопасности эксплуатации горношахтного и нефтепромыслового оборудования*. 2019;1:14–20.  
Lukashuk O.A., Letnev K.Y., Lukashuk M.D. Location of open-pit excavator bucket in a pit. *Aktualnye Problemy Povysheniya Effektivnosti i Bezopasnosti Ekspluatatsii Gornoshakhtnogo i Neftepromyslovogo Oborudovaniya*. 2019;1:14–20. (In Russ.)
11. Якупов Д.Р., Мотяков Н.Ю., Иванова П.В., Иванов С.Л. Рабочее оборудование средств для экскавации полезных ископаемых. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2021;(S10):3–17. [https://doi.org/10.25018/0236\\_1493\\_2021\\_4\\_10\\_3](https://doi.org/10.25018/0236_1493_2021_4_10_3)  
Iakupov D.R., Motyakov N.Yu., Ivanova P.V., Ivanov S.L. Working parts of means of minerals excavation. *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 2021;(S10):3–17. (In Russ.) [https://doi.org/10.25018/0236\\_1493\\_2021\\_4\\_10\\_3](https://doi.org/10.25018/0236_1493_2021_4_10_3)
12. Iakupov D., Motyakov N., Ivanova P., Ivanov S. Working parts of means of minerals excavation. *AIP Conference Proceedings*. 2022;2456:030012. <https://doi.org/10.1063/5.0074835>
13. Комиссаров А.П., Набиуллин Р.Ш., Хорошавин С.А., Летнев К.Ю., Огорелков Д.А. Динамика главных механизмов карьерного экскаватора. *Актуальные проблемы повышения эффективности и безопасности эксплуатации горношахтного и нефтепромыслового оборудования*. 2021;1:8–14.  
Komissarov A.P., Nabiullin R.Sh., Horoshavin S.A., Letnev K.Yu., Ogorelkov D.A. Dynamics of the main mechanisms of the quarry excavator. *Aktualnye Problemy Povysheniya Effektivnosti i Bezopasnosti Ekspluatatsii Gornoshakhtnogo i Neftepromyslovogo Oborudovaniya*. 2021;1:8–14. (In Russ.)
14. Шибанов Д.А., Иванов С.Л., Шешукова Е.И., Недашковская Е.С. Эффективность функционирования карьерного экскаватора, как эргатической системы. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2023;(11-1):144–158.  
Shibanov D.A., Ivanov S.L., Sheshukova E.I., Nedashkovskaya E.S. Efficiency of operation of a quarry excavator as an ergatic system. *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 2023;(11-1):144–158. (In Russ.)
15. Анистратов К.Ю. Анализ эффективности применения экскаваторов УЗТМ-КАРТЭКС на карьерах. *Горная промышленность*. 2019;(5):20–24.  
Anistratov K.Yu. Analysis of the efficiency of application of UZTM-KARTEX excavators at quarries. *Russian Mining Industry*. 2019;(5):20–24. (In Russ.)
16. Костыгова Д.М., Емельянов А.А. Имитационное моделирование карьерного экскаватора ЭКГ-18Р производства ООО «ИЗ-КАРТЭКС» в тренажере подготовки машинистов. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2017;(S23):177–184. <https://doi.org/10.25018/0236-1493-2017-10-23-177-184>  
Kostygova D.M., Emelyanov A.A. Imitation modeling of the EKG-18R mining excavator manufactured by IZ-KARTEX in the operator training simulator. *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 2017;(S23):177–184. (In Russ.) <https://doi.org/10.25018/0236-1493-2017-10-23-177-184>
17. 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. <https://doi.org/10.25018/0236-1493-2020-10-0-86-94>  
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 Informational and Analytical Bulletin*. 2020;(10):86–94. (In Russ.) <https://doi.org/10.25018/0236-1493-2020-10-0-86-94>

18. Великанов В.С. Прогнозирование нагруженности рабочего оборудования карьерного экскаватора по нечетко-логической модели. *Записки Горного института*. 2020;241:29–36. <https://doi.org/10.31897/PMI.2020.1.29>  
Velikanov V.S. Mining excavator working equipment load forecasting according to a fuzzy-logistic model. *Journal of Mining Institute*. 2020;241:29–36. <https://doi.org/10.31897/PMI.2020.1.29>
19. Кувшинкин С.Ю. Определение геометрических параметров при расчете основных приводов карьерных экскаваторов. *Записки Горного института*. 2004;157:37–40. Режим доступа: <https://pmi.spmi.ru/pmi/article/view/8864/6789> (дата обращения: 06.03.2024).  
Kuvshinkin S.Y. Determination of geometric parameters when calculating the main drives of mining shovels. *Journal of Mining Institute*. 2004;157:37–40. (In Russ.) Available at: <https://pmi.spmi.ru/pmi/article/view/8864/6789> (accessed: 06.03.2024).
20. Мещеряков В.А., Летопольский А.Б., Тетерина И.А., Николаев Д.И. Программный продукт для определения положения и визуализации рабочего оборудования одноковшового экскаватора. *Известия Тульского государственного университета. Технические науки*. 2023;(8):596–601.  
Meshcheryakov V.A., Letopolsky A.B., Teterina I.A., Nikolaev D.I. Software product for determination of the position and visualization of the working equipment of a single bucket excavator. *Izvestiya Tulsogo Gosudarstvennogo Universiteta. Tekhnicheskie Nauki*. 2023;(8):596–601. (In Russ.)
21. Галустьян Э.Л. Технологические аспекты проблемы оптимизации углов наклона бортов карьеров. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 1999;(2):222–227.  
Galustyan E.L. Technological aspects of the problem of optimizing the angles of inclination of quarry sides. *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 1999;(2):222–227. (In Russ.)
22. Касьянов П.А., Шестаков В.С., Захаров А.А. Расчет усилий в подъемных канатах карьерного экскаватора «прямая лопата». В кн.: *Технологическое оборудование для горной и нефтегазовой промышленности : сборник трудов 15-й Международной научно-технической конференции, г. Екатеринбург, 20–21 апр. 2017 г.* Екатеринбург: Уральский государственный горный университет; 2017. С. 283–286.
23. Волков Д.П. *Динамика и прочность одноковшовых экскаваторов*. М.: Машиностроение; 1965. 463 с.
24. Иов И.А., Долгих Е.С., Иов А.А. *Управление динамическим состоянием исполнительных механизмов экскаваторов*. Иркутск : Изд-во ИРНИТУ; 2022. 194 с.

**Информация об авторах**

**Шешукова Екатерина Игоревна** – аспирант кафедры машиностроения, Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

**Шибанов Даниил Александрович** – кандидат технических наук, доцент кафедры машиностроения, Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

**Иванов Сергей Леонидович** – доктор технических наук, профессор кафедры машиностроения, Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация; <https://orcid.org/0000-0002-7014-2464>; e-mail: [Ivanov\\_SL@pers.spmi.ru](mailto:Ivanov_SL@pers.spmi.ru)

**Недашковская Евгения Сергеевна** – аспирант кафедры машиностроения, Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

**Information about the authors**

**Ekaterina I. Sheshukova** – Postgraduate Student, Department of Mechanical Engineering, Empress Catherine II Saint Petersburg Mining University, St. Petersburg, Russian Federation

**Daniil A. Shibanov** – Cand. Sci. (Eng.), Ass. Professor, Department of Mechanical Engineering, Empress Catherine II Saint Petersburg Mining University, St. Petersburg, Russian Federation

**Sergey L. Ivanov** – Dr. Sci. (Eng.), Professor, Department of Mechanical Engineering, Empress Catherine II Saint Petersburg Mining University, St. Petersburg, Russian Federation; <https://orcid.org/0000-0002-7014-2464>; e-mail: [Ivanov\\_SL@pers.spmi.ru](mailto:Ivanov_SL@pers.spmi.ru)

**Evgeniya S. Nedashkovskaya** – Postgraduate Student, Department of Mechanical Engineering, Empress Catherine II Saint Petersburg Mining University, St. Petersburg, Russian Federation

**Article info**

Received: 09.04.2024

Revised: 13.05.2024

Accepted: 19.05.2024

**Информация о статье**

Поступила в редакцию: 09.04.2024

Поступила после рецензирования: 13.05.2024

Принята к публикации: 19.05.2024

## Методический подход и методы развития угледобывающих предприятий

Е.М. Евтушенко<sup>1</sup>, А.В. Великосельский<sup>1</sup>, О.А. Лапаева<sup>2,3</sup> ✉

<sup>1</sup> АО «СУЭК-Красноярск», г. Красноярск, Российская Федерация

<sup>2</sup> Челябинский филиал Института горного дела Уральского отделения РАН, г. Челябинск, Российская Федерация

<sup>3</sup> ООО «Научно-исследовательский институт эффективности и безопасности горного производства», г. Челябинск, Российская Федерация

✉ lapaeva@yandex.ru

**Резюме:** В статье изложены методы развития и повышения операционной эффективности, реализуемые в производственных единицах АО «СУЭК-Красноярск». Показано, что их рациональное сочетание и дополнение друг друга в современных условиях обострения конкуренции между угледобывающими компаниями, появления новых вызовов и более высоких требований к динамике развития угольных компаний позволяют эффективно использовать производственный потенциал предприятий и трудовой потенциал работников. В качестве методического подхода используется процессно-проектный подход к управлению развитием предприятий регионального производственного объединения. Практика решения задачи повышения операционной эффективности в производственных единицах показала необходимость формирования на предприятиях и в объединении среды возможностей для развития как работников, так и предприятий. Предназначение этой среды – организация системной работы по повышению вовлечения и деловой активности персонала в процессы совершенствования производственной деятельности, в разработку и внедрение мероприятий, направленных на улучшение и оптимизацию производственных процессов.

**Ключевые слова:** повышение операционной эффективности, среда возможностей, угледобывающая компания, методический подход и методы развития, развивающая аттестация персонала, оптимизация бизнес-процессов

**Для цитирования:** Евтушенко Е.М., Великосельский А.В., Лапаева О.А. Методический подход и методы развития угледобывающих предприятий. *Горная промышленность*. 2024;(3):149–155. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2024-3-149-155>

## A methodological approach and methods of developing the coal producing companies

E.M. Evtushenko<sup>1</sup>, A.V. Velikoselskiy<sup>1</sup>, O.A. Lapaeva<sup>2,3</sup> ✉

<sup>1</sup> JSC “SUEK-Krasnoyarsk”, Krasnoyarsk, Russian Federation

<sup>2</sup> Chelyabinsk branch of the Mining Institute of the Ural branch of the Russian Academy of Sciences, Chelyabinsk, Russian Federation

<sup>3</sup> Scientific Research Institute of Efficiency and Safety of Mining, Chelyabinsk, Russian Federation

✉ lapaeva@yandex.ru

**Abstract:** This article describes the methods of developing and increasing the operational efficiency, which are implemented at production units of the SUEK-Krasnoyarsk JSC. It is demonstrated that their rational combination and mutual complementation in modern conditions of rising competition among coal producing companies, emergence of new challenges and higher requirements for the development dynamics of coal producing companies allow to efficiently use the production potential of enterprises and the labour potential of their employees. As a methodological approach we use the process and project approach to facilitate the development of enterprises that are part of a regional production association. The practice of solving the task of increasing the operational efficiency at production units demonstrates the necessity to form an incentive environment for developing both employees and enterprises at the enterprises and in the association. The goal of this environment is to provide systematic activities related to increasing the involvement and business activities of the personnel in the processes of production activities, in the development and implementation of actions aimed at improving and optimizing the production processes.

**Keywords:** increase of the operational efficiency, incentive environment, coal producing company, methodological approach and development methods, developing personnel certification, optimisation of business processes

**For citation:** Evtushenko E.M., Velikoselskiy A.V., Lapaeva O.A. A methodological approach and methods of developing the coal producing companies. *Russian Mining Industry*. 2024;(3):149–155. (In Russ.) <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2024-3-149-155>

**Введение**

Обострение конкуренции как между угледобывающими компаниями, так и альтернативными поставщиками энергоресурсов (газ и др.), значительные санкционные риски, связанные с экспортными поставками угля, ограничениями по финансовым ресурсам и приобретению новых технологий и техники, интенсивное технологическое перевооружение, осуществляемое на предприятиях угледобывающей отрасли, приводят к появлению новых, более высоких требований к динамике развития угольных компаний в современных условиях.

Угольная промышленность является одной из ведущих отраслей топливно-энергетического комплекса России и во многом драйвером их развития <sup>1</sup>. В современных экономических условиях одним из ключевых факторов успеха является повышение эффективности и устойчивости деятельности предприятия. Спектр направлений по повышению операционной эффективности довольно широк: оптимизация бизнес-процессов, повышение качества продукции, выпуск новых продуктов, модернизация оборудования, что приводит к снижению издержек, повышению производительности труда и расширению рынка сбыта [1; 2]. Каждый из перечисленных методов выбирается в соответствии с выбранной стратегией развития предприятия, компании и их возможностями [3; 4].

Практика и обобщение результатов работы АО «СУЭК-Красноярск» позволили определить основные условия, которые необходимо учитывать при формировании сценариев и программ развития угледобывающих компаний:

– прогноз развития альтернативных источников генерации тепло- и электроэнергии, в том числе гидростанций, атомных станций, использования «зеленых» технологий

(ветровых станций и др.), расчета баланса выработки энергии;

– применение новых подходов к системе управления, в которой развитие и совершенствование производства являются неотъемлемой частью деятельности руководителей всех уровней управления;

– прогноз запуска новых промышленных мощностей (сроки ввода и объемы потребления) на предприятиях, которые являются крупными потребителями энергии;

– прогноз развития конкурентов – модернизация и строительство новых угледобывающих предприятий;

– изменения производственно-геологических параметров работы угледобывающих предприятий;

– изменения логистических схем перевозки, затрат на доставку продукции до потребителя.

В связи с этим АО «СУЭК-Красноярск» в своей деятельности учитывает следующие проблемы развития, которые по сути являются барьерами в развитии производственных единиц и объединения в целом (табл. 1).

Учитывая перечисленные проблемы развития и новые экономические вызовы [3; 4], угольным компаниям для сохранения и усиления позиций на основных конкурентных рынках необходимо осуществлять поиск возможностей увеличения объемов сбыта на новых рынках, повышения операционной эффективности горных работ, оптимизации логистики перевозки, переработки угля и получения новых видов продукции. Тем самым сохраняется генеральное направление инновационного развития регионального производственного объединения (РПО), гибкость, диверсификация труда и производства становятся главными принципами реализации стратегии развития [5–8].

**Таблица 1**  
**Проблемы развития угольной компании**

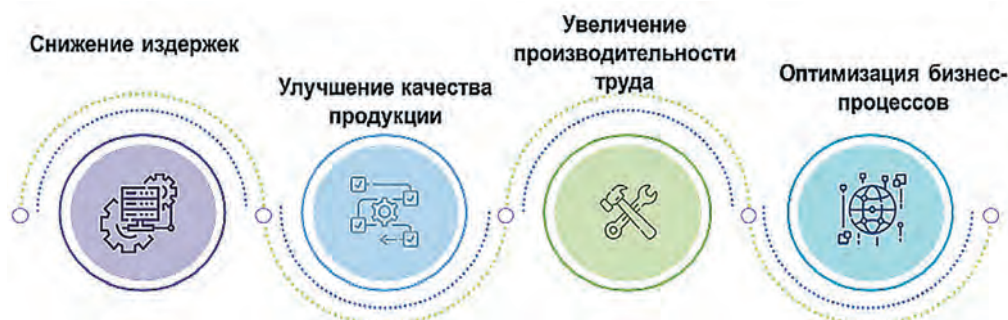
**Table 1**  
**Challenges in developing a coal producing company**

<b>Проблема развития</b>	<b>Ключевые меры по решению проблемы</b>
Большие колебания объемов отгрузки по годам в связи с перераспределением нагрузки между гидро- и угольными генерациями	Сбалансированное планирование и поставка угля в адрес энергетиков в течение всего года
Высокие сезонные колебания, которые связаны с климатическими условиями (основной объем поставки в 1-м и 4-м кв.)	Содержание дополнительных мощностей для отгрузки в пиковые периоды
Дефицит железнодорожных вагонов в пиковые периоды, логистические ограничения по направлениям	Формирование собственного парка вагонов
Отток персонала. Зависимость уровня заработной платы от объемов производства (влияние климатических условий и провозной способности РЖД). Уровень оплаты труда ниже рынка, большое количество альтернативных предложений. Отсутствие достаточного количества квалифицированного персонала для работы в периоды пиковой нагрузки	Создание условий для удержания персонала. Создание системы оплаты труда, обеспечивающей рыночный уровень зарплаты за норму, с механизмом увеличения зарплаты при росте производительности труда. Внедрение системы грейдов, учитывающей рыночную стоимость профессии
Рост операционных и капитальных затрат из-за старения экскаваторного и тепловозного парка	Модернизация основного экскаваторного оборудования. Необходимость формирования аварийного запаса запасных частей для снижения риска остановки основного горношахтного оборудования Рациональные режимы эксплуатации оборудования
<b>Ограниченный рынок сбыта энергетических углей (недостаточное качество угля). Поставка бурого угля преимущественно только на внутренний рынок</b>	<b>Обеспечение контролируемой себестоимости по добыче угля, внедрение механизма постоянных улучшений с целью повышения эффективности производственных процессов и снижения затрат.</b> <b>Внедрение новых технологий по переработке бурого угля, выход на новые рынки сбыта</b>

<sup>1</sup> Программа развития угольной промышленности России на период до 2035 года: утв. Распоряжением Правительства РФ от 13.06.2020 г. №1582-р Режим доступа: [http://minenergo.gov.ru/upload/iblock/ee4/ngpuwtmbm0h7iz66p6mzig3h2iintai/Programa\\_razvitiya\\_ugolnoy\\_promyshlennosti\\_Rossii\\_na\\_period\\_do\\_2035\\_goda\\_novaya\\_redakciya.pdf?ysclid=lu6kormj41727377373](http://minenergo.gov.ru/upload/iblock/ee4/ngpuwtmbm0h7iz66p6mzig3h2iintai/Programa_razvitiya_ugolnoy_promyshlennosti_Rossii_na_period_do_2035_goda_novaya_redakciya.pdf?ysclid=lu6kormj41727377373) (дата обращения: 25.03.2024).

Рис. 1  
Основные направления развития предприятий РПО

Fig. 1  
Main trends in development of the RPA enterprises



**Методический подход**

В целях развития и повышения эффективности деятельности АО «СУЭК-Красноярск» в качестве основных направлений выбрано четыре (рис. 1).

Одним из инструментов работы в этих направлениях является создание в РПО и на предприятиях системы непрерывных улучшений в рамках реализации методологии организации опережающего развития угледобывающего производственного объединения [9] и процессно-проектного управления развитием угольной компании в условиях возрастания неопределенности рыночной среды [10]. Стратегический вектор развития РПО – формирование среды развития работников и предприятий, предназначение которой – организация системной работы по повышению вовлеченности и деловой активности персонала в процессы совершенствования производственной деятельности, в разработку и внедрение мероприятий, направленных на улучшение и оптимизацию производственных процессов [11].

Основным принципом построения системы непрерывных улучшений является концепция улучшения производственных и организационно-управленческих процессов через реализацию улучшений, реализуемых в формате проектов [12]. Управление проектом включает определение его целей, формирование структуры, планирование и организацию работ, координацию действий исполнителей. Под каждый проект выделяются трудовые, финансовые и другие ресурсы, которыми распоряжается руководитель проекта.

**Результаты и обсуждение**

Для организации системной работы по разработке и реализации системы непрерывных улучшений при РПО со 2-го квартала 2010 г. было разработано и используется Положение о проектной деятельности. Главными целями организации проектной деятельности определены следующие:

1. Повышение эффективности деятельности предприятия за счет поиска и реализации инвестиционно-привлекательных проектов.



Рис. 2  
Основные задачи, решаемые постоянно действующей Комиссией по рассмотрению проектов (мероприятий)

Fig. 2  
Main tasks, which are solved by the regular Commission for projects (actions)

2. Повышение вовлеченности, деловой активности и мотивации персонала к изменениям и улучшениям производственных процессов.

Создана и работает постоянно действующая Комиссия по рассмотрению проектов (мероприятий), направленных на улучшение производственной деятельности (рис. 2).

Основной акцент в работе Комиссии был сделан на использование кадрового потенциала предприятий. Любой сотрудник может быть инициатором разработки и реализации мероприятия по повышению эффективности, которое оформляется как проект. Механизм работы Комиссии представлен на рис. 3.

Проекты рассматриваются и оцениваются комиссией, состоящей из руководителей предприятия.

Критериями оценки проектов (рис. 4) являются: новизна – идея проекта должна быть новой в рамках компании; актуальность – значимость проекта в рамках компании в данный момент времени; практическая осуществимость – способность проекта привести к нужным результатам и экономическая эффективность. Кроме этого, должны быть проанализированы риски, способные повлиять на эффективность и результативность проекта.

После получения положительного заключения Комиссии проект рекомендуется к внедрению. По результатам реализации проекта ответственное лицо представляет в



Рис. 3  
Механизм работы постоянно действующей Комиссии по рассмотрению проектов (мероприятий)

Fig. 3  
Workflow of the regular Commission for projects (actions)

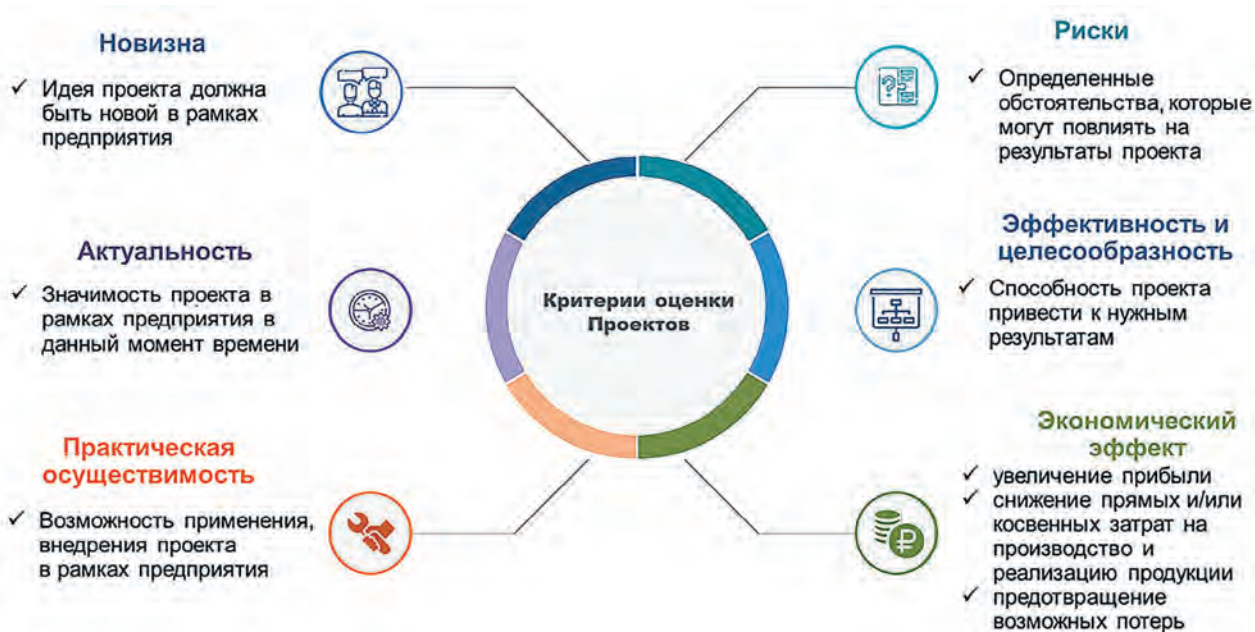


Рис. 4 Критерии оценки проектов, направленных на улучшение производственной деятельности

Fig. 4 Criteria for evaluating the projects that are aimed at improving the production activities

Комиссию отчет о ходе его выполнения и полученных фактических результатах. Работникам, участвующим в разработке и реализации проекта, выплачивается премия с учетом участия и вклада.

Основанием для материального поощрения работников является подтвержденный фактический эффект от мероприятий – обоснованная экономия по соответствующим статьям бюджета. Под обоснованной экономией материальных и энергетических ресурсов понимается экономия ресурсов, достигнутая в результате внедрения рационализаторских предложений, инженерно-технических решений и мероприятий, направленных на совершенствование организации, повышение эффективности производства. Расчет суммы средств, которая может быть использована на премирование работников, производится на основании данных бухгалтерской и управленческой отчетности. Размер вознаграждения персонала может достигать 50% от суммы экономического эффекта по проекту. Источником формирования фонда стимулирования является экономия следующих элементов затрат: материально-технические ресурсы (МТР); горюче-смазочные материалы; энергетические ресурсы и эффект от мероприятий проекта.

Важно отметить, что для премирования не является и не учитывается в качестве обоснованной экономии: разница в плановой и закупочной цене МТР; «экономия» МТР, полученная в связи с несоблюдением регламента работ по обслуживанию и ремонту оборудования; несвоевременная поставка ТМЦ; перенос затрат с периода на период и другие виды экономии, получившиеся без реализации проекта.

В целях повышения вовлеченности персонала в деятельность по улучшению трудовых и организационно-управленческих процессов, деловой активности работников были внесены изменения в Положение о проектной деятельности – дополнительно установлен порядок получения вознаграждения за идеи, в производственных единицах созданы рабочие группы. Фактический экономический эффект от представленных на комиссию и реализованных

Год	Количество рассмотренных мероприятий	Количество принятых мероприятий	Эффект	Выплачено премий
2020 год	55	31	20,9 млн руб.	2,48 млн руб.
2021 год	70	47	135,9 млн руб.	7,81 млн руб.
2022 год	66	38	120,0 млн руб.	8,62 млн руб.
2023 год	64	51	149,8 млн руб.	8,71 млн руб.

Рис. 5 Результаты реализации процессно-проектного подхода в АО «СУЭК-Красноярск»

Fig. 5 Results of implementing the process and project approach at the SUEK-Krasnoyarsk JSC

проектов за 2020–2023 гг. составил 434,6 млн руб. (рис. 5).

Изменение положения о проектной деятельности в части вознаграждения не только за реализованные проекты, но и за идеи, позволило, с одной стороны, увеличить число эффективных проектов, с другой стороны, вовлечь ключевой персонал предприятия в процесс рационализации производства и повысить уровень его мотивированности на поиск и реализацию улучшений на производстве. За счет этого достигнуто значительное повышение вовлеченности и деловой активности персонала предприятий. По результатам оценок специалистов службы управления персоналом в 2023 г. по сравнению с предыдущим годом вовлеченность<sup>2</sup> сотрудников предприятий АО «СУЭК-Красноярск» возросла на 2,2%, уровень удовлетворенности<sup>3</sup> – на 0,2%. Изменен вектор инициатив – значительный объем предложений теперь поступает от линейных руководителей, начальников цехов и инженерно-технического персонала.

Одним из методов развития предприятий и в дополнение к формированию системы непрерывных улучшений

2 Вовлеченность – физическое, эмоциональное и интеллектуальное состояние, в котором сотрудники стремятся выполнять работу как можно лучше и достигать результатов.

3 Удовлетворенность – показатель того, насколько сотрудник доволен своей работой. К типовым факторам, влияющим на комплексную удовлетворенность, относят условия труда, оплату, комфорт и безопасность, содержание работы.

посредством организации работы постоянно действующей Комиссии на предприятиях АО «СУЭК-Красноярск» в 2012–2014 гг. проводилась развивающая аттестация [13; 14], целями которой были:

– формирование и усиление мотивации руководителей производственных подразделений к систематической работе по повышению эффективности и безопасности производства, понимания ими необходимости и выгоды организации этого процесса и участия в нем;

– подготовка руководителей и специалистов к выполнению своих обязанностей в условиях возрастающих требований к эффективности и безопасности производства

Основные этапы проведения развивающей аттестации:

1. Этап (Ознакомительный): проработка с руководителями подразделений, их заместителями, мастерами и механиками участков цели и задач развивающей аттестации, необходимости и полезности проведения анализа своей работы, творческого подхода к выполнению трудовых функций и освоению функции непрерывного организационно-технологического совершенствования производства в своей зоне ответственности.

2. Этап (Подготовительный): проработка с аттестуемыми понимания целей, задач и критериев аттестации, разработка мероприятий по повышению эффективности и безопасности труда на участке в своей зоне ответственности.

3. Этап (Реализация мероприятий): реализация мероприятий по повышению эффективности и безопасности труда на участке в своей зоне ответственности.

4. Этап (Заключительный): проведение развивающей аттестации мастеров и механиков производственных участков, по результатам которой выносятся оценка соответствия мотивационного и квалификационного потенциала работника задачам развития предприятия в зоне его ответственности, определяются направления развития и использования этого потенциала с взаимной выгодой для предприятия и работника.

Основные результаты, полученные по результатам развивающей аттестации на разрезе «Бородинский»:

– количество работников, прошедших аттестацию, – всего 125 чел., в том числе: начальники подразделений – 15 чел.; линейный персонал (мастера и механики участков) – 110 чел.;

– 16% работников проявили высокую степень мотивации к решению задач развития, 34% – продемонстрировали готовность участвовать в решении таких задач и 28% находятся в позиции наблюдателей, 22% – высказали безразличие;

– экономический эффект за период проведения аттестации составил более 70 млн руб.

– наиболее проблемными составляющими функционалов работников, выявленными в ходе аттестации, являются:

1) организация труда и учет использования рабочего времени;

2) выявление резервов производительности труда; умение разрабатывать и использовать организационные и технологические регламенты;

3) разработка карт риска как инструментов улучшения организации производственных процессов.

В ходе проведения развивающей аттестации на разрезе «Бородинский» [15] в несколько циклов уровень мотивированности работников вырос в 1,6 раза, а уровень ответственного отношения к необходимости повышения эффективности и безопасности производства – в 1,4 раза. Такие

показатели были достигнуты в силу того, что много внимания было уделено проработке и формированию у работников потребности к совершенствованию деятельности и созданию на предприятии возможности для ее успешной реализации. Рост мотивированности опережает рост ответственности в силу того, что для ее повышения на предприятии была создана мотивационная среда, в меньшей мере удалось внести изменения и закрепить их в формальных регуляторах трудовой деятельности<sup>4</sup> – нормах и правилах, документально закреплённых в законодательных и нормативных актах, которые опираются на административно-экономические стимулы и персонифицированного гаранта их обеспечения [16].

Как показала практика работы с персоналом предприятий, для формирования и управления потоком интересов руководителей, специалистов и рабочих следует организовать визуализированную систему учета и оценки результатов деятельности работников на каждом уровне управления, начиная от исполнительного директора и заканчивая рабочим. При этом в качестве ключевых оцениваемых направлений реализации функционала руководителей всех уровней целесообразно использовать безопасность и эффективность производства, работу с персоналом и работу по развитию производства. Система учета и оценки результатов деятельности по этим направлениям позволяет каждому руководителю определять и контролировать собственный рейтинг.

Метод рейтинговой оценки результатов трудовой деятельности работников и производственной деятельности подразделений при реализации его на предприятиях Красноярского края включал:

– выбор показателей оценки;

– присвоение им ранга значимости;

– ведение регулярного учета динамики показателей результатов деятельности работников и подразделений.

Ключевыми показателями, учитываемыми в рейтинге, являются: у операционного персонала – производительное время работы, у специалистов – качество исполнения своих функций с учетом их ценности, у руководителей – состояние трудовых и производственных процессов в своих зонах ответственности [17].

Важным условием развития как предприятия, так и компании является развитие управленческого потенциала руководителей и специалистов. Данный метод осваивался посредством обучения работников предприятий в Центре самоподготовки руководящего персонала (г. Челябинск, НИИОГР) [18].

За 2011–2020 гг.<sup>5</sup> в Центре в аналитико-моделирующих семинарах-практикумах, в проработке задач повышения безопасности и эффективности деятельности, своей научно-методической квалификации принял участие 251 работник предприятий РПО. В качестве основных принципов развития управленческого потенциала руководителей и специалистов в Центре самоподготовки реализуются следующие:

– человека ничему нельзя научить, но ему можно помочь научиться;

– человек готов к какой-либо деятельности, если он спо-

4 Формальные регуляторы: производственный план, план горных работ, нарядная система, положение о премировании, положение об оплате труда, паспорта организации работ, организационные регламенты, должностная инструкция, нормы труда, нормы расхода материалов, бюджет и т.п.

5 Начиная с апреля 2020 г. в связи с эпидемиологической ситуацией в регионах и в стране в целом работа в Центре самоподготовки руководящего персонала была частично приостановлена, а далее переведена в формат видеоконференцсвязи.

собен осуществлять ее на уровне предъявляемых требований, и не может – ниже этих требований;

– работник в освоении определенного уровня профессионализма должен быть ведущим, а не ведомым;

– ответственность и полномочия работника производства определяются функционалом – структурой функций, необходимых для осуществления производственного процесса в зоне его ответственности с требуемой динамикой безопасности и эффективности;

– существенное повышение безопасности и эффективности производства обеспечивается на основе сбалансированности и взаимообусловленности функционалов персонала в системе управления предприятия;

– подготовка высокопрофессионального руководителя производства достигается в ходе его стажировок как на должности, к которой его готовят, так и на вышестоящих и смежных должностях, при обязательном участии в реализации проектов улучшений производства;

– источником финансирования подготовки высокопрофессионального руководителя должны быть экономические результаты деятельности, полученные вследствие роста его профессионализма [18].

Важными элементами в развитии управленческого потенциала работников (руководителей, специалистов, операторов) согласно реализуемой в РПО стратегии иннова-

ционного развития определены: интересы и потребности работников, ответственность и полномочия, профессионализм и достоинство. Элементами формируемой среды реализации возможностей развития работников и предприятий являются: система профессионального развития, система выявления и использования резервов и система непрерывного совершенствования деятельности.

### **Заключение**

Освоение системы управления развитием АО «СУЭК-Красноярск» на основе предложенных методов показало эффективность процессно-проектного подхода, обеспечивающего повышение вовлеченности руководителей и специалистов в совершенствование производства. Несмотря на кризисные явления и вызовы АО «СУЭК-Красноярск», используя гибкость и диверсификацию труда и производства, продолжило реализацию стратегии инновационного развития – формирования среды развития для каждого работника, подразделений, предприятий и объединения в целом; обеспечило стабильность производственных процессов, высокий уровень управления рисками, затратами. Благодаря этому рост объемов производства в 2023 г. относительно 2021 г. возрос на 37%, повышение производительности – на 31%.

### **Список литературы / References**

1. Широ А.А. (ред.). *Потенциальные возможности роста российской экономики: анализ и прогноз: научный доклад*. М.: АртКлПринт; 2022. 296 с. <https://doi.org/10.47711/sr2-2022>
2. Фролов И.Э., Борисов В.Н., Ганичев Н.А. Проблемы перехода к инновационному развитию российской экономики в условиях форсированного импортозамещения. *Проблемы прогнозирования*. 2023;(4):67–81. <https://doi.org/10.47711/0868-6351-199-67-81>  
Frolov I.E., Borisov V.N., Ganichev N.A. Problems of transition to innovative-continuous development of the Russian economy in conditions of forced import substitution. *Studies on Russian Economic Development*. 2023;(4):67–81. (In Russ.) <https://doi.org/10.47711/0868-6351-199-67-81>
3. Колпаков А.Ю., Саенко В.В. Анализ зависимости секторов топливно-энергетического комплекса России от импортного оборудования на основе публичных данных. *Проблемы прогнозирования*. 2023;(1):144–155. <https://doi.org/10.47711/0868-6351-196-144-155>  
Kolpakov A.Yu., Saenko V.V. Analysis of Russia's energy sector dependence on imported equipment on the basis of public data. *Studies on Russian Economic Development*. 2023;(1):144–155. (In Russ.) <https://doi.org/10.47711/0868-6351-196-144-155>
4. Федоров А.В., Великосельский А.В., Макаров А.М., Коркина Т.А. Управление развитием угледобывающего производственного объединения в условиях возрастания неопределенности рыночной среды. *Уголь*. 2023;(3):38–44. <https://doi.org/10.18796/0041-5790-2023-3-38-44>  
Fedorov A.V., Velikoselsky A.V., Makarov A.M., Korkina T.A. managing the development of a coal mining production association in conditions of increasing market uncertainty. *Ugol'*. 2023;(3):38–44. (In Russ.) <https://doi.org/10.18796/0041-5790-2023-3-38-44>
5. Moreno-Casas V., Bagus P. Dynamic efficiency and economic complexity. *Economic Affairs*. 2022;42(1):115–154. <https://doi.org/10.1111/ecaf.12509>
6. Комков Н.И. *Проблемы управления развитием крупномасштабных социально-экономических систем: анализ, опыт, методические основы и перспективы*. М.: Наука; 2020. 152 с.
7. Буйницкий А.И., Макаров А.М., Полещук М.Н. Диверсификация деятельности угледобывающего предприятия в условиях изменчивости рыночного спроса. *Уголь*. 2021;(8):58–62. <https://doi.org/10.18796/0041-5790-2021-8-58-62>  
Buinitskiy A.I., Makarov A.M., Poleshchuk M.N. Diversification of a coal mining company in conditions of volatile market demand. *Ugol'*. 2021;(8):58–62. (In Russ.) <https://doi.org/10.18796/0041-5790-2021-8-58-62>
8. Федоров А.В., Великосельский А.В., Лапаева О.А. *Обеспечение долговременной жизнеспособности угледобывающего производственного объединения*. М.: Горная книга; 2019. 280 с.
9. Федоров А.В. *Методология организации опережающего развития угледобывающего производственного объединения: дис. ... д-р техн. наук*. Екатеринбург; 2020. 303 с.
10. Великосельский А.В. *Методологические основы процессно-проектного управления развитием угольной компании в условиях возрастания неопределенности рыночной среды: дис. ... д-ра экон. наук*. М.; 2022. 339 с.

11. Korkina T., Zakharov S., Loyko O. Technology development of coal industry enterprises and professional staff development. In: *Proceedings of the 4<sup>th</sup> International Scientific Conference "Competitiveness and the development of socio-economic systems" dedicated to the memory of Alexander Tatarkin (CDSES 2020), Chelyabinsk, 25–26 November, 2020*. Chelyabinsk: Chelyabinsk State University; 2021, pp. 199–204. <https://doi.org/10.15405/epsbs.2021.04.21>
12. Азев В.А., Гартман А.А., Конакова О.В. Проектный подход к совершенствованию производственной деятельности и развитию персонала предприятий ООО «СУЭК-Хакасия». *Уголь*. 2021;(12):21–27. <https://doi.org/10.18796/0041-5790-2021-12-21-27>  
Azev V.A., Gartman A.A., Konakova O.V. Project approach to enhancement of production activity and staff development at Suek-Khakasia LLC. *Ugol'*. 2021;(12):21–27. (In Russ.) <https://doi.org/10.18796/0041-5790-2021-12-21-27>
13. Евтушенко Е.М., Самарин С.В., Бирилкин В.В., Лабунский Л.В., Лапаева О.А., Полещук М.Н. Развивающая аттестация как способ совершенствования функционала горного мастера (на примере филиала ОАО «СУЭК-Красноярск» «Разрез Бородинский им. М.И. Щадова»). *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2013;(S4-1):642–686.  
Evtushenko E.M., Samarin S.V., Birilkin V.V., Labunskiy L.V., Lapaeva O.A., Poleshchuk M.N. The developing certification as a way to improve the functionality of a mining engineer (using the example of the branch of OJSC "SUEK-Krasnoyarsk" "Razrez Borodinskii named after M.I. Shchadov"). *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 2013;(S4-1):642–686. (In Russ.)
14. Федоров А.В., Великосельский А.В., Маврин В.А., Дорошенко А.А., Буйницкий А.И., Новикова Н.Н. и др. Управление развитием производственного объединения на основе инновационных циклов (на примере ОАО «СУЭК-Красноярск»). *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2013;(S4-1):37–92.  
Fedorov A.V., Velikoselsky A.V., Mavrin V.A., Doroshenko A.A., Buinitskii A.I., Novikova N.N. et al. Managing the development of the production association on the basis of innovation cycles (on the example of "SUEK -KRASNOYARSK"). *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 2013;(S4-1):37–92. (In Russ.)
15. Евтушенко Е.М., Черских О.И., Багрий М.В., Лапаева О.А. Анализ результатов совершенствования функционала линейных руководителей разреза «Бородинский им. М.И. Щадова» (филиал акционерного общества «СУЭК-Красноярск»). *Вестник Челябинского государственного университета*. 2015;(1):105–110.  
Evtushenko E.M., Cherskih O.I., Bagriy M.V., Lapaeva O.A. On the results of perfection functional line managers in the branches of JSC "SUEK-Krasnoyarsk" "Cut Borodino behalf M.I. Schadov". *Bulletin of Chelyabinsk State University*. 2015;(1):105–110. (In Russ.)
16. Яблонских Н.В., Шивырялкина О.С. Институты горнодобывающей компании как регуляторы ее устойчивого развития. В кн.: *Золото. Полиметаллы. XXI век: Устойчивое развитие: материалы 3-й Всерос. науч.-практ. конф., г. Челябинск, 2–3 марта 2022 г М.: Изд-во ИПКОН РАН; 2022. С. 94–96.*
17. Полещук М.Н. Социально-экономическая оценка деятельности работника угледобывающего предприятия: критерии и показатели, методика. *Известия Уральского государственного горного университета*. 2021;(1):150–159. <https://doi.org/10.21440/2307-2091-2021-1-150-159>  
Poleshchuk M.N. Socio-economic valuation of an employee's work activities of a coal mining enterprise: Criteria, indicators, and methodology. *News of the Ural State Mining University*. 2021;(1):150–159. (In Russ.) <https://doi.org/10.21440/2307-2091-2021-1-150-159>
18. Галкин В.А. Центр самоподготовки руководящего персонала горнодобывающих предприятий. *Уголь*. 2013;(6):67–72.  
Galkin V.A. Mining companies' managing personnel self training center. *Ugol'*. 2013;(6):67–72. (In Russ.)

**Информация об авторах**

**Евтушенко Евгений Михайлович** – генеральный директор, АО «СУЭК-Красноярск», г. Красноярск, Российская Федерация; e-mail: [evtushenkoe@suek.ru](mailto:evtushenkoe@suek.ru)

**Великосельский Андрей Владимирович** – доктор экономических наук, директор по экономике и финансам, АО «СУЭК-Красноярск», г. Красноярск, Российская Федерация; e-mail: [velikoselskyav@suek.ru](mailto:velikoselskyav@suek.ru)

**Лапаева Оксана Анатольевна** – доктор экономических наук, ученый секретарь, Научно-исследовательский институт эффективности и безопасности горного производства; ведущий научный сотрудник, Челябинский филиал Института горного дела Уральского отделения РАН, г. Челябинск, Российская Федерация; e-mail: [lapaeva@yandex.ru](mailto:lapaeva@yandex.ru)

**Information about the authors**

**Evgenii M. Evtushenko** – Director General, JSC "SUEK-Krasnoyarsk", Krasnoyarsk, Russian Federation; e-mail: [evtushenkoe@suek.ru](mailto:evtushenkoe@suek.ru)

**Andrey V. Velikoselskiy** – Dr. Sci. (Econ.), Director for Economics and Finance, JSC "SUEK-Krasnoyarsk", Krasnoyarsk, Russian Federation; e-mail: [velikoselskyav@suek.ru](mailto:velikoselskyav@suek.ru)

**Oksana A. Lapaeva** – Dr. Sci. (Econ.), Scientific Secretary, Scientific Research Institute of Efficiency and Safety of Mining; senior research officer, Chelyabinsk branch of the Mining Institute of the Ural branch of the Russian Academy of Sciences, Chelyabinsk, Russian Federation; e-mail: [lapaeva@yandex.ru](mailto:lapaeva@yandex.ru)

**Article info**

Received: 03.04.2024

Revised: 06.05.2024

Accepted: 08.05.2024

**Информация о статье**

Поступила в редакцию: 03.04.2024

Поступила после рецензирования: 06.05.2024

Принята к публикации: 08.06.2024

# 1000



Высокий ресурс

КАРЬЕРНЫЙ САМОСВАЛ

# RT100

 **РУСБИЗНЕСАВТО**  
АВТОТЕХНИКА • СЕРВИС • ЗАПЧАСТИ

НА РЫНКЕ  
АВТОТЕХНИКИ  
**с 1993**



**ОФИЦИАЛЬНЫЙ  
ДИСТРИБЬЮТОР**

8 (800) 700-67-50  
[www.rbauto.ru](http://www.rbauto.ru)

# ТОНН ГРУЗОПОДЪЕМНОСТЬ

16+

РЕКЛАМА

Комфорт  
и безопасность  
водителя

Двигатель: Weichai,  
Мощность: 770 л.с.

Пневмогидравлические  
подвески

Автоматическая трансмиссия:  
Allison 6620 ORS

**КАРЬЕРНЫЕ САМОСВАЛЫ  
И ЭКСКАВАТОРЫ**

16+

РЕКЛАМА

**СИТ**

**СТРОЙИМПОРТТЕХНИКА**



**SHANTUI-SIT.RU**

**8 (495) 662-64-61**