

ОСНОВАН В 1925 ГОДУ

ISSN 0041-5790

**ЕЖЕМЕСЯЧНЫЙ** НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ  
И ПРОИЗВОДСТВЕННО-ЭКОНОМИЧЕСКИЙ **ЖУРНАЛ**

# УГОЛЬ

МИНИСТЕРСТВА ЭНЕРГЕТИКИ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

[WWW.UGOLINFO.RU](http://WWW.UGOLINFO.RU)

# 12-2023

## СЕКЦИЯ КРЕПИ КМУ-Л-13/28



НИВА-ХОЛДИНГ



**Диапазон раздвижности**

**Шаг установки**

**Соппротивление крепи**

**Возможность работы крепи по углам наклона:**

поперечный (вдоль лавы)

продольный (вдоль столба)

**1,3-2,8 м**

**1,5 м**

**до 1150 кН/м<sup>2</sup>**

**до ±45°**

**до ±25°**



Филиал УПП «НИВА» -  
«Завод горно-шахтного оборудования»  
Тел/факс: +375 (174) 26-10-61  
e-mail: [zgsho@niva.by](mailto:zgsho@niva.by)



ПОДРОБНЕЕ НА СТР. 20-21

**В НОВЫЙ ГОД С ЭФФЕКТИВНЫМ  
ОБОРУДОВАНИЕМ TAPP GROUP**

# Инновационный подход к решению горнотехнических задач



## Научно-исследовательский центр - Институт проектирования горных предприятий «РАНК»

- ▶ *Направленный гидроразрыв (НГР)*
- ▶ *Камеральные геологические работы*
- ▶ *Сопровождение прогноза удароопасности*
- ▶ *Проектирование геологоразведочных работ*
- ▶ *Проектирование анкерной крепи*
- ▶ *Проектирование горных работ*
- ▶ *Заключения по безопасному ведению горных работ*
- ▶ *Гидрогеология*

г. Кемерово, пр-т.Советский,7  
тел.: +7 906 920 00 40  
[nits.info@yandex.ru](mailto:nits.info@yandex.ru)  
[nits-ipgp.ru](http://nits-ipgp.ru)



# С Новым Годом!

*Успешной реализации самых амбициозных планов в Новом Году, дорогие друзья и коллеги!*

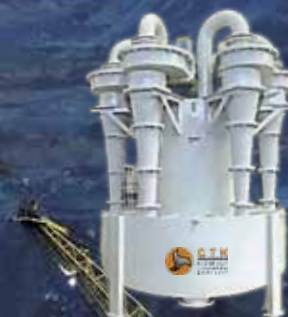
*Благодарим Вас за доверие.*

*Не подведем и в 2024 году и осуществим все задуманное вместе.*

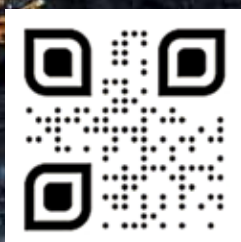


**СТК**

СИБИРСКАЯ  
ТЕХНИЧЕСКАЯ  
КОМПАНИЯ



ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПРОИЗВОДСТВО ПОСТАВКА СЕРВИС  
ОБОГАТИТЕЛЬНОГО И ГОРНОШАХТНОГО ОБОРУДОВАНИЯ



+7 495 3693091  
[OFFICE@STC.ST](mailto:OFFICE@STC.ST)

**Stc.st**

**Главный редактор**  
**МОЧАЛЬНИКОВ С.В.**  
Канд. экон. наук,  
заместитель министра энергетики  
Российской Федерации

**РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ**

**АРТЕМЬЕВ В.Б.,**  
доктор техн. наук  
**ГАЛКИН В.А.,**  
доктор техн. наук, профессор  
**ЗАЙДЕНВАРГ В.Е.,**  
доктор техн. наук, профессор  
**ЗАХАРОВ В.Н.,** чл.-корр. РАН,  
доктор техн. наук, профессор  
**КОВАЛЬЧУК А.Б.,**  
доктор техн. наук, профессор  
**КОЛИКОВ К.С.,**  
доктор техн. наук  
**ЛИТВИНЕНКО В.С.,**  
доктор техн. наук, профессор  
**МОХНАЧУК И.И.,** канд. экон. наук  
**ПЕТРОВ И.В.,**  
доктор экон. наук, профессор  
**ПОПОВ В.Н.,**  
доктор экон. наук, профессор  
**ПОТАПОВ В.П.,**  
доктор техн. наук, профессор  
**РОЖКОВ А.А.,**  
доктор экон. наук, профессор  
**РЫБАК Л.В.,**  
доктор экон. наук, профессор  
**СКРЫЛЬ А.И.,** горный инженер  
**СУСЛОВ В.И.,** чл.-корр. РАН,  
доктор экон. наук, профессор  
**ЩАДОВ В.М.,**  
доктор техн. наук, профессор  
**ЯКОВЛЕВ Д.В.,**  
доктор техн. наук, профессор

**Иностранцы члены редколлегии**

Проф. **Гюнтер АПЕЛЬ,**  
доктор техн. наук, Германия  
Проф. **Карстен ДРЕБЕНШТЕДТ,**  
доктор техн. наук, Германия  
Проф. **Юзеф ДУБИНЬСКИ,**  
доктор техн. наук, чл.-корр. Польской  
академии наук, Польша  
**Сергей НИКИШИЧЕВ,**  
комп. лицо FIMMM,  
канд. экон. наук, Великобритания,  
Россия, страны СНГ  
Проф. **Любен ТОТЕВ,**  
доктор наук, Болгария

**ЕЖЕМЕСЯЧНЫЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ  
И ПРОИЗВОДСТВЕННО-ЭКОНОМИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ**

Основан в октябре 1925 года

**УЧРЕДИТЕЛИ**  
МИНИСТЕРСТВО ЭНЕРГЕТИКИ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
РЕДАКЦИЯ ЖУРНАЛА «УГОЛЬ»

**ДЕКАБРЬ**  
**12-2023** /1174/

**УГОЛЬ****ИНФОРМАЦИЯ И АНАЛИТИКА**

Тулеев Аман Гумирович (13.05.1944-20.11.2023) _____	6
Мешков Г.Б., Петренко И.Е., Губанов Д.А.	
Итоги работы угольной промышленности России за январь-сентябрь 2023 года _____	7
Штейнцайг Роман Михайлович (к 70-летию со дня рождения) _____	17
ЛУКОЙЛ	
Онлайн-мониторинг масел: техника под контролем _____	18
Лохов Д.С.	
Оборудование для работы с трудным материалом _____	20
Хроника. События. Факты. Новости _____	22

**ИНФОРМАЦИЯ И АНАЛИТИКА**

Цивилева А.Е., Голубев С.С.	
Методика проведения аудита цифровой зрелости организаций угледобывающей промышленности _____	24
Куземченко М.Н., Черских О.И., Назарян С.А.	
Опыт повышения производительности горнотранспортного оборудования на Солнцевском угольном разрезе _____	30

**ИННОВАЦИИ**

Рада А.О., Кузнецов А.Д., Непомнищев И.Л., Коньков Н.Ю.	
Совершенствование измерений объемных объектов по данным лазерного сканирования _____	37

**ЭКОНОМИКА**

Васильев Е.В., Киренберг А.Г., Кисляков И.М., Медведев А.В., Прокопенко Е.В.	
Электроэнергетическая отрасль региона: математическое моделирование эколого-экономической оценки эффективности развития _____	44
Бондарев Н.С., Бондарева Г.С.	
Мониторинг использования земельных участков в угледобыче _____	50

**БЕЗОПАСНОСТЬ**

Абикенова Ш.К., Баизбаев М.Б., Даумова Г.К., Кульмагамбетова Э.А.	
О новом подходе к выбору средств индивидуальной защиты от негативного воздействия пылевого фактора и шума _____	55
Рыбичев А.А., Пернебек Б.П.	
Оценка эффективности пылеподавления с использованием смачивающих растворов _____	60

**ПОДЗЕМНЫЕ РАБОТЫ**

Халкечев Р.К., Халкечев К.В., Левкин Ю.М., Кузьменко С.Ю.	
Математическое обеспечение информационной системы анализа процесса разрушения трещиноватой кровли на угольных месторождениях _____	64

**ОТКРЫТЫЕ РАБОТЫ**

Насиров У.Ф., Заиров Ш.Ш., Каримов Ш.В.	
Исследование и оценка технологического автотранспорта для эффективной транспортировки горной массы в глубоких карьерах _____	67
Захаров В.Н., Федотенко В.С., Ефремовцев Н.Н.	
Исследование техногенного воздействия взрывных работ при открытой разработке месторождений угля _____	73

**ЭКОЛОГИЯ**

Вылегжанина А.В., Зимин А.И.	
Сравнение картины течения в прудах-отстойниках разной геометрии _____	80
Перевощикова А.А., Малышкина Е.Е., Митракова Н.В.	
Анализ микроэлементного состава почв рекультивированных отвалов Кизеловского угольного бассейна _____	85

**ПЕРЕРАБОТКА УГЛЯ**

Клебанов Д.А., Князькин Е.А., Макеев М.А.	
Прогнозная аналитика при управлении качеством на горнообогатительном производстве на примере добычи и обогащения угля _____	92
Черкасова Т.Г., Пилин М.О., Тихомирова А.В., Баранцев Д.А.	
Анализ состава отходов углеперерабатывающего предприятия АО ЦОФ «Березовская» _____	98

**ООО «РЕДАКЦИЯ ЖУРНАЛА «УГОЛЬ»**

119049, г. Москва,  
Ленинский проспект, д. 2А, офис 819  
Тел.: +7 (499) 237-22-23  
E-mail: ugol1925@mail.ru  
E-mail: ugol@ugolinfo.ru

**Генеральный директор**  
**Ольга ГЛИНИНА**

**Научный редактор**

**Ирина КОЛОБОВА**

**Менеджер**

**Ирина ТАРАЗАНОВА**

**Ведущий специалист**

**Валентина ВОЛКОВА**

**Технический редактор**

**Наталья БРАНДЕЛИС**

ЖУРНАЛ ЗАРЕГИСТРИРОВАН  
Федеральной службой по надзору  
в сфере связи и массовых коммуникаций.  
Свидетельство о регистрации  
средства массовой информации  
ПИ № ФС77-34734 от 25.12.2008

**ЖУРНАЛ ВКЛЮЧЕН**

в Перечень ВАК Минобрнауки РФ  
(в международные реферативные базы  
данных и системы цитирования) –  
по техническим и экономическим наукам

Двулетний импакт-фактор РИНЦ – 1,151  
(без самоцитирования – 0,79)

Пятилетний импакт-фактор РИНЦ – 0,71  
(без самоцитирования – 0,501)

ЖУРНАЛ ПРЕДСТАВЛЕН  
в Интернете на веб-сайте

**www.ugolinfo.ru**

**www.ugol.info**

и на отраслевом портале  
«РОССИЙСКИЙ УГОЛЬ»

**www.rosugol.ru**

**НАД НОМЕРОМ РАБОТАЛИ:**

Научный редактор **И.М. КОЛОБОВА**

Корректор **В.В. ЛАСТОВ**

Компьютерная верстка **Н.И. БРАНДЕЛИС**

Подписано в печать 05.12.2023.

Формат 60x90 1/8.

Бумага мелованная. Печать офсетная.

Усл. печ. л. 16,0 + обложка.

Тираж 3300 экз. Тираж эл. версии 1600 экз.

Общий тираж 4900 экз.

**Отпечатано:**

ООО «РОЛИКС ПРИНТ»

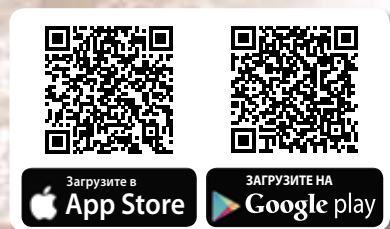
117105, г. Москва, пр-д Нагорный, д.7, стр.5

Тел.: (495) 661-46-22;

www.roliksprint.ru

Заказ № 137156

Журнал в **App Store** и **Google Play**



Прокопьев Е.С., Прокопьев С.А., Алексеева О.Л.

Результаты исследований угольных шламов \_\_\_\_\_ 104

Черкасова Т.Г., Неведров А.В., Папин А.В.

Термическое растворение каменных углей Кузбасса \_\_\_\_\_ 108

**БУРОВЗРЫВНЫЕ РАБОТЫ**

Аверин А.П. Харченко А.В.

Обоснование критериев оценки результатов ведения буровзрывных работ  
в части экологической эффективности \_\_\_\_\_ 112

**ЗА РУБЕЖОМ**

Зеньков И.В., Чинь Ле Хунг, Юронен Ю.П., Кузина Л.Н., Миронова Ж.В., Шатров Р.А., Раевич К.В., Скопякова С.Н.

Топливо-энергетический комплекс Австралии по данным спутниковой съемки.

Добыча угля и угольная генерация электроэнергии \_\_\_\_\_ 117

**ПЕРЕЧЕНЬ**

Перечень статей, опубликованных в журнале «Уголь» в 2023 году \_\_\_\_\_ 121

**МНЕНИЕ ЭКСПЕРТА В УГЛЕБОГАЩЕНИИ**

Профессор УГЛЕВ

Производительность дуговых сит по обезвоживанию шлама \_\_\_\_\_ 128

**Список реклам и поздравлений**

Филиал УПП «НИВА» – Завод горно-шахтного оборудования	1-я обл.	ООО «СТК» –	2
TAPP Group	2-я обл.	ВК «Кузбасская ярмарка»	15
ООО «Сибуголь»	3-я обл.	НМЗ «ИСКРА»	16
ООО «СТК»	4-я обл.	TAPP Group	21
ООО «РАНК 2»	1	НПП Завод МДУ	59

**ПОДПИСКА на 2024 год**

# УГОЛЬ

**УЧРЕДИТЕЛИ:**  
**МИНИСТЕРСТВО ЭНЕРГЕТИКИ**  
**РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**  
**РЕДАКЦИЯ ЖУРНАЛА «УГОЛЬ»**

Ежемесячный научно-технический и производственно-экономический журнал «УГОЛЬ» издается с 1925 г. и является печатным органом Министерства энергетики Российской Федерации – центральным изданием и проводником государственной политики в угольной промышленности. В журнале публикуются материалы о состоянии и перспективах угольной отрасли, о работе предприятий, заметки из регионов, материалы горных выставок, конференций, конгрессов, официальные документы и история горного дела, освещаются новости горной техники и технологии добычи, переработки и использования угля, поднимаются вопросы охраны труда, промышленной безопасности, экологии и социальной тематики.

**Стоимость  
(для России и СНГ), руб.****Рассылка через АРЗИ**

<b>1 мес.</b>	<b>На год</b>
<b>750</b>	<b>9 000</b>

**Доставка заказной бандеролью**

<b>1 мес.</b>	<b>На год</b>
<b>850</b>	<b>10 200</b>

**ЭЛЕКТРОННАЯ ПОДПИСКА  
(только годовая) – оформление  
электронной подписки на журнал  
«Уголь» на 2024 год – 7 800 руб.**

ООО «Редакция журнала «Уголь»  
119049, г. Москва,  
Ленинский проспект, д.2А, офис 819  
тел.: +7 (499) 237-22-23  
e-mail: ugol1925@mail.ru  
www.ugolinfo.ru

**Подписные индексы:**

– Интернет-каталог «Пресса России» – **87717; Т7728; Э87717**

– Каталог «Урал-Пресс» – **87717; 007097**

**Журнал входит**

в Перечень ВАК Минобрнауки РФ.

**Журнал представлен в eLIBRARY.RU**

(входит в Российский индекс научного цитирования (РИНЦ) и «КиберЛенинке».

**Журнал индексируется в SCOPUS –**

международной реферативной базе данных и систем цитирования (рейтинг журнала Q3).

**Журнал является партнером**

**CROSSREF.** Редакция является членом Международной ассоциации по связям издателей / Publishers International Linking Association, Inc. (PILA). Всем научным статьям журнала присваиваются Digital Object Identifier (DOI).

**Журнал является партнером EBSCO.**

**Журнал с 2020 г. представлен на платформе CNKI Scholar** – ведущего китайского агрегатора и поставщика академической информации.

**Chief Editor****MOCHALNIKOV S.V.**Ph.D. (Economic),  
Deputy Minister of Energy  
of the Russian Federation,  
Moscow, 107996, Russian Federation**Members of the editorial council:****ARTEMIEV V.B.**, Dr. (Engineering),  
Moscow, 115054, Russian Federation**GALKIN V.A.**, Dr. (Engineering), Prof.,  
Chelyabinsk, 454048, Russian Federation**ZAIDENVARG V.E.**, Dr. (Engineering), Prof.,  
Moscow, 119019, Russian Federation**ZAKHAROV V.N.**, Dr. (Engineering), Prof.,  
Corresp. Member of the RAS,  
Moscow, 111020, Russian Federation**KOVALCHUK A.B.**, Dr. (Engineering), Prof.,  
Moscow, 119019, Russian Federation**KOLIKOV K.S.**, Dr. (Engineering),  
Moscow, 119019, Russian Federation**LITVINENKO V.S.**, Dr. (Engineering), Prof.,  
Saint Petersburg, 199106, Russian Federation**MOKHNACHUK I.I.**, Ph.D. (Economic),  
Moscow, 109004, Russian Federation**PETROV I.V.**, Dr. (Economic), Prof.,  
Moscow, 119071, Russian Federation**POPOV V.N.**, Dr. (Economic), Prof.,  
Moscow, 119071, Russian Federation**POTAPOV V.P.**, Dr. (Engineering), Prof.,  
Kemerovo, 650025, Russian Federation**ROZHKOV A.A.**, Dr. (Economic), Prof.,  
Moscow, 119071, Russian Federation**RYBAK L.V.**, Dr. (Economic), Prof.,  
Moscow, 119034, Russian Federation**SKRYL' A.I.**, Mining Engineer,  
Moscow, 119049, Russian Federation**SUSLOV V.I.**, Dr. (Economic), Prof.,  
Corresp. Member of the RAS,  
Novosibirsk, 630090, Russian Federation**SHCHADOV V.M.**, Dr. (Engineering), Prof.,  
Moscow, 119034, Russian Federation**YAKOVLEV D.V.**, Dr. (Engineering), Prof.,  
Saint Petersburg, 199106, Russian Federation**Foreign members of the editorial council:**Prof. **Guenther APEL**, Dr.-Ing.,  
Essen, 45307, GermanyProf. **Carsten DREBENSTEDT**, Dr. (Engineering),  
Freiberg, 09596, GermanyProf. **Jozef DUBINSKI**, Dr. (Engineering),  
Corresp. Member PAS, Katowice, 40-166, PolandProf. **Sergey NIKISHICHEV**, FIMMM, Ph.D. (Economic),  
Moscow, 125047, Russian FederationProf. **Luben TOTEV**, Dr., Sofia, 1700, Bulgaria**Ugol' Journal Edition LLC**Leninsky Prospekt, 2A, office 819  
Moscow, 119049, Russian Federation

Tel.: +7 (499) 237-2223

E-mail: ugol1925@mail.ru

www.ugolinfo.ru

**MONTHLY JOURNAL, THAT DEALS WITH SCIENTIFIC,  
TECHNICAL, INDUSTRIAL AND ECONOMIC TOPICS**

Established in October 1925

**FOUNDERS**MINISTRY OF ENERGY  
THE RUSSIAN FEDERATION,  
UGOL' JOURNAL EDITION LLC**DECEMBER****12' 2023****UGOL' / RUSSIAN  
COAL  
JOURNAL****INFORMATION & ANALYTICS**Meshkov G.B., Petrenko I.E., Gubanov D.A.  
**Russia's coal industry performance  
for January – September, 2023** \_\_\_\_\_ 7**Online monitoring of oils:  
equipment under control** \_\_\_\_\_ 18Lokhov D.S.  
**Equipment for working  
with difficult material** \_\_\_\_\_ 20**The chronicle. Events. The facts. News** \_\_\_\_\_ 22**PRODUCTION SETUP**Tsivileva A.E., Golubev S.S.  
**Methodology for conducting an audit  
of the digital maturity  
of coal mining organizations** \_\_\_\_\_ 24Kuzemchenko M.N., Cherskikh O.I., Nazaryan S.A.  
**Experience in increasing productivity  
of mining transportation equipment  
at Solntsevo coal strip mine** \_\_\_\_\_ 30**INNOVATIONS**Rada A.O., Kuznetsov A.D.,  
Nepomnishchev I.L., Konkov N.Yu.  
**Improving measurements  
of volumetric objects in the coal industry  
using laser scanning data** \_\_\_\_\_ 37**ECONOMICS**Vasiliev E.V., Kirenberg A.G., Kislyakov I.M.,  
Medvedev A.V., Prokopenko E.V.  
**Electric power industry of a region:  
mathematical modeling of environmental  
and economic assessment  
of development efficiency** \_\_\_\_\_ 44  
Bondarev N.S., Bondareva G.S.  
**Monitoring of land use in coal mining** \_\_\_\_\_ 50**SAFETY**Abikenova Sh.K., Baizbaev M.B.,  
Daumova G.K., Kulmagambetova E.A.  
**On the new approach to selecting  
personal protective equipment against  
negative effects of the dust  
and noise exposure** \_\_\_\_\_ 55  
Rybichev A.A., Pernebek B.P.  
**Evaluation of the efficiency of dust suppression  
with the use of wet solutions** \_\_\_\_\_ 60**UNDERGROUND MINING**Khalkechev R.K., Khalkechev K.V.,  
Levkin Yu.M., Kuzmenko S.Yu.  
**Mathematical support of the information****system for analyzing the process  
of fractured roof destruction in coal fields** \_\_\_\_\_ 64**SURFACE MINING**Nasirov U.F., Zairov Sh.Sh., Karimov Sh.V.  
**Research and evaluation of process fleet  
for effective haulage of rock mass  
in deep open pits** \_\_\_\_\_ 67Zakharov V.N., Fedotenko V.S., Efremovtsev N.N.  
**Research of technogenic impact  
of explosive works during open-pit mining  
of coal deposits** \_\_\_\_\_ 73**ECOLOGY**Vylegzhanina A.V., Zimin A.I.  
**Comparison of flow patterns  
in tailings ponds of different geometries** \_\_\_\_\_ 80Perevoshchikova A.A., Malysheva E.E.,  
Mitrakova N.V.  
**Analysis of the microelement composition  
of soils from recultivated coal dumps  
of the Kizel Coal Basin** \_\_\_\_\_ 85**COAL PREPARATION**Klebanov D.A., Knyazkin E.A., Makeev M.A.  
**Predictive analytics in quality management  
at mining and processing operations  
as exemplified by coal mining and processing** \_\_\_\_\_ 92Cherkasova T.G., Pilin M.O.,  
Tikhomirova A.V., Barancev D.A.  
**Analysis of the waste composition  
of Coal Processing Enterprise "Berezovskay"** \_\_\_\_\_ 98Prokopiev E.S., Prokopiev S.A., Alekseeva O.L.  
**Coal slurry research results** \_\_\_\_\_ 104Cherkasova T.G., Nevedrov A.V., Papin A.V.  
**Thermal dissolution of Kuzbass black coals** \_\_\_\_\_ 108**DRILLING AND BLASTING OPERATIONS**Averin A.P., Kharchenko A.V.  
**Justification for criterias of assessing  
the results of drilling and explosive operations  
in part of ecological efficiency** \_\_\_\_\_ 112**ABROAD**Zenkov I.V., Trinh Le Hung, Yuronen Yu.P.,  
Kuzina L.N., Mironova Zh.V., Shatrov R.A.,  
Raevich K.V., Skornyakova S.N.  
**Australian Fuel and Energy Complex based  
on satellite imaging data. Coal mining  
and coal-fired power generation** \_\_\_\_\_ 117**LIST OF MATERIALS****Index of articles published in Ugol' –  
Russian Coal Journal in 2023** \_\_\_\_\_ 127

## ТУЛЕЕВ Аман Гумирович – прощание с народным губернатором

**20 ноября на 80-м году ушел из жизни доктор политических наук, профессор, Герой Кузбасса, Почетный гражданин Кемеровской области – Аман Гумирович Тулеев.**



Аман Гумирович родился 13 мая 1944 г. в городе Красноводске Туркменской ССР. После окончания с отличием Тихорецкого техникума железнодорожного транспорта по направлению приехал в Сибирь, в железнодорожный поселок Мундыбаш Кемеровской области. С тех пор его жизнь была прочно связана с Кузбассом. Начав свою трудовую деятельность дежурным по станции, он прошел путь до начальника Кемеровской железной дороги. В 1990 г. в жизнь Амана Гумировича вошла политика: он был избран народным депутатом РСФСР, был членом Совета Федерации Федерального Собрания Российской Федерации от Кузбасса, с 1994 по 1996 г. – председателем Законодательного Собрания Кемеровской области, занимал пост министра Российской Федерации по сотрудничеству с государствами – участниками Содружества Независимых Государств.

В июле 1997 г. Аман Гумирович как высококвалифицированный специалист и опытный организатор был назначен главой Администрации Кемеровской области. Серьезным испытанием и проверкой на прочность стала забастовка шахтеров 1998 г., когда они, добиваясь выплаты долгов по зарплате, заблокировали движение по Транссибу. Аман Гумирович сумел справиться с ситуацией и вывести регион из кризиса. Будучи крепким руководителем, обладающим особой ответственностью, высокими деловыми и человеческими качествами, он более 20 лет эффективно руководил регионом, трудился на благо его жителей, внес большой вклад в повышение качества жизни кузбассовцев. Трижды баллотировался на должность Президента Российской Федерации. Он возглавлял регион более 20 лет и ушел в отставку после гибели 60 человек при пожаре в ТРЦ «Зимняя вишня» в 2018 г.

В последние годы Аман Тулеев возглавлял Кузбасский региональный институт развития профессионального образования, созданный в 2002 г. по его же инициативе.

Аман Гумирович был не просто большим патриотом Кузбасса, это был настоящий державник, для которого интересы нашей страны всегда были на первом месте. За колоссальную работу на своем посту, большой организаторский талант и достигнутые регионом успехи А.Г. Тулеев награжден орденом Почета, орденом «За заслуги перед Отечеством» всех четырех степеней, медалью «За трудовую доблесть» и многими другими наградами.

Прощание с бывшим главой региона проходило в Музыкальном театре 22 ноября 2023 г., его похоронили на городском кладбище Кемерово, рядом с могилой сына.

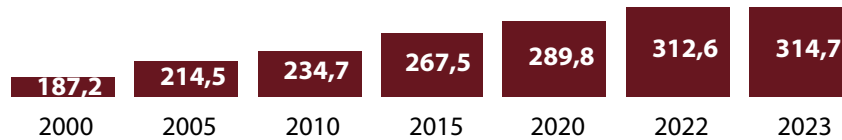
**Светлая память об А.Г. Тулееве навсегда сохранится в сердцах тех, кто его знал, уважал и работал с ним, кому он был дорог.  
Выражаем искренние соболезнования родным и близким Амана Гумировича.**

*Губернатор Кузбасса С.Е. Цивилев, депутаты Парламента Кузбасса, члены Правительства Кузбасса, главы муниципальных образований Кузбасса, депутаты представительных органов муниципальных образований, общественные организации и объединения, горно-техническая общественность России*



# ИТОГИ РАБОТЫ угольной промышленности России за январь-сентябрь 2023 года

Добыча угля в России за январь-сентябрь, млн т



Источник: Росстат.

**Источники использованных данных:** Росстат, Департамент угольной промышленности Минэнерго России, ЦДУ ТЭК – филиал ФГБУ «РЭА» Минэнерго России, пресс-релизы угольных компаний, а также отечественные и зарубежные литературные и интернет-источники.

**Аналитический обзор итогов работы угольной промышленности России за январь-сентябрь 2023 г.** сформирован на основе ежемесячных (оперативная информация) статистических, технико-экономических и производственных показателей деятельности предприятий по добыче и переработке угля, сопровождается диаграммами, таблицами и обширными статистическими данными.

**Ключевые слова:** добыча угля, добыча угля для коксования, экономика, переработка угля, рынок угля, отгрузка угля, экспорт и импорт угля.

## МЕШКОВ Г.Б.

Директор ЦДУ ТЭК – филиала  
ФГБУ «РЭА» Минэнерго России

## ПЕТРЕНКО И.Е.

Горный инженер,  
канд. техн. наук,  
независимый горный  
консультант-эксперт  
(угольная промышленность),  
Почетный шахтер  
e-mail: coaldepartment@inbox.ru

## ГУБАНОВ Д.А.

ЦДУ ТЭК – филиал  
ФГБУ «РЭА» Минэнерго России

## ВВЕДЕНИЕ

Россия является одним из мировых лидеров по производству и экспорту угля, она занимает пятое место в мире по объемам угледобычи после Китая, Индии, Индонезии и США (на долю России приходится около 5% мировой угледобычи) и третье место в мире по экспорту угля после Индонезии и Австралии (на международном рынке на долю России приходится около 15%).

По сведениям Минприроды России, запасы угля в России расположены в границах 22 угольных бассейнов и 146 отдельных месторождений. По данным Государственного баланса запасов полезных ископаемых, запасы угля в РФ по состоянию на 01.01.2022 категории А+В+С<sub>1</sub> составляют 195,9 млрд т, категории С<sub>2</sub> – 78,4 млрд т. Прогнозные ресурсы угля составляют: по категории Р<sub>1</sub> – 468 млрд т, Р<sub>2</sub> – 388 млрд т, Р<sub>3</sub> – 672,9 млрд т.

Запасы каменного угля оцениваются в 120,4 млрд т (из которых 50,1 млрд т пригодны для коксования), запасы бурого угля – в 146 млрд т. Запасы антрацитов учитываются в объеме 9 млрд т. Порядка 174,6 млрд т (63%) запасов угля пригодны для условий открытой разработки.

По данным ЦДУ ТЭК, фонд действующих угледобывающих предприятий России по состоянию на 01.10.2023 насчитывает 179 предприятий, в том числе 52 шахты и 127 разрезов. Суммарная производственная мощность угледобывающих предприятий, по сведениям Минэнерго России, на начало 2022 г. составила 523 млн т угля в год.

В России уголь потребляется практически во всех субъектах Российской Федерации. Основные потреби-

тели угля на внутреннем рынке – это электростанции и коксохимические заводы. Из угледобывающих регионов самым крупным производителем и поставщиком угля является Кемеровская область – Кузбасс, в январе-сентябре 2023 г. здесь произведено около половины (49,7%) всего добываемого угля в стране, а также 61,4% углей коксующихся марок. Кузбасс является также крупнейшим экспортером российского угля (54,4%), в том числе для коксования.

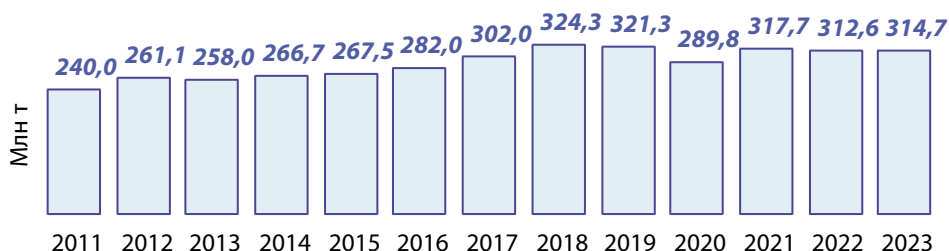
## ДОБЫЧА УГЛЯ В РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Добыча угля в России за январь-сентябрь 2023 г. составила, по данным Росстата, 314,7 млн т. Отмечен рост объема добычи угля по сравнению с уровнем 9 мес. 2022 г. на 2,1 млн т, или на 0,9%.

По данным ЦДУ ТЭК, добыча угля в России за январь-сентябрь 2023 г. составила 322,2 млн т. Она увеличилась по сравнению с 9 мес. 2022 г. на 2,2 млн т, или на 0,7%. Поквартальная добыча составила: в первом квартале – 108,1 млн т, во втором – 108,9 млн т, в третьем – 105,2 млн т.

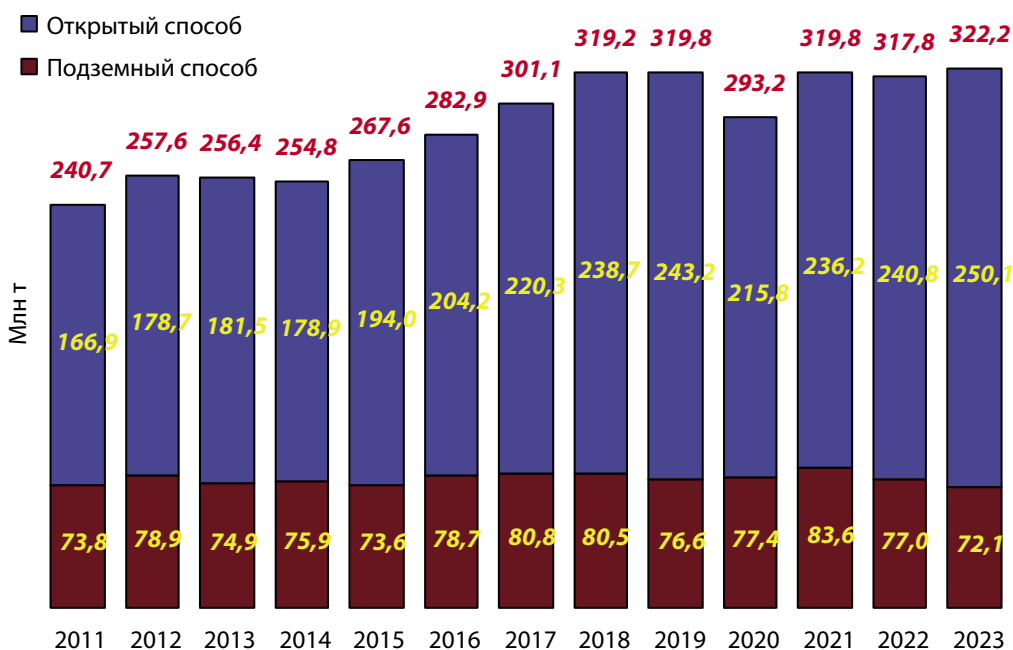
Добыча угля подземным способом составила 72,1 млн т (на 5 млн т, или на 6,5% меньше, чем годом ранее). Из них в первом квартале добыто 24,8 млн т, во втором – 24,3 млн т, в третьем – 23 млн т. Добыча угля открытым способом составила 250,1 млн т (на 7,2 млн т, или на 3% выше уровня января-сентября 2022 г.). В первом квартале добыто 83,3 млн т, во втором – 84,6 млн т, в третьем – 82,2 млн т. Удельный вес открытого способа в общей добыче составил 77,6% (годом ранее было 75,9%).

Добыча угля в России в январе-сентябре 2011-2023 гг.



Источник: Росстат.

Добыча угля в России в январе-сентябре 2011-2023 гг. по способам добычи



Источник: ЦДУ ТЭК.

За 9 мес. 2023 г. проведено 263,2 км горных выработок (на 17,8 км, или на 6,3% ниже прошлогоднего уровня), в том числе вскрывающих и подготавливающих выработок – 212,3 км (на 7,5 км, или на 3,4% меньше, чем годом ранее). При этом уровень комбайновой проходки состав-

ляет 95,6% от общего объема проведенных выработок (годом ранее этот показатель составлял 96,2%).

Объем вскрывных работ за январь-сентябрь текущего года составил 1846,4 млн м<sup>3</sup> (на 54,8 млн м<sup>3</sup>, или на 3,1% выше объема аналогичного периода 2022 г.).

### ДОБЫЧА УГЛЯ ПО УГОЛЬНЫМ БАСЕЙНАМ И ФЕДЕРАЛЬНЫМ ОКРУГАМ

В январе-сентябре 2023 г. по сравнению с аналогичным периодом прошлого года добыча угля увеличилась только в Канско-Ачинском бассейне – 31,7 млн т (+1,7 млн т, 105,7%). Снижение добычи угля отмечено в Кузнецком бассейне – 159 млн т (-2,4 млн т, 98,5%), в Южно-Якутском бассейне – 26,6 млн т (-1,8 млн т, 93,5%), в Донецком бассейне – 4 млн т (-0,5 млн т, 89,7%) и в Печорском бассейне – 5,3 млн т (-2,2 млн т, 71,1%). Снижение добычи угля в Кузнецком и Южно-Якутском бассейнах объясняется проблемами вывоза угольной продук-

ции в направлении портов Дальнего Востока по причине недостаточной пропускной способности Восточного полигона ОАО «РЖД».

В январе-сентябре 2023 г. по сравнению с аналогичным периодом прошлого года добыча угля возросла в двух из четырех федеральных округов России, где осуществляется добыча угля: в Сибирском ФО – 235,8 млн т (100,9%) и в Дальневосточном ФО – 69,4 млн т (105,1%). Добыча угля снизилась в Северо-Западном ФО, где было добыто 5,4 млн т (71,3%), и в Южном ФО – 4 млн т (89,7%).

Крупнейшие производители российского угля	9 мес. 2023 г., тыс. т	% к 2022 г.
АО «СУЭК»	81131,7	102,5
ООО УК «ЭЛСИ»	34702,8	104,9
АО УК «Кузбассразрезуголь»	30498,9	98,4
ООО «ЕвразХолдинг»	13315,5	83,3
En+ Group	12277,0	114,5
АО «Стройсервис»	11670,4	100,5
ООО «Восточная Горнорудная Компания» (разрез «Солнцевский»)	9950,9	130,8
АО ХК «СДС-Уголь»	9674,9	97,0
АО «Кузбасская Топливная Компания» (разрез «Виноградовский»)	8459,0	108,6
ООО «УК «Колмар»	8229,3	93,1
АО «Русский Уголь»	7817,9	102,3
ПАО «Мечел»	7385,4	84,2
ООО «Новая Горная УК»	7022,1	135,8
Группа компаний ТАЛТЭК	6695,9	119,3
ООО «Ресурс»	5703,6	89,2

Крупнейшие производители российского угля	9 мес. 2023 г., тыс. т	% к 2022 г.
АО «ВоркутаУголь»	5358,1	71,1
АО УК «Сибирская»	5074,2	131,6
ООО УК «Талдинская»	3204,7	79,6
ООО «ММК-Уголь»	3176,9	91,7
ООО «МелТЭК»	2968,3	117,9
ООО Каракан Инвест	2583,5	78,1
ООО «УЛК» (Разрез «Аршановский»)	2499,9	–
ООО «Западно-Сибирская УК»	2175,4	104,6
ООО «Сибуголь»	1988,1	105,2
АО УК «Сила Сибири»	1803,5	121,4
ПМХ-Уголь	1802,1	90,2
ООО «Ш/у «Садкинское»	1543,5	93,8

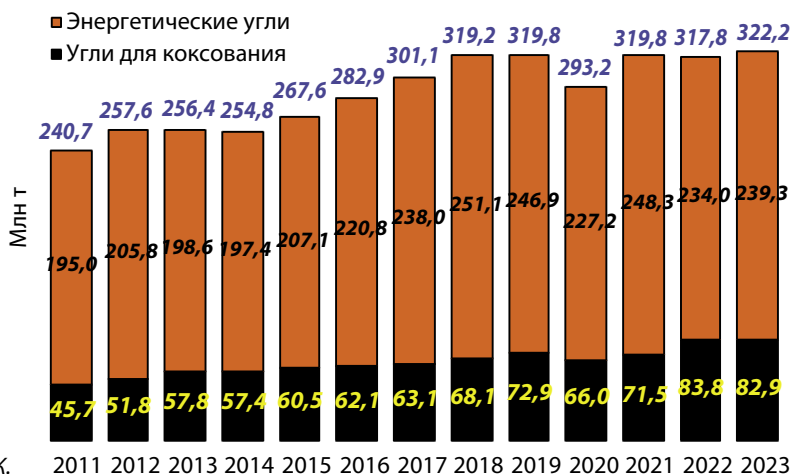
Источник: ЦДУТЭК.

Приведенные в таблице компании по добыче угля суммарно добыли в январе-сентябре 2023 г. 288713,5 тыс. т угля, что составляет 89,6% от общего объема угледобычи в России за указанный период.

### ДОБЫЧА УГЛЯ ДЛЯ КОКСОВАНИЯ

В январе-сентябре 2023 г. в России было добыто 82,9 млн т угля для коксования (-0,8 млн т, 99% к уровню аналогичного периода 2022 г.). Доля углей для коксования в общей добыче составила 25,7% (годом ранее было 26,4%). Основной объем добычи этих углей пришелся на предприятия Кузбасса – 60,9%. Здесь было добыто 50,5 млн т угля для коксования, что на 2,7 млн т больше, чем годом ранее (105,7%). В Южно-Якутском бассейне было добыто 22,9 млн т угля для коксования (-1,9 млн т, 92,4%). Добыча этого вида угля в Печорском бассейне составила 5,4 млн т (-2,2 млн т, 71,1%).

Добыча угля в России в январе-сентябре 2011-2023 гг. по видам углей



Источник: ЦДУТЭК.

Крупнейшие производители российского угля для коксования	9 мес. 2023 г., тыс. т	% к 2022 г.
ООО УК «Эльгауголь»	12935,7	103,1
ООО «Распадская УК»	12885,3	82,9
ООО УК «Колмар»	8225,5	91,5
– ГОК «Денисовский»	3026,8	83,0
– ГОК «Инаглинский»	5198,7	100,0
АО «Стройсервис»	6512,3	133,5
– ООО СП «Барзасское товарищество»	1607,9	120,1
– ООО «Шахта № 12»	1812,9	154,1
– ООО «Разрез «Березовский»	2342,0	175,3
– АО «Разрез «Шестаки»	749,5	84,5
АО «ВоркутаУголь»	5358,1	71,1
АО УК «Кузбассразрезуголь»	5257,7	102,3
АО УК «Сибирская»	5074,2	131,6
АО «СУЭК-Кузбасс»	4402,8	133,9

Крупнейшие производители российского угля для коксования	9 мес. 2023 г., тыс. т	% к 2022 г.
ПАО «Мечел»	4327,1	96,2
– АО ХК «Якутуголь»	1736,0	51,2
– ПАО «Южный Кузбасс»	2591,1	142,9
ООО «Новая горная УК»	4105,3	121,0
– АО «Междуречье»	3082,0	144,5
– АО «Шахта «Антоновская»	589,6	91,2
– АО «Шахта «Большевик»	433,7	127,3
АО «Ургалуголь»	3681,5	116,2
ООО «ММК-Уголь»	3176,9	91,7

Источник: ЦДУ ТЭК.

Перечисленные в таблице углепроизводители суммарно добыли в январе-сентябре 2023 г. 75942,4 тыс. т угля для коксования, что составляет 91,6% от общего объема добычи этого вида угля в России.

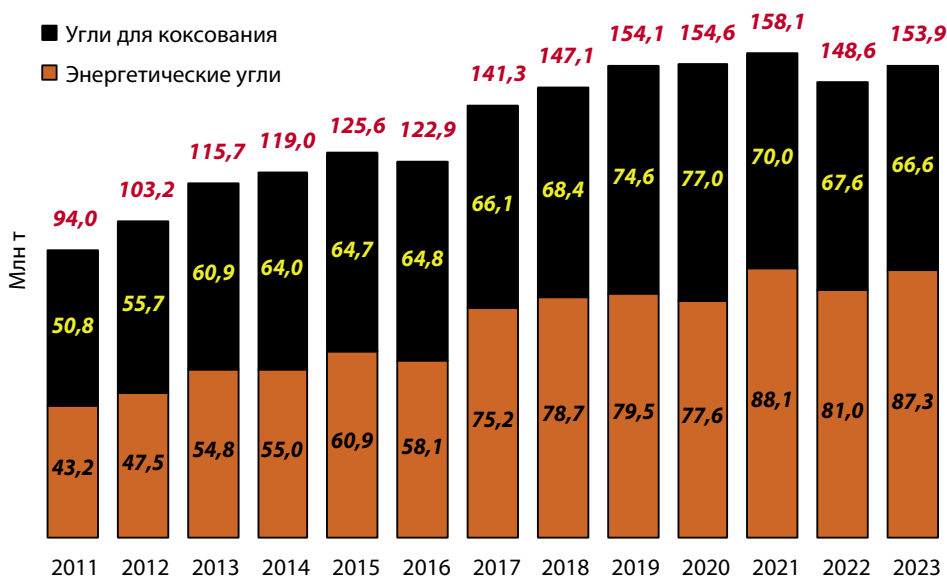
## ПЕРЕРАБОТКА УГЛЯ

Общий объем переработки угля в январе-сентябре 2023 г. с учетом переработки на установках механизированной породовыборки составил 154867,5 тыс. т (на 5618,2 тыс. т, или на 3,8% выше уровня аналогичного периода 2022 г.).

На обогатительных фабриках переработано 153888,4 тыс. т (на 5272,4 тыс. т, или на 3,5% больше, чем годом ранее), в том числе для коксования – 66624,7 тыс. т (на 4326,8 тыс. т, или на 6,9% выше уровня 9 мес. 2022 г.).

Выпуск концентрата составил 93198 тыс. т (на 2782,3 тыс. т, или на 3,1% больше, чем годом ранее), в том числе для коксования – 44329,2 тыс. т (на 3699,5 тыс. т, или на 9,1% выше уровня 9 мес. 2022 г.).

Динамика обогащения угля на обогатительных фабриках России в январе-июне 2000-2022 гг.



Источник: ЦДУ ТЭК.

### Переработка угля на обогатительных фабриках в январе-сентябре 2023 г., тыс. т

Бассейны, регионы РФ	Всего			В том числе для коксования		
	9 мес. 2023 г.	9 мес. 2022 г.	К уровню 9 мес. 2022 г., %	9 мес. 2023 г.	9 мес. 2022 г.	К уровню 9 мес. 2022 г., %
<b>Всего по России</b>	<b>153888,4</b>	<b>148616,0</b>	<b>103,5</b>	<b>66624,7</b>	<b>62297,9</b>	<b>106,9</b>
Печорский бассейн	5975,0	6822,0	87,6	5975,0	6822,0	87,6
Донецкий бассейн	2827,3	3139,3	90,1	–	–	–
Горловский бассейн	4321,8	4519,2	95,6	–	–	–
Кузнецкий бассейн	98835,8	95600,6	103,4	46034,0	43297,7	106,3
Минусинский бассейн	9369,0	9803,9	95,6	–	–	–
Иркутский бассейн	1774,2	1961,0	90,5	–	–	–
Забайкальский край	9794,2	8260,2	118,6	–	–	–
Южно-Якутский бассейн	14615,7	12178,2	120,0	14615,7	12178,2	120,0
Бурейнский бассейн	6375,4	6331,6	100,7	–	–	–

Источник: ЦДУ ТЭК.

Выпуск углей крупных и средних классов составил 10502,2 тыс. т (на 2145,1 тыс. т, или на 17% меньше, чем годом ранее), в том числе антрацитов – 785,1 тыс. т (на 196,3 тыс. т, или на 20% ниже уровня 9 мес. 2022 г.).

Дополнительно переработано на установках механизированной породовыборки 979,1 тыс. т угля (на 345,8 тыс. т, или на 54,6% выше уровня 9 мес. 2022 г.).

### ОТГРУЗКА УГЛЯ

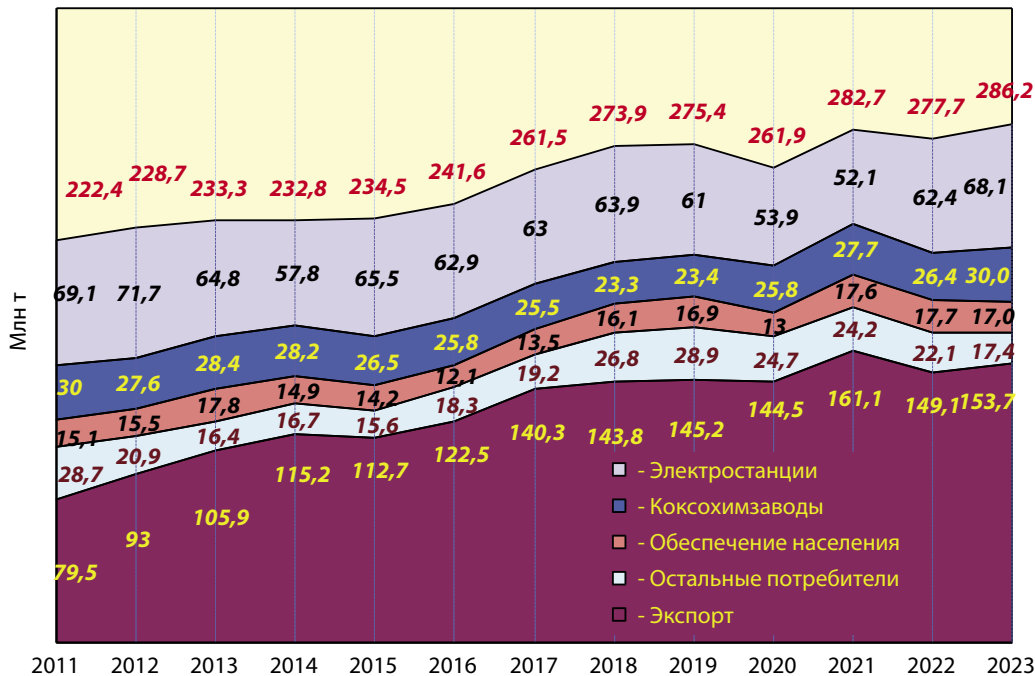
Угледобывающие предприятия России за январь-сентябрь 2023 г. отгрузили потребителям 286,2 млн т угля, что на 6,5 млн т, или на 2,3% выше уровня аналогичного периода 2022 г. Из всего отгруженного объема, по отчетным данным ЦДУ ТЭК, на экспорт отправлено 153,7 млн т. Это на 3,5 млн т, или на 2,3% выше уровня 9 мес. 2022 г.

На внутренний рынок, по данным ЦДУ ТЭК, отгружено 132,5 млн т. По сравнению с аналогичным периодом 2022 г. отгрузка на внутрисоветский рынок увеличилась на 3 млн т, или на 2,3%.

По основным направлениям отгрузка угля на внутрироссийский рынок распределилась следующим образом:

- обеспечение электростанций – 68,1 млн т (+ 5,7 млн т, или 109,1% к уровню 9 мес. 2022 г.);
- нужды коксования – 30 млн т (+3,6 млн т, или 113,6%);
- обеспечение населения, коммунально-бытовые нужды, агропромышленный комплекс – 17,0 млн т (-1,1 млн т, или 93,9%);
- остальные потребители (нужды металлургии – энергетика, ОАО «РЖД», Минобороны, Минюст, МВД, Минтранс, ФПС, Росатом, Росрезерв, цементные заводы и др.) – 17,4 млн т (-5,2 млн т, или 77%).

Отгрузка российских углей основным потребителям за январь-сентябрь 2011-2023 гг.



Источник: ЦДУ ТЭК.

### ЗАВОЗ И ИМПОРТ УГЛЯ

Завоз и импорт угля в Россию за январь-сентябрь 2023 г. по сравнению с аналогичным периодом 2022 г. снизились на 2,3 млн т (84,9%) и составили 13,4 млн т. Завозится и импортируется в основном энергетический уголь, доля завозимого угля для коксования не превышает 1% от объема завоза/импорта. Практически весь уголь завозится из Казахстана. С учетом завоза и импорта энергетического угля на российские электростанции отгружено 81,4 млн т угля (+3,5 млн т, или 104,6% к уровню аналогичного периода 2022 г.). С учетом завоза и импорта на нужды коксования отгруже-

но 30,1 млн т (+3,3 млн т, или 115,2% к уровню 9 мес. 2022 г.). С учетом завоза и импорта на нужды ЖКХ и населения отгружено 17 млн т (-1,1 млн т, или 93,9% к уровню 9 мес. 2022 г.).

Всего с учетом завоза и импорта на российский рынок за январь-сентябрь 2023 г. отгружено 145,9 млн т, что на 0,6 млн т, или на 0,4% больше, чем годом ранее.

При этом доля завозимого (в том числе импортного) угля в отгрузках угля на российский рынок составляет 9,2%. Соотношение объема экспорта к объему завоза и импорта угля за 9 мес. 2023 г. составило 11,5.

**ЭКСПОРТ УГЛЯ**

**Мировой угольный экспорт**

Несмотря на некоторое сокращение российского угольного экспорта, вызванное так называемыми «антироссийскими санкциями», по итогам 2022 г. Россия занимает уве-

ренное третье место среди крупнейших мировых экспортеров угля, с большим отрывом опережая США, занимающие только четвертое место в данном рейтинге.

**Крупнейшие мировые экспортеры угля в 2011-2022 гг., млн т**

Страны – экспортеры угля	Годы											
	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
1. Индонезия	323,6	347,6	381,5	356,3	328,4	310,7	319,1	343,1	374,9	341,5	345,5	388,9
2. Австралия	281,5	316,4	359,3	387,5	387,8	390,9	372,2	386,1	344,0	371,3	366,5	339,2
3. Россия	110,5	130,4	139,0	153,2	152,7	166,1	181,4	199,5	205,4	197,9	210,7	201,7
4. США	117,2	130,8	125,6	92,9	67,1	75,3	137,0	141,9	108,7	62,6	77,3	84,4
5. Колумбия	79,7	75,6	74,8	87,1	72,8	83,4	102,7	83,8	71,5	67,8	55,6	60,9
6. ЮАР	72,0	н/д	н/д	н/д	79,5	н/д	н/д	81,3	78,6	75,0	66,3	50,3
7. Канада	33,6	34,7	39,0	34,2	30,4	н/д	31,0	33,7	36,6	31,5	31,7	36,3
8. Монголия	н/д	н/д	18,2	19,5	14,4	25,7	33,0	35,8	36,5	28,6	15,9	30,4
9. Казахстан	32,1	33,7	30,8	28,1	28,0	23,9	27,5	24,2	23,1	26,5	28,7	29,5
10. Филиппины	2,4	3,0	4,1	6,2	3,6	7,9	6,9	5,4	11,0	7,4	10,6	7,9

Источник: UN Department Of Economic and Social Affairs (Comtrade Database).

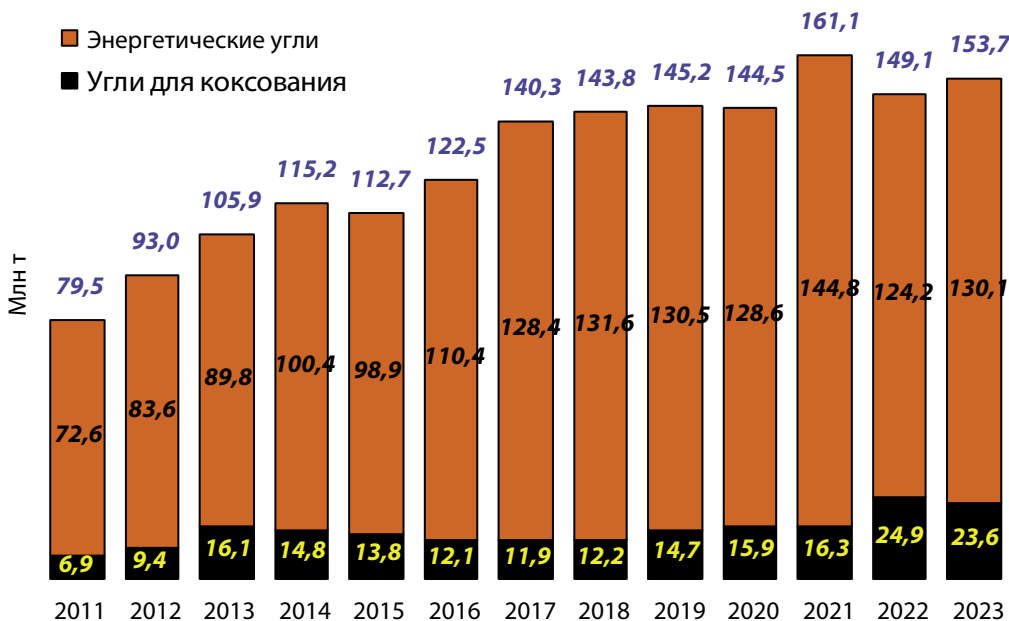
**Экспорт российского угля**

Объем экспорта российского угля за январь-сентябрь 2023 г., по данным ЦДУ ТЭК, составил 153,7 млн т, по сравнению с аналогичным периодом 2022 г. он увеличился на 3,5 млн т (102,3%). Экспорт составляет 53,7% в общем объеме отгрузки российского угля. Основная доля экспорта приходится на энергетические угли – 130,1 млн т (84,6% общего экспорта углей), доля углей для коксования (23,6 млн т) в общем объеме экспорта составила 15,4%.

Основным поставщиком угля на экспорт является Сибирский ФО (отгружено 105,6 млн т, что составляет 68,7% от общего экспорта), в том числе доля Кузбасса – 51,8% от общего объема экспорта (отгружено 79,6 млн т).

Из общего объема экспорта основной объем угля отгружался в страны Дальнего зарубежья – 152,6 млн т (99,3% общего объема экспорта). В страны Ближнего зарубежья отгружено 1,1 млн т (0,7% общего объема экспорта).

*Динамика экспорта российского угля по видам углей за январь-сентябрь 2011-2023 гг.*



Источник: ЦДУ ТЭК

## МИРОВЫЕ ЦЕНЫ НА УГОЛЬ

По данным портала «Российский уголь», в сентябре 2023 г. рост мировых цен на энергетический уголь к уровню июня на большинстве основных мировых торговых площадок составил: Европы (CIF АРА) – 26,9%, Австралии (FOB Ньюкасл) – 21,1%, Колумбии (FOB Пуэрто-Боливар) – 11,4%, ЮАР (FOB Ричардс Бей) – 18,4%. На европейском рынке энергетического угля на протяжении третьего квартала наблюдалась волатильность угольных котировок, диапазон изменения спотовых цен составил 100-115 дол./т, которые к концу сентября поднялись до 120 дол. т и выше.

На рынке углей для коксования (по данным агентства «MetallPlace») во втором полугодии 2023 г. также обозна-

чилась тенденция роста цен – в течение третьего квартала (к сентябрю по сравнению июнем) уголь для коксования Австралии (FOB Квинсленд) вырос в цене на 43,8%. Таким образом, уголь для коксования уверенно отыгрывает ценовые позиции, утраченные к концу первого полугодия текущего года.

Следует отметить, что цены на энергетические угли по состоянию на конец сентября 2023 г. не достигли уровня цен начала года, несмотря на их рост на протяжении всего третьего квартала. В то же время цены на австралийский коксующийся уголь по итогам 9 месяцев уже превзошли январские ценовые показатели.

### Мировые спотовые цены на уголь в январе-сентябре 2023 г., \$/т

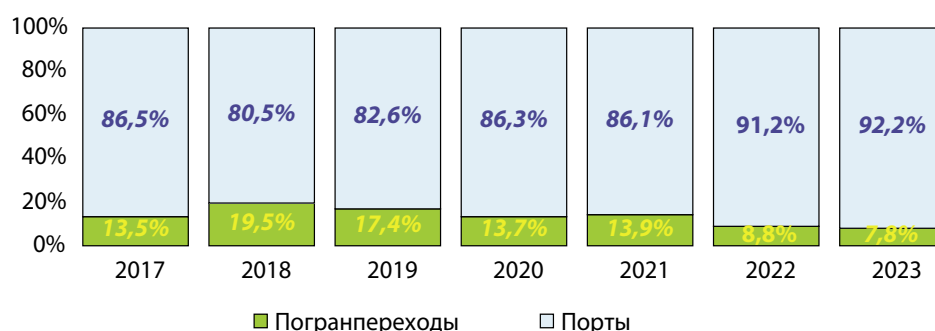
Мировые торговые площадки	2023 г.								
	Янв.	Фев.	Мар.	Апр.	Май	Июнь	Июль	Авг.	Сен.
<b>Энергетический уголь (6000 ккал/кг)</b>									
Россия, FOB Балтийское побережье	120,00	110,00	110,00	95,00	85,00	85,25	81,50	93,00	100,00
Россия, FOB порт Восточный	155,00	155,00	138,00	138,13	114,75	98,25	105,57	112,00	109,50
Россия, FOB Черное море	124,00	114,00	110,00	98,00	91,00	83,00	85,00	94,00	103,00
Австралия, FOB Ньюкасл	410,50	253,17	177,88	192,50	152,46	127,50	131,33	157,21	159,00
ЮАР, FOB Ричардс Бей	178,66	145,53	134,01	129,22	104,23	103,00	89,47	120,64	121,93
Колумбия, FOB Пуэрто-Боливар	225,82	142,25	142,00	123,50	91,63	98,50	103,00	108,63	109,75
Индонезия, FOB	113,38	101,46	96,24	94,58	89,62	71,19	72,69	70,02	72,49
Европа, CIF АРА	174,50	130,00	121,50	142,50	128,00	96,00	103,8	113,50	121,85
<b>Уголь для коксования</b>									
Австралия, FOB Квинсленд	312,60	384,00	337,40	286,00	231,50	231,50	237,00	253,00	333,00

Источники: энергетический уголь – отраслевой портал «Российский уголь», коксующийся уголь – «MetallPlace».

По сведениям ОАО «РЖД», экспорт российского угля за январь-сентябрь 2023 г. составил 149,6 млн т, что на 2,7 млн т больше, чем годом ранее (101,8%). Из всего вывезенного объема угля через морские порты отгружено 137,9 млн т (92,2% общего объема вывоза) и через пограничные переходы – 11,6 млн т (7,8%).

Представленные в левой таблице основные угольные компании-экспортеры отправили за рубеж за 9 мес. 2023 г. 136016,3 тыс. т российского угля, или 88,5% от общего объема угольного экспорта.

Структура поставок российского угля  
через порты и пограничные переходы в январе-сентябре 2017-2023 гг.



Источник: ОАО «РЖД».

Представленные в правой таблице страны импортировали за 9 мес. 2023 г. 139833 тыс. т российского угля, или 91% от общего объема российских угольных поставок.

Компании – основные экспортеры русского угля	9 мес. 2023 г.	Уровень к 9 мес. 2022, %
АО УК «ЭЛСИ»	30141,1	111,4
АО «СУЭК»	27697	96,7
АО УК «Кузбассразрезуголь»	22530,7	94,8
ООО «ВГК»	10984	132,8
АО ХК «СДС-Уголь»	5531,3	79,6
АО «Стройсервис»	4999,4	109,2
ООО «Ресурс»	4565,9	110,4
Группа компаний ТАЛТЭК	4255,5	140,7
ПАО «Мечел»	3681,8	85,1
ПАО «Кузбасская ТК»	3573,5	94,7
ООО «УК «Колмар»	3474,0	86,7
ООО УЛК (Разрез «Аршановский»)	2326,6	130,3
ООО «МелТЭК»	1953,5	103,1
АО «Русский Уголь»	1716,7	65,3
ООО «Каракан Инвест»	1682,0	86,3
ООО «ЕвразХолдинг»	1652,7	38,9
ООО «УК «Разрез Майрыхский»	1428,0	71,2
АО «УК «Сибирская»	1309,1	129,7
ООО «УК «Талдинская»	1269,1	62,1
ООО «Горняк-1»	1244,4	112,0

Страны – основные импортеры русского угля	9 мес. 2023 г.	Уровень к 9 мес. 2022, %
Китай	52449,5	168,5
ОАЭ	23569,6	373,1
Индия	19264,7	228,3
Турция	18173,5	104,2
Гонконг	9390,4	329,3
Прочие страны Азии	7057,2	172,5
Южная Корея	6227,6	84,0
Япония	2660,7	21,3
Италия	1039,8	133,7

Источник: ЦДУ ТЭК.

**ОСНОВНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ РАБОТЫ УГОЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ РОССИИ в январе-сентябре 2023 г.**

Показатели	9 мес. 2023 г.	9 мес. 2022 г.	% к 2022 г.
Добыча угля, по данным Росстата, всего, тыс. т	314731,0	312055,0	100,9
Добыча угля, по данным ЦДУ ТЭК, всего, тыс. т :	322223,7	320029,3	100,7
– в т.ч. подземным способом, тыс. т	72111,3	77105,0	93,5
– в т.ч. открытым способом, тыс. т	250112,4	242934,3	103,0
Добыча угля для коксования, тыс. т	82893,3	83708,9	99,0
Переработка угля, всего, тыс. т :	154867,5	149249,3	103,8
– в т.ч. на обогатительных фабриках, тыс. т	153888,4	148616,0	103,5
– в т.ч. на установках механизированной породовыборки, тыс. т	979,1	633,3	154,6
Отгрузка российских углей, всего, тыс. т	286209,2	279713,5	102,3
– из них потребителям России (по данным ЦДУ ТЭК), тыс. т	132517,6	129503,3	102,3
– экспорт угля (по данным ЦДУ ТЭК), тыс. т	153691,6	150210,2	102,3
Экспорт угля (по данным ОАО «РЖД»), тыс. т :	149626,6	146959,9	101,8
– в том числе через морские порты, тыс. т	137931,2	134027,4	102,9
– в том числе через сухопутные погранпереходы, тыс. т	11695,4	12932,5	90,4
Завоз и импорт угля, тыс. т	13375,9	15747,5	84,9
Отгрузка угля потребителям России с учетом завоза и импорта, тыс. т	145893,5	145250,8	100,4
Полная себестоимость добычи 1 т угля, руб.	4451,95	3890,65	114,4
Среднемесячная производительность труда рабочего по добыче угля, т/мес.:	327,5	333,6	98,2
– в том числе на шахтах, т/мес.	198,7	203,7	97,5
– в том числе на разрезах, т/мес.	431,2	435,8	98,9
Средняя цена 1 т угля, всего по договорам, руб./т:	4824,68	3687,26	130,8
– средняя цена 1 т угля на нужды электроэнергетики, руб./т	1556,78	1439,17	108,2
– средняя цена 1 т угля на нужды коксования, руб./т	10184,33	7403,21	137,6
– средняя цена 1 т угля на нужды ЖКХ, АПК и населения, руб./т	2567,49	2317,48	110,8
Средняя численность работников по основному виду деятельности, чел.	141752	143949	98,5
Среднесписочная численность рабочих по добыче угля, чел.:	84065	86922	96,7
– в том числе на шахтах, чел.	37485	38292	97,9
– в том числе на разрезах, чел.	46580	48630	95,8



Показатели	9 мес. 2023 г.	9 мес. 2022 г.	% к 2022 г.
Среднемесячная заработная плата одного работника, руб.:	98279,9	85533,0	114,9
– среднемесячная зарплата рабочего по добыче угля, руб.	85611,2	75069,0	114,0
– среднемесячная зарплата ИТР, руб.	118704,8	104178,4	113,9
– среднемесячная зарплата работника аппарата управления, руб.	201204,7	164966,4	122,0
Задолженность по заработной плате, тыс. руб.	0,0	0,0	–
Среднесуточная добыча угля из 1 действующего очистного забоя, т	4733,0	4743,0	99,8
Среднесуточная добыча угля из 1 комплексно-механизированного забоя, т	4570,0	4683,0	97,6
Проведение подготовительных выработок, тыс. м:	263,2	281,0	93,7
– в том числе вскрывающих и подготавливающих	212,3	219,8	96,6
Проведение горных выработок комбайнами, тыс. м	251,6	270,4	93,0
Вскрышные работы, тыс. м <sup>3</sup>	1846401,0	1791576,0	103,1

#### Список литературы

1. Петренко И.Е. Уголь России – год рекордов и юбилеев. // ТЭК России. 2018. № 2. С. 26-31.
2. Петренко И.Е. Уголь России-2018: впечатляющие победы и скрытые угрозы. // ТЭК России. 2019. № 3. С. 24-29.
3. Таразанов И.Г., Губанов Д.А. Итоги работы угольной промышленности России за 2020 год // Уголь. 2021. № 3. С. 31-43. DOI: 10.18796/0041-5790-2021-3-31-43.
4. Петренко И.Е. Итоги работы угольной промышленности России за 2021 год // Уголь. 2022. № 3. С. 9-23. DOI: 10.18796/0041-5790-2022-3-09-23.
5. Петренко И.Е. Итоги работы угольной промышленности России за январь-сентябрь 2022 года // Уголь. 2022. № 12. С. 7-21. DOI: 10.18796/0041-5790-2022-12-7-21.

## Дорогие партнеры!

От имени коллектива выставочной компании «Кузбасская ярмарка», Российского союза выставок и ярмарок и себя лично поздравляю вас

*с наступающими Новым годом и Рождеством!*

Наступают волшебные, сказочные и всеми любимые праздники. Все мы готовимся к ним, подводим итоги уходящего года, строим планы на будущий и загадываем желания.

Надеемся, что 2024 год ознаменуется для всех успешной реализацией проектов и эти успехи добавят уверенности в завтрашнем дне.

Сердечно желаю вам, чтобы все мечты и добрые пожелания сбылись! Пусть вас ожидают приятные сюрпризы и радостные встречи, здоровье и благополучие, успех и процветание!

Будем искренне рады видеть всех вас в числе участников и посетителей крупнейшего в России международного горнопромышленного форума «Уголь России и Майнинг» 4-7 июня 2024 года!

генеральный директор  
ВК «Кузбасская ярмарка»,  
вице-президент Российского союза  
выставок и ярмарок  
В.В. Табачников

## На должность президента компании «ГЕОТЕК» назначен Роман Панов

Для одного из лидеров российского рынка геологоразведки – компании «Геотэк» наступает новый этап развития. Президентом компании назначен Роман Панов. Решение было утверждено советом директоров АО «Геотек».

Роман Панов обладает серьезной экспертизой в области управления и развития сырьевых и геологоразведочных активов. Многолетний опыт работы Романа Сергеевича в качестве руководителя холдинга «Росгеология», а также первого вице-президента Газпромбанка позволит АО «Геотек» продолжить активное развитие по ключевым направлениям бизнеса и обеспечит успешную реализацию стратегии компании до 2028 года.

*«Сегодня Геотэк ведет работу по модернизации парка оборудования, развитию технологической базы, а также формированию базы проектов в среднесрочной перспективе на российском и зарубежных рынках. Перед компа-*



*нией стоит задача по диверсификации направлений деятельности, усилению компетенций в части производства высокотехнологичного оборудования в области геологоразведки. Данная работа отвечает национальному приоритету РФ по повышению уровня технологического суверенитета», – отметил Роман Панов.*

АО «Геотэк» включен в перечень системообразующих организаций согласно протоколу заседания Правительственной комиссии по повышению устойчивости российской экономики. Компания является ведущей в России в сфере сейсморазведки на суше и в транзитной зоне, оказывает профессиональные услуги во всех основных нефтегазоносных областях Российской Федерации, в странах СНГ и на зарубежных рынках. Геотэк вносит значительный вклад в реализацию государственной программы по воспроизводству минерально-сырьевой базы России в нефтегазовом секторе.

# С Новым годом!

Уважаемые партнеры!

Примите наши искренние поздравления  
с Новым годом и Рождеством!

Благодарим Вас за совместную работу в уходящем году.

Надеемся, что в 2024 году наше сотрудничество  
станет еще более плодотворным!

Желаем, чтобы Новый год был наполнен яркими и  
положительными событиями!

Пусть вам всегда сопутствует успех и процветание!  
Счастья, здоровья и благополучия Вам и Вашим близким!

С наилучшими пожеланиями, коллектив НМЗ «Искра»

## **ШТЕЙНЦАЙГ Роман Михайлович**

**(к 70-летию со дня рождения)**

**23 декабря 2023 г. исполняется 70 лет горному инженеру, Почетному работнику угольной промышленности, Заслуженному работнику ТЭК, кавалеру медали ордена «За заслуги перед Отечеством» II степени, доктору технических наук, профессору Роману Михайловичу Штейнцайгу.**

Вся трудовая деятельность Романа Михайловича неразрывно связана с угольной промышленностью, разработкой и внедрением в практику инновационных технологий и решений, направленных на повышение производительности и безопасности шахтерского труда.

После окончания с отличием Горного института и получения квалификации «горный инженер-электромеханик» Роман Михайлович преподавал в Орджоникидзевском горно-металлургическом техникуме. В 1978 г., перейдя на работу в ИГД им. А.А. Скочинского, он в роли инженера-исследователя занимался разработкой, созданием и освоением в производстве новых видов горнотранспортной техники на должностях младшего, старшего, ведущего научного сотрудника, заведующего лабораторией технологии и комплексной механизации процессов горного производства. В 1980 г. защитил кандидатскую, в 1996 г. докторскую диссертации.

С 1986 г. по настоящее время Р.М. Штейнцайг занимает руководящие посты на предприятиях угольной отрасли, а накопленный научный и производственный потенциал в различные периоды времени получил свое развитие в непосредственном участии юбиляра в эффективном освоении угольных запасов на разрезах Южной Якутии, Приморья, Кузбасса, Красноярского края, Хакасии, Ростовской области и других регионов России.

Сочетание изобретательского таланта, стремления к исследовательской работе и выдающихся организаторских способностей позволило Роману Михайловичу успешно реализовать себя как в научной, так и в производственной деятельности. Он на практике осваивал новые технологические решения, будучи заместителем директора по науке крупного научно-технического центра, разрабатывал и реализовывал крупные международные инновационные проекты по созданию и освоению высокопроизводительных образцов горной техники нового поколения.

Роман Михайлович преподавал в научно-исследовательском институте, заведующим отделением горных дисциплин, является председателем государственной аттестационной комиссии и патентодержателем в ряде стран мира.

В 2009 г. Р.М. Штейнцайг возглавил ООО УК «Южная угольная компания». Под его руководством ООО «Шахтоуправление «Садкинское» достигло на сегодня результатов в добыче угля: более 2,5 млн т в год.

Роман Михайлович является автором более 80 научных трудов и 17 патентов и продолжает активную научную деятельность.

**Близкие, друзья, коллеги по профессии,  
горная научно-техническая общественность России  
и СНГ, редколлегия и редакция журнала «Уголь»  
от всей души поздравляют  
Романа Михайловича Штейнцайга с юбилеем  
и желают крепкого здоровья, долгих лет жизни,  
благополучия и новых профессиональных побед!  
Glück auf!**



## Онлайн-мониторинг масел: техника под контролем

*Разбираемся, какие возможности открывает новое сервисное решение от ЛУКОЙЛа для промышленных предприятий, эксплуатирующих сложное и дорогостоящее оборудование.*



В индустрии ЛУКОЙЛ проявляет себя не только как ведущий поставщик смазочных материалов, но и как заметный игрок, формирующий рынок специализированных сервисов. В этом году компания начала внедрение своего нового сервисного решения: онлайн-мониторинга масел в технике.

### **СЕРВИС БУДУЩЕГО – СЕГОДНЯ**

Онлайн-мониторинг состояния смазочных материалов – технология, которая имеет достаточно длительный опыт применения в мировой практике и уже успела пройти несколько этапов доработок и усовершенствований. Для российских предприятий эта технология пока малознакома и ранее частично использовалась для контроля процесса дополнительной фильтрации смазочных материалов. Сервис ЛУКОЙЛа более многогранен: он позволяет через оценку химико-физических свойств контролировать техническое состояние техники и оборудования.

Первый сервисный проект в этой сфере, реализованный компанией «ЛУКОЙЛ» в 2023 г., – онлайн-мониторинг масла на стационарном турбинном оборудовании Кона-



*Онлайн-мониторинг масла на стационарном турбинном оборудовании Конаковской ГРЭС (ПАО «ЭЛ5-Энерго»)*

ковской ГРЭС (ПАО «ЭЛ5-Энерго»), одного из крупнейших производителей электроэнергии и тепла в Центральной России. Следующий этап – внедрение системы в мобильную карьерную технику на горнодобывающих предприятиях, проявивших интерес к новому сервису.

Традиционным методом контроля состояния масла являются периодические заборы проб. Это может быть визуальная оценка характеристик рабочей жидкости, экспресс-анализ с помощью портативной аппаратуры, исследования в специализированной лаборатории (собственной или сторонней). Однако есть в этом подходе существенный недостаток – наличие интервалов между проверками. Специализированная лаборатория может находиться на значительном расстоянии от места эксплуатации техники, что не позволяет провести анализ тех проб, которые были взяты, оперативно. А значит, и необходимые действия будут предприняты с опозданием.

Между тем некоторые важные показатели смазочного материала могут меняться не постепенно, а резко. Более того, так же резко данные показатели могут возвращаться к норме. Частицы износа способны концентрированно отделяться от металлических поверхностей, после чего они в значительной степени удаляются из гидравлической жидкости штатной системой фильтрации. Если в этот короткий промежуток не была взята проба (что довольно маловероятно), то данный «пиковый эпизод» останется без внимания. Неполомки в технике могут дольше остаться незамеченными, усугубляя проблемы, вплоть до отказа системы.

### ГИБКАЯ ЦИФРОВАЯ ПЛАТФОРМА

Онлайн-мониторинг позволяет избежать этих рисков. В системе в режиме реального времени фиксируются все изменения, происходящие с жидкостью; информация за весь период наблюдений хранится на сервере разработчика и в любой момент доступна в цифровом личном кабинете предприятия. При ухудшении нормативных показателей масла (например, при росте обводненности или при сильном по-

вышении концентрации частиц в масле) уведомления об этом отправляются как в личный кабинет, так и на email специалистов. Все это позволяет более осознанно и своевременно принимать решения о необходимости дополнительной фильтрации, срочной замены масла, корректировки рабочих режимов оборудования или внепланового предупредительного ремонта агрегатов.

Система мониторинга, которую разработали специалисты ЛУКОЙЛа, имеет гибкую цифровую платформу и может работать с различным набором датчиков. Например, датчики свойств жидкости определяют вязкость, плотность, содержание влаги, температуру и диэлектрическую проницаемость. Детекторы частиц анализируют класс чистоты и уровень механических примесей. Итоговый комплект зависит от вида машин и типа используемых масел, а также от конкретных задач, которые стоят перед предприятиями.

По оценкам Института проблем транспорта РАН, порядка 86,5% поломок спецтехники можно предотвратить с помощью контроля состояния смазочных материалов. Онлайн-мониторинг с помощью сенсорных технологий позволяет это сделать наилучшим образом.



# Оборудование для работы с трудным материалом



## ЛОХОВ Д.С.

Генеральный директор TAPP Group,  
308024, г. Белгород, Россия,  
e-mail: info@tapp-group.ru

**Ключевые слова:** TAPP Group, грохот типа «Банан», грохоты тонкого грохочения, эффективное тонкое грохочение, незабивающиеся полиуретановые сита.

Грохот типа «Банан» от TAPP Group разработан специально для работы с материалом, содержащим большое количество мелкозернистых частиц. Он обеспечивает постоянную высокую производительность и эффективность грохочения. Просеивающая поверхность грохота содержит до шести секций, имеющих разный угол наклона. Первая секция, у зоны загрузки, имеет самый большой наклон – до 25°, наклон каждой последующей секции уменьшается. Последняя секция, у зоны загрузки, имеет наклон до 5°, но он может быть и отрицательным, если это необходимо.

Крутой наклон первой секции приводит к тому, что материал приобретает высокую скорость движения, и толщина слоя уменьшается, облегчая движение мелких частиц к поверхности сита и их просеивание. К концу грохота скорость движения материала снижается за счет уменьшения угла наклона просеивающей поверхности, но слой все равно остается тонким, так как большая часть мелких частиц уже ушла в подрешетный продукт еще в начале грохота. На последних секциях грохота происходит просеивание «трудных» частиц, размер которых близок к размеру отверстий в сите. Скорость движения на последних секциях небольшая, поэтому материал дольше находится на сите, что способствует повышению эффективности просеивания «трудных» зерен.

## КЕЙСЫ

Обогатительная фабрика обратилась к нам с потребностью в повышении производительности предприятия и замене изношенных грохотов. Старые грохоты использовались в течение 4,5 лет, но в результате износа металла и основных частей конструкции приходилось проводить многочисленные ремонты, что приводило к высоким затратам и постоянным простоям. Мы заменили устаревшее оборудование грохотом типа «Банан», который соответствовал существующим габаритам, что позволило избежать реконструкции отметки. Данное решение позволило увеличить производительность с 200 т в час до 350 т в час.

Еще один пример использования грохотов тонкого грохочения – проект секции обогащения. Производительность секции была 300-320 т/ч. Задача стояла увеличить производительность до 385 т/ч. Мы заменили неподвижные дуговые сита в предварительной классификации на грохот типа «Банан», что позволило увеличить эффективность предварительной классификации до 90%. Также необходимо было снизить циркуляцию. На поверочной классификации стояло четыре пятидечных грохота с ячейкой 1,4 мм, которые имели эффективность классификации на уровне 60-70%. Заказчик планировал для увеличения производительности установить дополнительно еще два таких же грохота. Нам удалось убедить его установить один грохот типа «Банан» с амплитудой 10 мм и такой же ячейкой, что позволило увеличить эффективность грохочения до 90% и повысить производительность секции до 400 т/ч.

## ВАШИ ВЫГОДЫ

**Эффективное тонкое грохочение.** В результате реализованных проектов мы с уверенностью можем заявить, что материал крупностью выше 500 мкм можно эффективно классифицировать на грохотах типа «Банан» или горизонтальном грохоте с каскадной поверхностью. **Эффективность рессева – на уровне 95%.**



**Выгодная эксплуатация.** Долговечные, износостойкие, незабивающиеся полиуретановые сита способствуют высокой экономической эффективности. К тому же средний срок службы просеивающих панелей может превышать 7200 ч.

**Низкое энергопотребление.** Компоненты грохота очищаются дробью, после чего покрываются эпоксидной грунтовкой, а затем готовым покрытием. Корпус грохота обеспечивает структурную прочность, минимальное напряжение и легкий вес, что обеспечивает минимальное потребление энергии при максимальной эффективности, а также снижает шум.

**Надежная конструкция.** Поперечные балки изготовлены из высокопрочной стали и имеют круглое сечение, что позволяет выдерживать нагрузку во всех направлениях и исключить необратимые деформации, вызываемые косым изгибом, обеспечивая долговечность всей конструкции. Внутренние поверхности всех балок защищены для исключения риска их разрушения в результате коррозий, что немаловажно, ведь балки рассчитаны на весь срок службы грохота.

#### Наши контакты:

тел.: +7 (4722) 23-28-39, +7 (800) 301-27-73

e-mail: [info@tapp-group.ru](mailto:info@tapp-group.ru)

web: [www.tapp-group.ru](http://www.tapp-group.ru)



Наш YouTube-канал:



От лица всей команды поздравляем вас с наступающим Новым годом!

Это не только время для отдыха и веселья, но и возможность задуматься о достижениях. Ваш вклад в развитие горнообогатительной отрасли заслуживает благодарности и признания. Вы способствуете развитию экономики нашей страны.

Мы гордимся тем, что имеем возможность сотрудничать с такими выдающимися профессионалами. Ваше стремление к постоянному совершенствованию и инновационному подходу к работе вдохновляет на новые достижения и успехи.

Пусть наступающий год будет наполнен новыми возможностями и перспективами. Желаем вам роста производства, укрепления позиций на рынке и бесконечного вдохновения для воплощения своих идей в жизнь. Пусть каждый день нового года приносит вам радость, здоровье, счастье и благополучие.

С наилучшими пожеланиями и самыми искренними поздравлениями с новым годом!

С уважением,  
Команда TAPP Group



## В Назарово поздравили с 99-летием ветерана ВОВ, Почетного гражданина города, Заслуженного шахтера РФ Дмитрия Даниловича Абрамова

*В Назарово Красноярского края состоялось чествование ветерана Великой Отечественной войны, Почетного гражданина города, Заслуженного шахтера России, полного кавалера знака «Шахтерская слава» и обладателя многих других трудовых и фронтовых наград Дмитрия Даниловича Абрамова. 7 ноября ему исполнилось 99 лет. С Днем рождения человека-легенду поздравляли в Музейно-выставочном центре Назарово.*

«Я не видел своего деда, и теперь Вы для многих из нас дедушка. Для тех, кто постарше, – отец, для молодежи – прадед. Благодарю Вас от всех жителей города за то, что Вы продолжаете нас воспитывать, дисциплинировать, подаете пример жизнелюбия, – обратился к имениннику от лица всех горожан **глава Назарово Владимир Саар**. – Вы – целая эпоха в жизни города».



Биография Дмитрия Даниловича Абрамова неразрывно связана с историей города Назарово. События его жизни не только вплетены в историю города – он вместе с коллективом Назаровского разреза сам писал летопись Назарово. Начав трудовой путь на предприятии горным мастером в 1956 г., в 1971 г. Д.Д. Абрамов возглавил разрез. Более 10 лет под его руководством называют «золотым временем» разреза: росли объемы добычи угля, внедрялись передовые технологии и новейшая техника. В те же годы укреплялась неразрывная связь разреза и города: при поддержке угольщиков строились жилые дома, детские сады, профилакторий и Дворец культуры.

«Дмитрий Данилович до сих пор интересуется деятельностью предприятия, жизнью города, – подчеркивает нынешний **руководитель Назаровского разреза Виктор Губанов**. – Насколько нуж-

но быть увлеченным, чтобы придумать, «зажечь» своей идеей и создать в Музейно-выставочном центре целую выставку об истории Назаровского разреза». Сегодня эта экспозиция – одна из самых популярных в музее: ее посещают ветераны, чтобы вспомнить былые годы, ее осмотр входит в программу профориентации школьников.

Приятным подарком для именинника стал дополнительный тираж биографической книги «Дмитрий Абрамов: жизнь и судьба», изданной в этом году накануне Дня шахтера по инициативе АО «СУЭК-Красноярск».

«Человек-легенда, человек-эпоха, настоящий патриот, профессионал, учитель и наставник многих поколений горняков. Не хватает слов, чтобы в полной мере выразить Вам свое почтение, уважение, восхищение, признательность. Спасибо большое, что Вы есть!» – обратилась к Дмитрию Даниловичу от имени коллектива АО «СУЭК-Красноярск» **директор по связям и коммуникациям Марина Смирнова**.

Но главной наградой Дмитрий Данилович Абрамов считает внимание коллег и горожан. Ветеран пообещал, что таким же кругом гости обязательно соберутся на его вековой юбилей в 2024 г.



Прес-служба АО «СУЭК».  
Фото Александра Моковозова



## Назаровские угольщики выступили экспертами кейс-чемпионата в рамках движения «Профессионалы будущего»

Чемпионат «Умная энергия» кейсового движения «Профессионалы будущего» прошел на базе Назаровского энергостроительного техникума (НЭСТ) в г. Назарово Красноярского края. Участие в нем приняли 13 команд из техникумов и вузов региона. Одним из партнеров мероприятия выступил Назаровский разрез СУЭК.

Кейсовое движение «Профессионалы будущего» развивается в Красноярском крае с целью формирования кадрового резерва предприятий и реализации масштабных проектов Енисейской Сибири. Движение объединяет учащихся школ, лицеев, гимназий, студентов техникумов, вузов, а также молодых специалистов в возрасте до 35 лет. Решая кейсы, они не только «прокачивают» свои компетенции, но и получают шанс проявить себя перед работодателем.

«Сейчас в производственных отраслях наблюдается серьезный дефицит кадров, и для работодателя такие чемпионаты – возможность, что называется, «взять на карандаш» перспективных будущих специалистов», – говорит эксперт от СУЭК, **старший электромонтер оперативно-выездной бригады Назаровского разреза Антон Матвеев**. Для участников чемпионата угольщики подготовили кейс по снижению количества аварийных отключений оборудования за счет совершенствования системы релейной защиты.

«В основе кейсов – не вымышленные цифры и наименования оборудования, а реаль-



ные ситуации. Студенты расширяют представление о производстве, о предприятии, работодатели понимают рынок специалистов в регионе, а мы, в свою очередь, можем скорректировать учебный процесс так, чтобы наши выпускники были востребованы», – оценивает

обоюдную пользу чемпионатов **заместитель директора Назаровского энергостроительного техникума Наталья Кошкиарова**.

В вопросах профессиональной ориентации и подготовки кадров СУЭК на постоянной основе работает как с Назаровским энергостроительным техникумом, так и со многими другими учреждениями образования в Красноярском крае, от детских садов до вузов. В Назарово, в частности, угольщики участвуют в проекте Дома школьников «Открытый детско-юношеский университет с предприятиями ТЭК».

Пресс-служба АО «СУЭК»



# Методика проведения аудита цифровой зрелости организаций угледобывающей промышленности

DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2023-12-24-29>



## ЦИВИЛЕВА А.Е.

Канд. экон. наук,  
председатель совета директоров  
АО «Колмар Груп»,  
678960, г. Нерюнгри, Россия,  
e-mail: [office@kolmar.ru](mailto:office@kolmar.ru)



## ГОЛУБЕВ С.С.

Доктор экон. наук, профессор,  
профессор кафедры  
экономики и управления  
Московского государственного  
юридического университета  
имени О.Е. Кутафина,  
107023, г. Москва, Россия,  
e-mail: [sergei.golubev56@mail.ru](mailto:sergei.golubev56@mail.ru)

В статье рассматриваются концептуальные подходы и методика оценки уровня развития цифровых технологий на предприятиях угольной промышленности. Актуальность внедрения цифровых технологий в угольной отрасли несомненна. Однако в настоящее время научно-методический аппарат аудита цифровой зрелости организаций угольной промышленности развит недостаточно полно. Авторами предлагается методика аудита цифровой зрелости угледобывающего предприятия на основе новой совокупности показателей, учитывающих особенности развития цифровых технологий по различным направлениям организаций угледобывающей промышленности. Она позволит провести комплексную оценку уровня цифровизации угледобывающих компаний, выявить слабые места и определить направления первостепенного развития в области цифровизации.

**Ключевые слова:** цифровая зрелость, угледобывающие предприятия, цифровая трансформация, аудит, интегральный показатель, эффективность, цифровые технологии добычи и переработки угля.

**Для цитирования:** Цивилева А.Е., Голубев С.С. Методика проведения аудита цифровой зрелости организаций угледобывающей промышленности // Уголь. 2023. № 12. С. 24-29. DOI: 10.18796/0041-5790-2023-12-24-29.

## ВВЕДЕНИЕ

Актуальность внедрения цифровых технологий обусловлена необходимостью их внедрения на предприятиях угледобывающей промышленности как драйвера повышения эффективности их работы, снижения транзакционных издержек, увеличения производительности труда и повышения безопасности работы горняков [1].

Сегодня существует достаточно много прогнозов в области перспектив цифровизации. Так, по оценкам MacKinsey [2], реальными перспективами отраслевого развития в цифровой экономике являются: повышение производительности труда за счет автоматизации работ на 45–55%; уменьшение простоев оборудования на 30–50%; снижение затрат на техническое обслуживание на 10–40%.

Максимальная автоматизация угледобывающих процессов и дальнейший переход от выполнения операций к управлению являются основой перехода к цифровому угледобывающему предприятию. Объединение всех цифровых технологий предприятия в единую систему позволит обеспечить максимальную эффективность и безопасность добычи угля [3].

Вместе с тем предприятиям сложно определить, какой уровень цифровой зрелости достигнут и что еще предстоит сделать по цифровизации угледобывающих компаний. Целью проведенного исследования является разработка методики проведения аудита цифровой зрелости организаций угледобывающей промышленности с учетом их особенностей.

### МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ПОНЯТИЙНЫЙ АППАРАТ

Исследование проводилось на основании изучения автором этапов цифровизации угледобывающих компаний и направлений цифровизации на них, рассматривались существующие методики оценки цифровой зрелости других промышленных предприятий, анализировались возможности их применения предприятиями угледобывающей отрасли России [4].

Цифровая зрелость — это уровень цифрового развития компании, способность создавать ценности и улучшать бизнес-процессы с помощью цифровых технологий. [5].

### КОНЦЕПТУАЛЬНЫЕ ПОДХОДЫ К ОЦЕНКЕ ЦИФРОВОЙ ЗРЕЛОСТИ УГЛЕДОБЫВАЮЩИХ КОМПАНИЙ

Оценка уровня цифровой зрелости будет проводиться на основе 18 показателей оценки, формирующих структуру оценки цифровой зрелости угледобывающих предприятий, каждый из которых предназначен для анализа отдельного направления цифровизации (рис. 1) [6].

Первые 15 показателей характеризуют базовые инструменты цифровизации, а последние три используются для оценки уровня применимости передовых технологий и их взаимосвязи с базовыми инструментами [7]. Методика позволяет определить общий уровень импортозамещения прикладного, а также общесистемного программного обеспечения [8].

Согласно разработанной методике, организации с высоким уровнем цифровой зрелости имеют на всех автоматизированных рабочих местах (АРМ) лицензионные программные продукты, находятся в локальной сети предприятия и имеют возможность взаимодействия как с управляющей компанией, так и с другими организациями. В управляющих компаниях, всё используемое горно-шахтное оборудование интегрировано в сеть передачи данных организации и может осуществлять обмен информацией с системами управления предприятием и др. При этом предприятием обеспечивается соблюдение требований Фе-



Рис. 1. Показатели для оценки уровня цифровой зрелости угледобывающего предприятия

Fig. 1. Indicators for assessing the digital maturity level of a coal mining operation

дерального закона от 26 июля 2017 г. № 187-ФЗ «О безопасности критической информационной инфраструктуры Российской Федерации» и регуляторов в области информационной безопасности (ФСТЭК России) [9, 10, 11].

### АЛГОРИТМ ОЦЕНКИ УРОВНЯ ЦИФРОВОЙ ЗРЕЛОСТИ УГЛЕДОБЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Расчет первого показателя включает оценку количества необходимых классов программного обеспечения (ПО), унификации ПО и доли лицензионного ПО.

Оценка необходимых классов ПО вычисляется путем анализа наличия на предприятии следующих классов программного обеспечения: CAD (без учета ECAD), ECAD (без учета механических CAD), CAE, CAPP, CAM, PDM, ERP, Системы управления бухгалтерским учетом, Системы бюджетирования, Системы управления проектами, Системы управления персоналом, MRP II, ILS, ПО для ИЭТР, MDM, СЭД, EAM [10].

При наличии в классе ПО хотя бы одного наименования программного продукта данному классу ПО присваивает-

ся значение «1». Максимальный балл по данному показателю равен 17.

Показатель (доля лицензионного ПО) вычисляется для каждого его класса по формуле (1):

$$S_n = a_1 + a_2/a_1 + a_2 + b_1 + b_2, \quad (1)$$

где  $S$  – доля лицензионного ПО,  $n$  – порядковый номер класса ПО,  $a_1$  – количество официальных лицензий отечественного ПО,  $a_2$  – количество официальных лицензий зарубежного ПО,  $b_1$  – количество прочих копий лицензий отечественного ПО,  $b_2$  – количество прочих копий лицензий зарубежного ПО. Для получение итоговой оценки показателя проведем вычисления согласно формуле (2):

$$R_1 = \sum S_n / 17, \quad (2)$$

где  $S_n$  – доля лицензионного ПО для каждого класса ПО.

Под системами-консолидаторами в рамках методики подразумеваются следующие системы: PDM, MRP-II, ERP, MDM, ILS. Оценка по каждому классу ПО выставляется бинарно: при наличии системы вышеуказанного класса присваивается 1 балл, при отсутствии – 0. Итоговый балл  $R_2$  формируется как отношение суммы баллов по каждому классу ПО к максимальному количеству баллов, которое в данном показателе равно 5.

Показатель 3 анализируется на основании данных о доле дочерних обществ, применяющих каждый из трех возможных типов передачи данных (далее –  $a_1, a_2, a_3$ ).

Для формирования единой оценки по данному показателю вводится система весовых коэффициентов: при передаче информации между системами-консолидаторами автоматически присваивается вес  $p_1 = 2$ , при передаче информации дискретно автоматизированно присваивается вес  $p_2 = 1$ , при передаче информации дискретно вручную присваивается вес  $p_3 = 0,5$ , при частичном отсутствии систем-консолидаторов присваивается вес  $p_4 = 0,25$ , при отсутствии систем-консолидаторов присваивается вес  $p_5 = 0$ . Итоговый показатель формируется согласно формуле (3):

$$R_3 = \sum a_n p_n / \text{максимальное количество баллов}. \quad (3)$$

Максимальное количество баллов в данном показателе равно 2.

При оценке показателя 4 оцениваются общая обеспеченность работников автоматизированными рабочими местами и доля автоматизированных рабочих мест работников по типу подключения к сети.

Данные по общей обеспеченности предприятия автоматизированными рабочими местами формируются по формуле (4):

$$R_{4.1} = \frac{\text{Общее количество АРМ}}{\text{Общее количество с потребностью в АРМ}} \cdot \quad (4)$$

Далее формируются данные о доле АРМ по типу подключения к сети. Присвоим типам «без сети», «в локальной сети подразделения», «в локальной сети подразделения и предприятия», «в локальной сети подразделения, предприятия и управляющей компании» наименования « $a_1$ », « $a_2$ », « $a_3$ », « $a_4$ » соответственно. Для формирования единой оценки по типу подключения АРМов к сети введена система весовых коэффициентов: без сети –  $p_1 = 0$ , в локальной

сети подразделения –  $p_2 = 1$ , в локальной сети подразделения и предприятия –  $p_3 = 2$ , в локальной сети подразделения, предприятия и управляющей компании –  $p_4 = 3$ . Далее по формуле, аналогичной формуле (3), вычисляется оценка интегрированной структуры. Итоговая оценка данного показателя связывает общую обеспеченность АРМ и тип подключения существующих АРМ по формуле:

$$R_4 = R_{4.1} \times R_{4.2} / \text{максимальное количество баллов}.$$

Максимальное количество баллов в данном показателе равно 3.

Показатель 5 формируется путем оценки трех различных показателей.

Первый показатель  $R_{5.1}$  оценивается в зависимости от распределения доли ДЗО по вариантам применения центров обработки информации (ЦОД) и хранилищ данных:  $a_1$  – применяется свой ЦОД, %,  $a_2$  – применяется ЦОД управляющей компании интегрированной структуры, %,  $a_3$  – применяется ЦОД, арендованный у сторонней организации вне контура интегрированной структуры, %,  $a_4$  – ЦОД не применяется, но имеется потребность, %,  $a_5$  – ЦОД не применяется, %.

Второй показатель  $R_{5.2}$  оценивается в зависимости от распределения доли ДЗО по применяемым регламентам резервного копирования с учетом весовых коэффициентов:  $a_1$  – автоматическое, %,  $a_2$  – автоматизированное, %,  $a_3$  – ручное, %.

Третий показатель  $R_{5.3}$  оценивается в зависимости от распределения доли ДЗО по категорированию ЦОДов и хранилищ данных с учетом весовых коэффициентов:  $a_1$  – открытое и дсп, %,  $a_2$  – секретно и выше, %,  $a_3$  – оба типа, %,  $a_4$  – отсутствует категорирование, %.

Для оценки применяются система весовых коэффициентов и формула, аналогичная формуле (3), а итоговая оценка показателя связывает общую обеспеченность АРМ и тип подключения существующих АРМ по формуле (5):

$$R_5 = R_{5.1} + R_{5.2} + R_{5.3} / \text{максимальное количество баллов}. \quad (5)$$

Максимальное количество баллов в данном показателе – 3.

Оценка применения суперкомпьютерных технологий (СКТ) проводится в несколько этапов: оценивается доля дочерних обществ, применяющих суперкомпьютерные технологии  $R_{6.1}$ , оцениваются стадии жизненного цикла, на которых применяются суперкомпьютерные технологии  $R_{6.2}$  [11].

Организации ОПК распределяются по типам:  $a_1$  – применяют СКТ,  $a_2$  – не применяют СКТ, но есть необходимость,  $a_3$  – нет необходимости применения СКТ.

По видам стадий, на которых применяются СКТ, организации ОПК распределяются с учетом весовых коэффициентов по следующим типам:  $a_1$  – при проектировании и моделировании испытаний,  $a_2$  – при производстве (подготовке к производству),  $a_3$  – при проектировании и моделировании испытаний, а также при производстве (подготовке к производству).

Для оценки применяются система весовых коэффициентов и формулы, аналогичные формулам (3) и (5). Максимальное количество баллов в данном показателе – 2.

Оценка общесистемного ПО проводится в несколько этапов: оцениваются наличие баз данных и принадлежность системы управления базами данных (СУБД) к российским или зарубежным разработчикам и оцениваются классы применяемого общесистемного ПО и степень их унификации.

Применительно к каждому классу программного обеспечения указывается применение баз данных и вычисляется доля СУБД отечественной разработки.

Далее вычисляется средний показатель доли баз данных под управлением отечественных СУБД по интегрированной структуре. Данному показателю присваивается переменная  $R_{7,1}$ .

Следующим шагом выявляются, какой спектр общесистемного ПО применяется, и степень его унификации в рамках интегрированной структуры  $R_{7,2}$  как отношение применяемых типов общесистемного ПО к общему количеству типов общесистемного ПО. В рамках общесистемного ПО анализируются следующие типы: операционные системы, антивирусное ПО, офисное ПО, гипервизоры. Итоговая оценка данного показателя связывает применение общесистемного ПО и баз данных по формуле, аналогичной формуле (5). Максимальное количество баллов в данном показателе – 2.

При оценке степени интеграции технологического оборудования рассматривается оборудование для следующих видов технологий: шахтные буровые установки и комбайны, шахтное вентиляционное оборудование, шахтные конвейеры и оборудование перемещения угля, угледробильное оборудование, оборудование обогащения угля, оборудование электроснабжения, оборудование водоотлива, оборудование многофункциональной системы безопасности, экскаваторы для открытых горных работ, бульдозеры для открытых горных работ, самосвалы для открытых горных работ.

Далее существуют три варианта:  $a_1$  – оборудование интегрировано с системами,  $a_2$  – оборудование не интегрировано с системами,  $a_3$  – нет необходимости интеграции оборудования. По формуле, аналогичной формуле (3), вычисляется оценка интегрированной структуры с учетом весовых коэффициентов  $p_n$  по степени интеграции оборудования. Максимальное количество баллов в данном показателе – 8.

В показателе 9 рассматривается оборудование для пяти видов деятельности: добыча угля шахтным способом, добыча угля открытым способом, обогащение угля, хранение угля и транспортировка угля.

Данный показатель  $R_9$  оценивается по доле вхождения в системы мониторинга оборудования предприятия.

При оценке степени унификации используемых систем управления нормативной справочной информацией (MDM) оценивается доля справочников, погруженных в MDM-системы  $c$ , доля справочников вне MDM-систем по показателям  $d$  – доля справочников, синхронизированных между ПО различных классов, и показателю  $f$  – доля справочников, синхронизированных между ДЗО.

Оценка интегрированной структуры по применению MDM-систем рассчитывается по формуле (6):

$$R_{10} = \frac{a+b+c+0,8 \times (d+f)}{5} \quad (6)$$

В показателе 11 наличие стандартов организации в области ИТ рассматриваются стандарты, регламентирующие применение ПО по классам задач при проектировании, производстве и эксплуатации изделий, порядок использования бизнес-процессов, реализованных в различных классах задач, порядок применения отчетных форм, порядок применения BI-аналитики.

Далее по формуле (7) вычисляется оценка интегрированной структуры по степени применения стандартов в области ИТ:

$$R_{11} = \sum a_n p_n / m, \quad (7)$$

где  $m = 4 \times$  количество ДЗО,  $a_n$  – количество дочерних обществ, применяющих от 0 до 4 типов стандартов,  $p_n$  – весовой коэффициент.

В показателе применения BI-аналитики рассматривается доля интегрированных систем принятия решения со следующими классами программного обеспечения:  $a_1$  – системы управления инженерными данными (PDM), %,  $a_2$  – управление производством, %,  $a_3$  – управление складскими запасами, %,  $a_4$  – управление снабжением, %,  $a_5$  – управление бюджетированием, %,  $a_6$  – управление бухгалтерией, %,  $a_7$  – управление интерактивного электронно-технического руководства (ИЭТР), %,  $a_8$  – системы мониторинга загрузки оборудования, %.

Далее результирующий показатель для данного показателя вычисляется по формуле (8):

$$R_{12} = \sum a_n / 8. \quad (8)$$

При оценке показателя применения систем организационного распорядительного документооборота  $R_{13}$  оценивается доля АРМ в организациях, в которых применяется соответствующий тип ЭЦП.

Аналогично оцениваются показатели автоматизации управления контрактной деятельностью  $R_{14}$  и применение системы управления межзаводской кооперацией  $R_{15}$ .

Мероприятия по повышению квалификации персонала оцениваются по наличию аттестованных специалистов в разрезе классов ПО за прошедший год показателем  $R_{16}$ .

В показателе  $R_{17}$  рассматривается глубина внедрения BIM-систем до следующих уровней:  $a_1$ : не применяют BIM-системы,  $a_2$ : производство,  $a_3$ : участок,  $a_4$ : проходческое оборудование,  $a_5$ : энергетическое оборудование,  $a_6$ : системы складов,  $a_7$ : детали/запасные части,  $a_8$ : техпроцессы,  $a_9$ : работники.

Далее рассматривается доля дочерних (зависимых) обществ, в которых BIM-системы внедрены до конкретного уровня с учетом весовых коэффициентов и по формуле, аналогичной формуле (3), вычисляется оценка интегрированной структуры по степени применения BIM-систем. Максимальное количество баллов в данном показателе – 8.

В показателе  $R_{18}$  рассматривается степень выполнения требований законодательства в области информационной безопасности дочерними (зависимыми) обществами, например, наличие на предприятии назначенных должностных лиц, ответственных за организацию и контроль состо-

яния защиты информации, управление (администрирование) системой защиты информации автоматизированной (информационной) системы, регламенты выявления инцидентов и реагирования на них и др.

### ФОРМИРОВАНИЕ ИТОГОВОЙ ОЦЕНКИ ЦИФРОВОЙ ЗРЕЛОСТИ УГЛЕДОБЫВАЮЩЕГО ПРЕДПРИЯТИЯ

По результатам расчета всех 18 показателей формируется диаграмма цифровой зрелости угледобывающего предприятия (рис. 2).

В результате вычисляется итоговый показатель уровня цифровой зрелости угледобывающих предприятий по формуле (9):

$$R = \sum R_n / m \times 100\%, \quad (9)$$

где  $m$  – максимальное количество баллов (равно 20). Для представленной диаграммы он составил 76,55%.

Также формируются оценка уровня цифровизации согласно формуле (10) и уровень применения передовых технологий согласно формуле (11).

$$R = (\sum R_n - R_5 - R_6 - R_{17}) / m \times 100\%, \quad (10)$$

где  $m$  – максимальное количество баллов по опросу – 17.

$$R = (\sum R_5 + R_6 + R_{17}) / m \times 100\%, \quad (11)$$

где  $m$  – максимальное количество баллов по опросу – 3.

Для представленной диаграммы уровень цифровизации составил 76,53%.

Данные методические рекомендации позволяют провести комплексную оценку угледобывающих компаний с учетом их дочерних (зависимых) обществ, а также отдельных организаций, выявить слабые места и определить направления первоочередного развития в области цифровизации [12].

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Данные методические рекомендации учитывают особенности цифровизации угледобывающих компаний России и позволяют провести их комплексную оценку с учетом их дочерних (зависимых) обществ, а также отдельных организаций, выявить слабые места и определить направления первоочередного развития организации в области цифровизации.

Предложенная авторами методика может использоваться и предприятиями других отраслей промышленности при адаптации алгоритмов расчета показателей с учетом особенностей их технологических процессов и применяемых методов управления в головной организации и зависимых (дочерних) обществах компании.

### Список литературы

1. Щетинин С. Цифровое будущее горнорудного предприятия / А. Тимофеев, М. Волков, М. Могучев и др. // BCG REVIEW. 2020. Сентябрь. С. 9-25.



Рис. 2. Сетевая диаграмма цифровой зрелости угледобывающего предприятия

Fig. 2. Network diagram of the digital maturity of a coal mining operation

2. Industry 4.0 at McKinsey's Model Factories. Get Ready for the Disruptive Wave. McKinsey Digital. URL: [https://capability-center.mckinsey.com/files/downloads/2016/digital4.0modelfactories\\_brochure\\_0.pdf](https://capability-center.mckinsey.com/files/downloads/2016/digital4.0modelfactories_brochure_0.pdf) (дата обращения: 15.11.2023).
3. Цивилева А.Е. Развитие производственно-технологического потенциала предприятий угольной промышленности на основе внедрения цифровых технологий // Научный вестник оборонно-промышленного комплекса России. 2022. № 1. С. 76-86. DOI: 10.52135/2410-4124-2022-1-76.
4. Nassim Khaled, Bibin Pattel, Affan Siddiqui. Digital Twin Development and Deployment on the Cloud. London: Academic Press is an imprint of Elsevier, 2020. 582 p.
5. Солодилова Н.З., Маликов Р.И., Гришин К.Е. Методический инструмент оценки состояния региональной предпринимательской экосистемы // Экономика региона. 2018. № 4. С. 1256-1269.
6. Zaki M., Ismail Abdelaa M.H. Digital Business Transformation and Strategy: What Do We Know So Far. Working Paper, 2018. URL: [https://www.researchgate.net/publication/322340970\\_Digital\\_Business\\_Transformation\\_and\\_Strategy\\_What\\_Do\\_We\\_Know\\_So\\_Far](https://www.researchgate.net/publication/322340970_Digital_Business_Transformation_and_Strategy_What_Do_We_Know_So_Far) (дата обращения: 15.11.2023).
7. Цивилева А.Е., Голубев С.С. Влияние санкций на работу предприятий угольной промышленности // Уголь. 2022. № 8. С. 84-91. DOI: 10.18796/0041-5790-2022-8-84-91.
8. Global Environment Outlook – GEO-6: Technical Summary. UN Environment. April 2021. P. 104.
9. Shyam Varan Nath, Pieter van Schalkwyk. Building Industrial Digital Twins. Birmingham UK: Published by Packt Publishing Ltd. 2021.
10. Потапов В.П., Кузьмин Д.Г., Сероус Т.О. Научно-практические основы проекта «Цифровой УСКАТ» и особенности его реализации // Уголь. 2022. № 11. С. 40-47. DOI: 10.18796/0041-5790-2022-11-40-47.
11. Прохоров А., Лысачев М. Цифровой двойник. Анализ, тренды, мировой опыт. М.: ООО «АльянсПринт», 2020. 401 с.
12. Дмитриева В.В., Авхадиев И.Ф., Сизин П.Е. Использование современных программно-технических комплексов для автоматизации конвейерных линий // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2021. № 2. С. 150-163.

Original Paper

UDC 658.387:622.3 © A.E. Tsivileva, S.S. Golubev, 2023  
 ISSN 0041-5790 (Print) • ISSN 2412-8333 (Online) • Ugol' – Russian Coal Journal, 2023, № 12, pp. 24-29  
 DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2023-12-24-29>

## Title

**METHODOLOGY FOR CONDUCTING AN AUDIT OF THE DIGITAL MATURITY OF COAL MINING ORGANIZATIONS**

## Authors

Tsivileva A.E.<sup>1</sup>, Golubev S.S.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> "Kolmar Group" JSC, Neryungri, 678960, Russian Federation

<sup>2</sup> Kutafin Moscow State Law University, Moscow, 107023, Russian Federation

## Authors Information

**Tsivileva A.E.**, PhD (Economic), Chairman of the Board of Directors, e-mail: [office@kolmar.ru](mailto:office@kolmar.ru)

**Golubev S.S.**, Doctor of Economic Sciences, Professor, Professor of the Department of Management and Economics, e-mail: [sergei.golubev56@mail.ru](mailto:sergei.golubev56@mail.ru)

## Abstract

The article discusses conceptual approaches and methods for assessing the level of development of digital technologies at coal industry enterprises. The relevance of introducing digital technologies in the coal industry is undeniable. However, at present, the scientific and methodological apparatus for auditing the digital maturity of coal industry organizations is not fully developed. The authors propose a methodology for auditing the digital maturity of a coal mining enterprise based on a new set of indicators that take into account the peculiarities of the development of digital technologies in various areas of organizations in the coal mining industry. It will allow for a comprehensive assessment of the level of digitalization of coal mining companies, identifying weaknesses and determining directions for priority development in the field of digitalization.

## Keywords

Digital maturity, Coal mining enterprises, Digital transformation, Level of digitalization, Audit, Efficiency, Digital technologies for coal mining and processing.

## References

1. Timofeev A., Volkov M., Moguchev M. & Shchetinin S. Digital future of a mining enterprise. *BCG REVIEW*, 2020, September, pp. 9-25. (In Russ.).
2. Industry 4.0 at McKinsey's Model Factories. Get Ready for the Disruptive Wave. McKinsey Digital. Available at: [https://capability-center.mckinsey.com/files/downloads/2016/digital\\_4.0modelfactoriesbrochure\\_0.pdf](https://capability-center.mckinsey.com/files/downloads/2016/digital_4.0modelfactoriesbrochure_0.pdf) (accessed 15.11.2023).
3. Tsivileva A.E. Development of the production and technological potential of coal industry enterprises based on the introduction of digital technologies. *Scientific Bulletin of the Russian Defense Industrial Complex*, 2022, (1), pp. 76-86. (In Russ.). DOI: 10.52135/2410-4124-2022-1-76.

4. Nassim Khaled, Bibin Pattel & Affan Siddiqui. Digital Twin Development and Deployment on the Cloud. London, Academic Press is an Imprint of Elsevier, 2020, 582 p.

5. Solodilova N.Z., Malikov R.I. & Grishin K.E. Methodological tools for assessing the state of the regional entrepreneurial ecosystem. *Economics of the region*, 2018, (4), pp. 1256-1269. (In Russ.).

6. Zaki M. & Ismail Abdelaa M.H. Digital Business Transformation and Strategy: What Do We Know So Far. Working Paper, 2018. Available at: [https://www.researchgate.net/publication/322340970\\_Digital\\_Business\\_Transformation\\_and\\_Strategy\\_What\\_Do\\_We\\_Know\\_So\\_Far](https://www.researchgate.net/publication/322340970_Digital_Business_Transformation_and_Strategy_What_Do_We_Know_So_Far) (accessed 15.11.2023).

7. Tsivileva A.E. & Golubev S.S. Impact of sanctions on operation of the coal industry enterprises. *Ugol'*, 2022, (8), pp. 84-91. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2022-8-84-91.

8. Global Environment Outlook – GEO-6: Technical Summary. UN Environment, April 2021, p. 104.

9. Shyam Varan Nath & Pieter van Schalkwyk. Building Industrial Digital Twins. Birmingham UK, Published by Packt Publishing Ltd, 2021.

10. Potapov V.P., Kuzmin D.G. & Serous T.O. Scientific and practical foundations of the Digital Uskat Project and specific features of its implementation. *Ugol'*, 2022, (11), pp. 40-47. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2022-11-40-47.

11. Prokhorov A. & Lysachev M. Digital Twin. Analysis, trends, world experience. Moscow, AlliancePrint LLC, 2020, 401 p. (In Russ.).

12. Dmitrieva V.V., Avkhadiev I.F. & Sizin P.E. The use of modern software and hardware systems for the automation of conveyor lines. *Mining information and analytical bulletin (scientific and technical journal)*, 2021, (2), pp. 150-163. (In Russ.).

## For citation

Tsivileva A.E. & Golubev S.S. Methodology for conducting an audit of the digital maturity of coal mining organizations. *Ugol'*, 2023, (12), pp. 24-29. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2023-12-24-29.

## Paper info

Received October 12, 2023

Reviewed November 10, 2023

Accepted November 27, 2023

# Опыт повышения производительности горнотранспортного оборудования на Солнцевском угольном разрезе

DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2023-12-30-36>



**КУЗЕМЧЕНКО М.Н.**  
Генеральный директор  
ООО «Восточная  
горнорудная компания»  
123100, г. Москва, Россия



**ЧЕРСКИХ О.И.**  
Канд. техн. наук, директор  
ООО «Солнцевский угольный разрез»,  
694910, г. Шахтерск, Россия,  
e-mail: cherskikhoi@eastmining.ru



**НАЗАРЯН С.А.**  
Канд. техн. наук, заместитель  
генерального директора по  
операционной эффективности  
ООО «Восточная  
горнорудная компания»,  
123100, г. Москва, Россия

ООО «Восточная горнорудная компания» формирует современный высокопроизводительный угледобывающий комплекс с объемом производства 20 млн т в год. Для организации поэтапного вывода комплекса на высокую производительность горнотранспортного оборудования эффективно используется метод «проведение Дня повышенной производительности». Этот метод является инструментом опробования новых возможностей в производстве на основе улучшения организации взаимодействия всех участников процесса на стадиях его планирования, подготовки и осуществления.

**Ключевые слова:** угольный разрез, горнотранспортное оборудование, производительность, метод повышения производительности, организация производства.

**Для цитирования:** Куземченко М.Н., Черских О.И., Назарян С.А. Опыт повышения производительности горнотранспортного оборудования на Солнцевском угольном разрезе // Уголь. 2023. № 12. С. 30-36. DOI: 10.18796/0041-5790-2023-12-30-36.

## ВВЕДЕНИЕ

В состав ООО «Восточная горнорудная компания» входят: Солнцевский угольный разрез, угольный морской порт г. Шахтерск, сервисные предприятия. Стратегической целью компании является формирование современного высокопроизводительного угледобывающего комплекса с объемом производства 20 млн т [1]. Строится конвейер от угольного склада разреза до порта протяженностью более 20 км. Угольный разрез планомерно наращивает объемы добычи угля. За последние пять лет объем увеличен более чем в два раза. В 2023 г. планируется добыть 13,7 млн т угля (рис. 1).

Для организации поэтапного вывода разреза на высокую производительность компания, наряду с другими организационно-технологическими инструментами [1, 2, 3, 4, 5], использует метод «проведение Дня повышенной производительности». Его предназначением являются опробование новых управленческих решений, экспе-



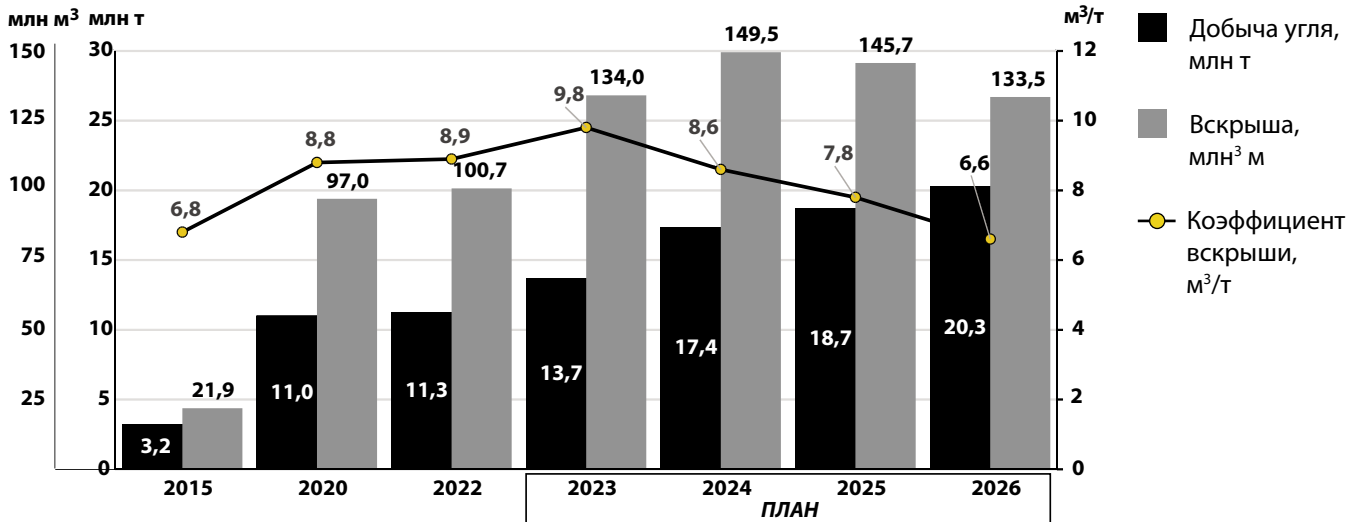


Рис. 1. Динамика объемов производства Солнцевского угольного разреза  
 Fig. 1. Dynamics of production volumes at the Solntsevo coal strip mine

риментальная проверка возможности достижения нового уровня подготовленности и согласованности работы всех участников производства и закрепление достигнутого уровня в деятельности разреза. В отношении отдельной единицы техники этот метод широко используется в угольной отрасли [6, 7, 8, 9, 10, 11], но без разработки мероприятий по закреплению результатов. Принципиальная организационная схема метода, применяемого в «Восточной горнорудной компании», представлена на рис. 2. Особенностью подхода компании является его направленность на сплочение персонала и обеспечение слаженности взаимодействия всей вертикали управления производством.

Результаты проведения Дней повышенной производительности на Солнцевском угольном разрезе показывают действенность этого метода в определении новых возможностей повышения его производительности (рис. 3).



Рис. 2. Принципиальная организационная схема проведения «Дня повышенной производительности»

Fig. 2. Schematic organizational chart of the Enhanced Performance Day

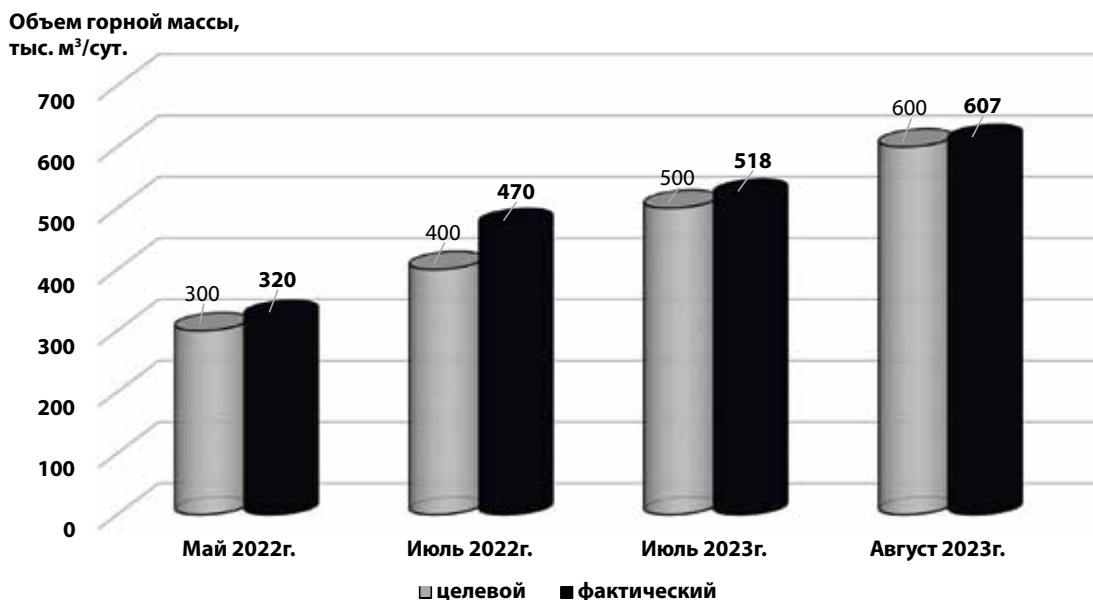


Рис. 3. Результаты применения метода «День повышенной производительности»

Fig. 3. Results of introducing the Enhanced Performance Day method

## Перечень мероприятий

List of measures

Компоненты процесса	Мероприятия
Персонал	<p>В течение предшествующей Дню повышенной производительности недели проработать с персоналом при выдаче нарядов-заданий порядок организации работ в этот день и условия вознаграждения</p> <p>Усилить бригаду машинистов экскаваторов с вместимостью ковша 22 куб. м опытными сотрудниками – инструкторами машинистов экскаваторов</p> <p>Оценить водителей карьерных автосамосвалов, выявить «слабые звенья» и сформировать экипажи с привлечением опытных водителей и инструкторов</p> <p>Обеспечить наличие достаточного количества персонала для ввода в работу всех единиц бульдозерной техники. Организовать стажировку восьми машинистов бульдозеров. Дополнительно обеспечить выход на линию трех бульдозеров</p> <p>Организовать достаточное количество персонала в сервисных организациях, задействованных в ремонтных работах экскаваторов с вместимостью ковша 22 куб. м</p> <p>Обеспечить дежурных машинистов экскаваторов Komatsu PC 2000 на подмену для осуществления «бесшовных обедов»</p> <p>Обеспечить премиальные выплаты всем участникам производственного процесса по 5000 руб./смену</p> <p>Определить премиальные выплаты персоналу за достижение лучших результатов по видам оборудования</p> <p>Определить премиальные выплаты персоналу подрядных организаций, участвующих в производственном процессе</p>
Оборудование	<p>За трое суток до Дня повышенной производительности по чек-листам выполнить аудит технического состояния карьерных автосамосвалов, бульдозеров и экскаваторов, провести ТО и профилактический ремонт оборудования. Фокус на «болевых точках» – центральная система смазки, радиаторы, рукава высокого давления</p> <p>Выделить дополнительные единицы техники для доставки обедов водителям самосвалов и машинистам экскаваторов, а также доставки персонала на пересменку</p> <p>Обеспечить наличие на линии всего парка топливозаправочной техники для оперативной заправки горнотранспортной техники</p> <p>Провести проверку «последней мили» кабельной продукции экскаваторов с вместимостью ковша 22 куб. м</p> <p>Обеспечить круглосуточное нахождение на участке паровой передвижной депарафинизационной установки</p>
Условия	<p>Провести оценку качества забоев после БВР, наличия зон с трудноразбираемыми забоями. При необходимости провести «рокировку» машинистов экскаваторов с вместимостью ковша 22 куб. м для повышения эффективности работы в сложных условиях либо выполнить перегон экскаваторной техники в более благоприятные условия</p> <p>Оценить качество дорожного покрытия в карьере и привести параметры дорог в соответствие с требованиями для обеспечения необходимого скоростного режима карьерных автосамосвалов</p> <p>Завезти щебень в карьер для оперативной подсыпки дорожного покрытия в случае ухудшения погодных условий</p>
Технология	<p>Расположить экскаваторы с вместимостью ковша 22 куб. м в забоях таким образом, чтобы минимизировать их перегоны</p> <p>Подготовить забои для работы всех экскаваторов на два подъезда</p>
Организация	<p>Организовать работу комплексов экскаваторов с вместимостью ковша 22 куб. м по закрытому циклу. Составить реестр закрепления автосамосвалов за экскаваторами</p> <p>Организовать проведение «бесшовных обедов» для машинистов экскаваторов с вместимостью ковша 12-22 куб. м и водителей БелАЗ 75306, БелАЗ 75131, Komatsu 785, Komatsu 1500, машинистов бульдозеров</p> <p>Составить рациональный график маршрутов движения автобусов для ускорения доставки персонала на пересменку</p> <p>За каждым участком открытых горных работ для оперативной работы руководящего персонала закрепить автомобиль</p> <p>Определить количество карьерных автосамосвалов для каждого экскаватора с учетом дальности транспортирования угля и вскрыши</p> <p>Настроить горных диспетчеров участков на усиление оперативного контроля и своевременное принятие мер по перераспределению автосамосвалов под экскаваторы в случае нарушения технологического цикла транспортирования угля и вскрыши</p> <p>Распределить автосамосвалы с учетом приоритетности экскаваторов, расположенных на отдаленных участках (дополнительный подпор)</p> <p>Сделать видеоролик для водителей о правилах установки автосамосвалов под погрузку, разворота и т.п.</p> <p>Провести информирование и мониторинг работы водителей самосвалов по данным правилам</p> <p>Организовать постоянный контроль соблюдения правильной схемы подъезда автосамосвалов к экскаваторам с вместимостью ковша 22 куб. м под погрузку и разворота</p>

Компоненты процесса	Мероприятия
	Усилить дежурную бригаду для устранения аварийных поломок и организовать ее работу с привлечением автотранспорта для оперативной доставки персонала и грузового автотранспорта с крановой установкой для выполнения грузоподъемных работ
	Сформировать резерв запасных частей и материально-технических ресурсов с учетом наиболее вероятных поломок
	Технику, потребляющую большое количество электроэнергии, вывести на ТО для исключения «просадки» напряжения в электросети
	Проинформировать представителей ПАО «Сахалинэнерго» о проведении Дня повышенной производительности для предупреждения простоев по энергообеспечению
	Составить рациональный график заправки карьерных автосамосвалов на пункте ГСМ и обеспечить его исполнение
	Проинформировать сотрудников ситуационно-аналитического центра о порядке проведения заправки
	Обязать горных диспетчеров информировать по радиосвязи участников производственного процесса каждые два часа о его текущем состоянии

Каждый раз при подготовке такого дня в качестве целевого уровня производительности устанавливается ранее «недостижимый», по представлениям руководителей производства, уровень. Его достижение позволяет работникам поверить в свои силы. В мае 2022 г. таким представлялся суточный объем горной массы в 300 тыс. куб. м, к настоящему моменту уже опробован уровень в 607 тыс. куб. м/сут.

### МЕТОД «ДЕНЬ ПОВЫШЕННОЙ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ»

День повышенной производительности как метод начал использоваться в рамках развития систем диспетчеризации и создания Ситуационно-аналитического центра [5]. В этот день все руководители, включая генерального директора и директора разреза, непосредственно участвуют в организации и управлении производством, что позитивно настраивает персонал на достижение целевого результата.

Структурно-функциональный анализ метода, выполненный совместно со специалистами НИИОГР, позволил формализовать его предназначение и содержание. Суть метода заключается в тщательной взаимоувязке всех компонентов производственного процесса – персонала, оборудования, условий, технологии, организации – на стадиях планирования и подготовки работ, организационной поддержки и контроля его осуществления, мотивирования

участников к достижению целевого результата на основе моделирования их взаимодействия. Применение этого метода можно проиллюстрировать на примере Дня повышенной производительности, реализованного 23 августа 2023 г. Заблаговременно были разработаны мероприятия, представленные в табл. 1.

Следует отметить, что приоритетными из этих мероприятий являются те, которые направлены на повышение слаженности взаимодействия работников при осуществлении экскавации горных пород, их транспортирования, подготовки дорог и забоев, а также обслуживания оборудования.

В результате реализации этих мероприятий объем экскавации в День повышенной производительности составил 607 тыс. куб. м.

### АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ

Объемы, полученные дополнительно к месячному плану в итоге проведения 23.08.2023 Дня повышенной производительности, по каждой группе экскаваторов представлены на рис. 4.

Рост производительности был достигнут за счет уменьшения времени простоев, длительности цикла погрузки и времени обмена самосвалов, обеспечения рационального сочетания погрузочной, транспортной и бульдозерной техники. Обобщенная информация по группам оборудования и факторам представлена в табл. 2.

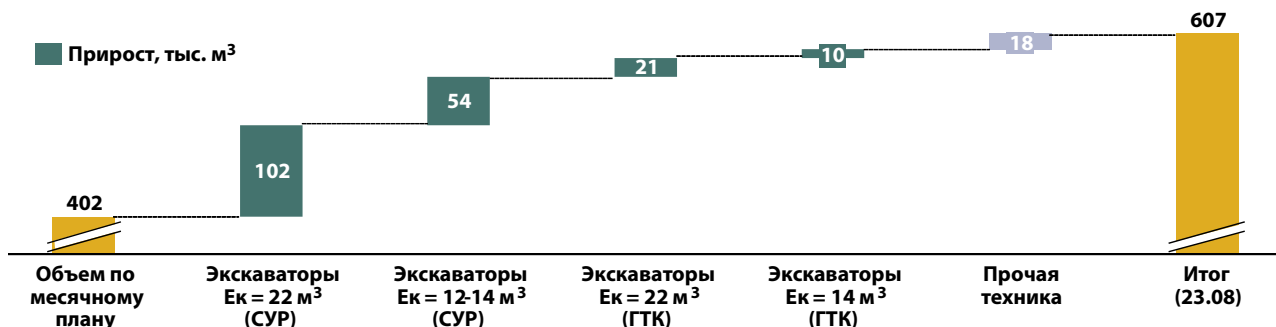


Рис. 4. Вклад групп экскаваторов в дополнительный к месячному плану объем экскавации: Ек – вместимость ковша; СУР – Солнцевский угольный разрез; ГТК – подрядная организация ООО «Горнотранспортная компания «Дальний Восток»

Fig. 4. Contribution of excavator groups to the additional volume of excavation against the monthly plan: Ек – bucket capacity; СУР – Solntsevsky Coal Mine LLC; ГТК – Mining Transportation Company - Dalniy Vostok LLC as a contractor

Факторы улучшений по группам оборудования

Factors of improvement by equipment groups

Группа оборудования	Уменьшение суммарных простоев, ч/сут.	Сокращение времени цикла постановки под погрузку и погрузки автосамосвала, с	Результат – увеличение производительности, тыс. м³/сут.
<b>ООО «Солнцевский угольный разрез»</b>			
Экскаваторы с вместимостью ковша 22 куб. м	- 56	- 34	+ 102
Экскаваторы с вместимостью ковша 12-14 куб. м	- 52	- 31	+ 54
<b>ООО «Горнотранспортная компания «Дальний Восток»</b>			
Экскаваторы с вместимостью ковша 22 куб. м	- 12	- 11	+ 21
Экскаваторы с вместимостью ковша 14 куб. м	- 4	- 16	+ 10

Результаты детального факторного анализа увеличения объемов производства представлены на рис. 5.

Из них следует, что предварительный аудит технического состояния оборудования и устранение выявленных отклонений в нем, обеспечение достаточного количества ремонтного персонала в каждой смене, качественный оперативный контроль процессов позволили обеспечить практически бесперебойную работу горнотранспортного оборудования. Оптимизация маршрутов доставки персонала до рабочих мест, а также организация «бесшовных обедов» с подменными машинистами экскаваторов значительно сократили регламентные простои оборудования. Обучение машинистов экскаваторов работе на два подъезда, а водителей – правильному подъезду и установке автосамосвалов под погрузку позволило ускорить время обмена самосвалов, повысить сложность работы, а следовательно, и ритмичность производственного процесса.

На Солнцевском угольном разрезе для обеспечения оперативного управления процессами применяется система цифрового мониторинга. Работа ситуационно-аналитического центра осуществляется с использованием собственной цифровой платформы OES – Operational excellence solutions [4, 5], которая содержит набор прикладных сервисов для решения задач оперативного управления горнодобывающим предприятием. Она состоит из четырех основных модулей – производительность, управление скоростью, топливная эффективность

и установке автосамосвалов под погрузку позволило ускорить время обмена самосвалов, повысить сложность работы, а следовательно, и ритмичность производственного процесса.



Рис. 5. Результаты факторного анализа увеличения объемов производства в «День повышенной производительности»

Fig. 5. Results of the factor analysis of increasing production volumes on the Enhanced Performance Day

**Архитектура решения**



Рис. 6. Система цифрового мониторинга и оперативного управления процессами

Fig. 6. Digital monitoring and operational process control system

и мониторинг остановок техники. Система цифрового мониторинга и оперативного управления процессами, представленная на рис. 6, предусматривает интеграцию и использование инструментов искусственного интеллекта для повышения эффективности производственных процессов. Эффективная балансировка комплексов из Ситуационно-аналитического центра в течение Дня повышенной производительности позволила уменьшить очереди на погрузку и сократить время ожидания автотранспорта под погрузку.

В обобщенном виде результаты реализации мероприятий по снижению продолжительности простоев представлены в табл. 3.

Важным этапом реализации Дня повышенной производительности является определение мероприятий по закреплению достигнутых результатов в производственной деятельности. Анализ итогов Дня повышенной производительности позволил определить такие мероприятия. Они представлены в табл. 4.

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Из опыта Солнцевского угольного разреза по организации Дней повышенной производительности установлено, что применение этого метода является действенным инструментом опробования новых возможностей в производстве. Он позволяет уяснить, что требуется сделать в отношении подготовки техники, персонала, условий работы, технологии и организации производства для того, чтобы ранее недостижимый уровень производительности разреза стал реальностью.

Таблица 3

**Результаты реализации мероприятий**

Results of implementing the measures

Вид простоев	Результат
Погрузка и обмен автосамосвалов	Уменьшена продолжительность погрузки на 9%; обмена – на 8% + 53 тыс. куб. м
Ремонтные работы	КТГ увеличен на 7% + 61 тыс. куб. м
Организационные неувязки	КИО увеличен на 20% + 71 тыс. куб. м
Отсутствие автотранспорта	Простои из-за ожидания автотранспорта снижены на 70% + 34 тыс. куб. м

**Список литературы**

1. Восточная горнорудная компания наращивает объемы добычи и отгрузки угля // Уголь. 2020. № 3. С. 30-31.
2. Генеральный директор Максим Куземченко: Будем меняться вместе: интервью // Уголь зрения. Ежемесячная корпоративная газета. 2020. Апрель (№ 1). С. 1-2.
3. Площенко С.А. Инструменты повышения операционной эффективности в угледобывающей отрасли на примере ООО «Восточная Горнорудная Компания» // Горная промышленность. 2021. № 2. С. 16-20.

Таблица 4

**Мероприятия по закреплению достигнутых результатов**

Measures to consolidate the results achieved

Вид оборудования	Мероприятия
Экскаваторы	Освоение машинистами с помощью инструкторов эффективных приемов погрузки автосамосвалов. Организация «бесшовных обедов». Регулярный осмотр техники с использованием чек-листов. В дополнение к комплексному мониторингу работы экскаваторов с вместимостью ковша 22 куб. м организовать мониторинг работы экскаваторов вместимостью 12-14 куб. м
Автосамосвалы	Освоение водителями с помощью инструкторов рациональной постановки автосамосвалов под погрузку при работе на 1 и 2 подъезда. <i>Перспектива:</i> Организация удаленного мониторинга утечек масла и охлаждающей жидкости (на базе собственной цифровой платформы). Организация комплексного мониторинга работы БелА3-75131 (в дополнении к БелА3-75306). Завершение создания информационного инструмента управления остановкой автосамосвалов при последнем рейсе в смену

4. Максимов А. В эпоху изменений — постоянно развиваться // Эксперт. 2023. № 24. С. 56-57.
5. Черских О.И., Минаков В.С., Назарян С.А. Повышение операционной эффективности деятельности угольного разреза посредством цифровизации процессов // Уголь. 2023. № 3. С. 79-84. DOI: 10.18796/0041-5790-2023-3-79-84.
6. Предприятия АО ХК «СДС-Уголь» установили очередные мировые рекорды по отгрузке горной массы // Уголь. 2018. № 12. С. 12.
7. Макаров В.Н., Анистратов К.Ю. Достижение наивысших рекордных показателей месячной производительности экскаваторов ЭКГ-18 на разрезах ЗАО «Стройсервис» // Уголь. 2019. № 1. С. 20-26. DOI: 10.18796/0041-5790-2019-1-20-26.
8. Свалов П.А., Мартынушкин Е.А. Начали год с рекорда // Уголь. 2019. № 5. С. 40-41.
9. Артемьев В.Б. Слагаемые успеха // Уголь. 2019. № 8. С. 18-21. DOI: 10.18796/0041-5790-2019-8-22-25.
10. Новые мировые рекорды установили горняки Тугнуйского разреза // Уголь. 2020. № 12. С. 67.
11. Дерябин Ю.С., Вожжев А.С. Мировой рекорд «Черниговца» // Уголь. 2022. № 8. С. 31.

## PRODUCTION SETUP

## Original Paper

UDC 658.387:622.271 © M.N. Kuzemchenko, O.I. Cherskikh, S.A. Nazaryan, 2023  
 ISSN 0041-5790 (Print) • ISSN 2412-8333 (Online) • Ugol' – Russian Coal Journal, 2023, № 12, pp. 30-36  
 DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2023-12-30-36>

## Title

## EXPERIENCE IN INCREASING PRODUCTIVITY OF MINING TRANSPORTATION EQUIPMENT AT SOLNTSEVO COAL STRIP MINE

## Authors

Kuzemchenko M.N.<sup>1</sup>, Cherskikh O.I.<sup>2</sup>, Nazaryan S.A.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> East Mining Company LLC, Moscow, 123100, Russian Federation

<sup>2</sup> Solntsevsky Coal Mine LLC, Shakhtersk, 694910, Russian Federation

## Authors Information

**Kuzemchenko M.N.**, General Director

**Cherskikh O.I.**, PhD (Engineering), Director,  
 e-mail: [cherskikhoi@eastmining.ru](mailto:cherskikhoi@eastmining.ru)

**Nazaryan S.A.**, PhD (Engineering), Deputy General Director  
 for Operational Efficiency

## Abstract

The East Mining Company LLC is creating a state-of-the-art high-performance coal-mining complex with the production volume of 20 million tons per year. The method of conducting the Enhanced Performance Day is effectively used to organize a step-by-step shift of mining and transportation equipment of the complex to high productivity. This method is a tool for testing new opportunities in production based on enhancing the interaction between all participants of the process at the planning, preparation and implementation stages.

## Keywords

Coal strip mine, Mining transportation equipment, Productivity, Productivity enhancement method, Production organization.

## References

1. Eastern Mining Company increases in the volume of coal production and shipment. *Ugol'*, 2020, (3), pp. 30-31. (In Russ.).
2. Maxim Kuzemchenko, Director General: Let's change together. An interview. *Ugol' Zreniya. Monthly corporate newspaper*, 2020, April (No.1), pp. 1-2. (In Russ.).
3. Ploschenko S.A. Tools to improve operational efficiency in the coal mining industry as exemplified by East Mining Company LLC. *Gornaya promyshlennost'*, 2021, (2), pp. 16-20. (In Russ.).

4. Maximov A. Keep evolving in the era of change. *Ekspert*, 2023, (24), pp. 56-57. (In Russ.).

5. Cherskikh O.I., Minakov V.S. & Nazaryan S.A. Improving the operational efficiency of a coal mine through digitalisation of processes. *Ugol'*, 2023, (2), pp. 79-84. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2023-2-79-84.

6. Enterprises of JSC HC SDS-Ugol set regular world records for the shipment of rock mass. *Ugol'*, 2018, (12), pp.12. (In Russ.).

7. 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), pp. 20-26. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2019-1-20-26.

8. Svalov P.A. & Martynushkin E.A. Started the year with a record. *Ugol'*, 2019, (5), pp. 40-41. (In Russ.).

9. Artemiev V.B. SUEK: success factors. *Ugol'*, 2019, (8), pp. 18-21. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2019-8-18-21.

10. New world records were set by miners of the Tugnuisky mine. *Ugol'*, 2020, (12), pp. 67.

11. Deryabin Yu.S. & Vozhzhiev A.S. World record of Chernigovets. *Ugol'*, 2022, (8), pp. 31.

## For citation

Kuzemchenko M.N., Cherskikh O.I. & Nazaryan S.A. Experience in increasing productivity of mining transportation equipment at Solntsevo coal strip mine. *Ugol'*, 2023, (12), pp. 30-36. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2023-12-30-36.

## Paper info

Received October 9, 2023

Reviewed November 10, 2023

Accepted November 27, 2023

# Совершенствование измерений объемных объектов по данным лазерного сканирования\*

DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2023-12-37-43>

Цель исследования – разработать и апробировать методику измерения объемов трехмерных объектов, позволяющую повысить точность результатов и скорость их получения. По сравнению с существующими подходами к обработке данных лазерного сканирования предложено использовать одну и только одну плоскость для создания полигона-основания объекта, помещать полигон-основание и плотное облако точек в мировую систему координат. Тестирование методики, реализованной в веб-приложении, на геометрических примитивах, показало высокую точность и повышение быстродействия. Далее выполнены съемки насыпных складов разного размера различными способами – наземная съемка с использованием тахеометров, аэрофотосъемка, воздушное лазерное сканирование. Показаны высокая сходимость результатов этой методики со стандартными подходами, а также достаточно высокая степень точности. Методика дает возможность быстро и достаточно точно определять объем насыпных объектов, в том числе складов угля, породных отвалов; ее применение перспективно для контроля состояния эрозии отвалов, потенциально возможных наклонов и обрушений массы угля, находящейся на складах и др.

**Ключевые слова:** емкость склада, измерение объема, лазерное сканирование, плотное облако точек, маркшейдерская съемка, цифровые технологии.

**Для цитирования:** Совершенствование измерений объемных объектов по данным лазерного сканирования / А.О. Рада, А.Д. Кузнецов, И.Л. Непомнищев и др. // Уголь. 2023. № 12. С. 37–43. DOI: 10.18796/0041-5790-2023-12-37-43.

## ВВЕДЕНИЕ

При проведении земельных работ, в угольной промышленности актуальна задача точного измерения объемов выемки и насыпи, а также контроля геометрических параметров таких объек-

\* Работа выполнена при финансовой поддержке Российской Федерации в лице Минобрнауки России, соглашение № 075-15-2022-1195 от 30.09.2022, заключенное между Министерством науки и высшего образования Российской Федерации и федеральным бюджетным образовательным учреждением высшего образования «Кемеровский государственный университет».

## РАДА А.О.

Канд. экон. наук, директор Института цифры ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет»,  
650000, г. Кемерово, Россия,  
e-mail: rada.ao@kemsu.ru

## КУЗНЕЦОВ А.Д.

Директор Центра геодезии, аэросъемки и кадастровых работ Института цифры ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет»,  
650000, г. Кемерово, Россия,  
e-mail: adkuz@inbox.ru

## НЕПОМНИЩЕВ И.Л.

Начальник сектора геодезии Центра геодезии, аэросъемки и кадастровых работ Института цифры ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет»,  
650000, г. Кемерово, Россия,  
e-mail: i.nepomnischev@i-digit.ru

## КОНЬКОВ Н.Ю.

Ведущий программист отдела разработок Института цифры ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет»,  
650000, г. Кемерово, Россия,  
e-mail: n.konkov@i-digit.ru



**НОЦ  
КУЗБАСС**

Научно-образовательный  
центр «Кузбасс»

тов, включая степень наклона, эрозию под влиянием осадков и т.д. [1]. Для этого используются результаты маркшейдерской или геодезической съемки, позволяющие получить габаритные параметры, геометрические измерения складов и отвалов, по которым затем рассчитываются итоговые результаты [2].

В настоящее время существует ряд технологий и методов для проведения таких измерений, включая лазерное сканирование [3], фотограмметрию [4, 5], аэрофотосъемку с беспилотных воздушных судов (БВС) [6, 7] и др. Выбор конкретного метода должен обуславливаться в первую очередь критерием достаточной точности измерений, важны также скорость и стоимость выполнения работ [8]. Перспективным считается метод лазерного сканирования, в ходе которого из плотного облака точек формируется трехмерная модель объекта с последующим расчетом его геометрических параметров.

Использование лазерного сканирования для измерения объемов трехмерных объектов обсуждается в ряде отечественных и зарубежных научных публикаций. Например, исследование Р.М. Гаго (R.M. Gago) демонстрирует преимущества программно-аппаратного комплекса, включающего БВС с лазерными сканерами, для автоматизации учета запасов сыпучих материалов [9]. А.Ю. Кротенок и др. показали, что при использовании в горной промышленности точность геопозиционирования на основе трехмерных облаков точек близка к точности на основе точек GCP из GPS-съемки [10].

Тем не менее существующие подходы и технологии трехмерного лазерного сканирования для измерения складов и отвалов обладают определенными ограничениями, что требует их дальнейшего развития. Как известно, задача нахождения объема трехмерного объекта по результатам лазерного сканирования является стандартной задачей компьютерной графики. Существующие алгоритмы предполагают, что на замкнутой плоскостной фигуре – полигоне-основании строится трехмерный объект по полученным в ходе сканирования точкам, для определения принадлежности точки объекту применяется метод трассировки лучей по координатам  $x$  и  $y$ , формируется полигональная сетка (меш) путем триангуляции Делоне, после чего рассчитывается непосредственно объем изучаемой модели [11]. Данный подход обладает следующими недостатками:

- искажение результатов в случае, когда плоскость основания изучаемого объекта имеет неправильную геометрическую форму (впадины, прогибы, наклон и т.п.). Это обусловлено сложностью (а часто физической невозможностью) корректной установки опорных точек для лазерного сканирования полигона, что, в свою очередь, приводит к неверному определению основания измеряемого объекта на плоскости;

- триангуляция полигона каждый раз дает разные результаты, поскольку они зависят от расположения точек в координатах  $(x; y)$  по отношению друг к другу, пользователь не может вмешиваться в данный процесс и корректировать его. Это также приводит к недостаточной точности измерений;

- при обработке облаков, содержащих 100 тыс. точек и более (а в ряде случаев их количество будет намного выше), существенно замедляется скорость расчетов и (или) растет потребность в вычислительных мощностях.

Фундаментальная причина появления данных недостатков – существующий подход к построению плоскости основания, по которому далее проводится расчет объемных характеристик. Во-первых, плоскость основания задается несколькими треугольниками, которые не всегда находятся в одной плоскости. Поэтому могут быть получены разные результаты расчета объема одного и того же объекта в зависимости от расстановки точек полигона-основания. Во-вторых, при расчетах для каждой призмы (соответствующей определенному треугольнику) как элемента объемного объекта каждый раз необходимо определять сегмент основания, рассчитывать проекцию призмы на него, что увеличивает сложность и длительность расчетов.

Исходя из сказанного, цель данного исследования – разработать и апробировать методику измерения объемов трехмерных объектов, позволяющую повысить точность результатов и скорость их получения.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Для разработки методики авторами принята гипотеза о том, что основание измеряемых объектов представляет собой плоскость, следовательно, все ее точки имеют единую координату  $z = 0$ . Принятие гипотезы дает возможность сократить объем расчетов, поскольку высота ребер призмы будет находиться только с использованием текущей координаты  $z$  по сравнению с  $z_0$ . Это достигается благодаря помещению координат плоскостного основания изучаемого объекта в локальную систему координат  $(x; y)$ . Следует отметить, что лазерное сканирование, вообще говоря, не предназначено для получения данных о геометрической конфигурации поверхностей, на которых располагаются склады или отвалы, не может и не должно их предоставлять. Определить это можно, только полностью очистив поверхность насыпного материала, что на практике не является реальным.

Поскольку в разрабатываемой методике используется только одна плоскость-основание, то она описывается уравнением  $A_x + B_y + C_z + D = 0$ , где параметры  $A, B, C, D$  определяются методом наименьших квадратов. При этом расстояние  $d$  от произвольной точки с координатами  $(x, y, z)$  будет равно  $A_x + B_y + C_z + D$ . Наглядная иллюстрация такого расчета приведена на рис. 1.

Использование единого полигона-основания позволяет использовать единую плоскость для всей трехмерной модели объекта. В рамках существующих подходов, тем не менее, все равно потребовалось бы делать отдельный расчет проекции каждого «среза»-треугольника в трехмерной модели, причем триангуляция Делоне предполагает дублирование расчетов. Это вызвано тем, что параметры общей грани смежных треугольников используются в вычислениях два раза. Это замедляет расчеты и (или) требует более высокой вычислительной мощности.

Для исключения данного недостатка существующих подходов авторы предлагают «привязывать» плоскости



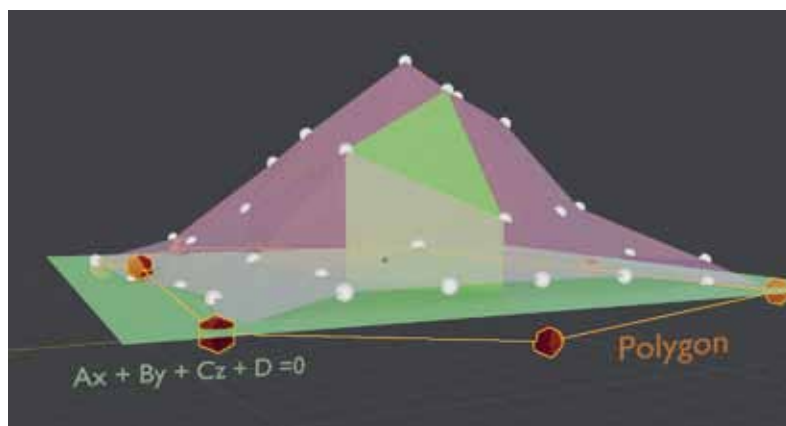


Рис. 1. Визуализация представления плоскости (полигона-основания) и точек с различными координатами на трехмерной модели объекта  
Fig. 1. Visualization of representation of the plane (polygon-base) and points with different coordinates on a 3D object model

и плотные облака точек к мировой системе координат. Плоскость располагается таким образом, чтобы она стала началом отсчета координат. Было проведено матричное преобразование: при известных параметрах уравнения плоскости рассчитан угол ее наклона относительно осей  $x$ ,  $y$  мировой системы координат, с использованием этих значений задана матрица трансформации  $R$ :

$$R = \begin{bmatrix} \cos\theta + u_x^2(1 - \cos\theta) & u_x u_y(1 - \cos\theta) - u_z \sin\theta & u_x u_z(1 - \cos\theta) + u_y \sin\theta \\ u_y u_x(1 - \cos\theta) + u_z \sin\theta & \cos\theta + u_y^2(1 - \cos\theta) & u_y u_z(1 - \cos\theta) - u_x \sin\theta \\ u_z u_x(1 - \cos\theta) - u_y \sin\theta & u_z u_y(1 - \cos\theta) + u_x \sin\theta & \cos\theta + u_z^2(1 - \cos\theta) \end{bmatrix}$$

где вектор  $u$  – текущее положение плоскости относительно мировых координат.

Поскольку для проведения измерений на данном этапе в рамках авторской методики нужны только координаты осей  $x$  и  $y$  исходного вектора, то координаты  $u_z$  принимаются равными нулю. После умножения координат каждой исходной точки на  $R$  облако точек преобразуется таким образом, что плоскость полигона-основания совпадает с плоскостью пересечения осей  $x$  и  $y$ .

Проведенное преобразование исключает необходимость в дублировании расчетов проекций, поскольку начало проекций перемещено в нулевую координату  $z$ . Соответственно, координата каждой точки трехмерной модели уже содержит значения высот, необходимые для расчета объема. Достаточно только лишь рассчитать объем треугольных призм, образованных полигональной сеткой.

Отметим, что часто исходные плотные облака точек содержат геопространственные данные (координаты  $x$ ,  $y$ ,  $z$ ) с шестью и более знаками для каждой точки. При обработке этой информации возникают ошибки, вызванные тем, что результаты расчетов искажаются при переводе в тип данных «float» из-за недостаточной размерности последних. Поэтому перед обработкой исходные плотные облака переводились в локальную систему координат со снижением размерности на величину  $\Delta$  для исключения потерь точности. Для последующего отображения точек эта

величина суммировалась со вновь полученными данными.

Представленная методика оценки объема трехмерных объектов получила программную реализацию в веб-приложении «Система управления мониторингом строительных работ на объектах, прошедших государственную экспертизу».

Для проведения воздушного лазерного сканирования использовано беспилотное воздушное судно «DJI Matrice 600 Pro» (производство – Китайская Народная Республика) типа «гексакоптер» с бортовым приемником спутниковой системы навигации и воздушный лазерный сканер «АГМ-МС3.200» (производство – Российская Федерация) с частотой сканирования 600 кГц.

### РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

На первом этапе исследований было проведено тестирование разработанной методики измерения объемных объектов с целью определения ее точности и пригодности в реальных производственных условиях. Для тестирования использовались искусственно созданные облака точек на основе простых геометрических примитивов – четырехгранных пирамид. В отличие от реальных данных, получаемых по результатам лазерного сканирования, в них отсутствуют случайные шумы и погрешности. Далее примитивы были размещены на плоскости, к их данным был добавлен случайный шум с нормальным распределением. Идея заключалась в том, что примитивы строятся по заданным пользователем размерам, соответственно, авторам были известны эталонные (точные) значения объема соответствующих фигур. При сравнении заранее эталонных значений со значениями, полученными по авторской методике, можно сделать вывод о степени точности последней.

Например, в качестве одного из эталонов была использована четырехугольная пирамида высотой 2 м и площадью основания 4 м, что путем элементарных вычислений дает объем 2,6 м<sup>3</sup>. При реализации авторской методики расчета объема были получены данные, что объем одной пирамиды составляет 2,67 м<sup>3</sup>, пяти пирамид – 13,68 м<sup>3</sup>, что говорит о достаточно высокой точности измерений. Скриншоты веб-приложения, где выполнялись измерения, приведены на рис. 2.

Также были оценены затраты времени на проведение расчетов по двум методикам – традиционной и авторской. Для этого использовалось тестовое облако, содержащее 218426 точек, образующих 433271 треугольник. При применении разработанных ранее подходов, кратко охарактеризованных во введении статьи, требуется от 148,8 до 158,2 мс. При использовании авторской методики время расчетов сокращалось до 90,9-103 мс.

К этой величине нужно добавить время на перевод данных из мировой в локальную систему координат

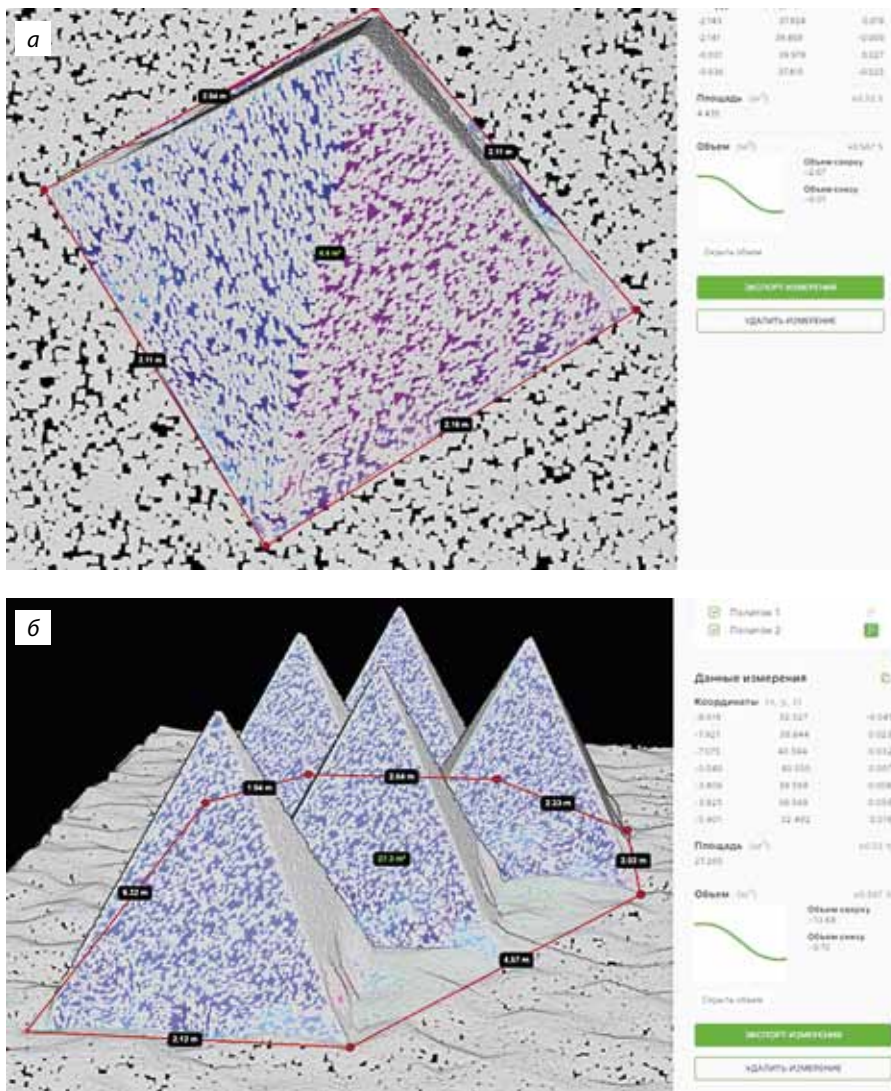


Рис. 2. Пример расчета объема объекта по авторской методике в веб-приложении: а – расчет объема одной четырехугольной пирамиды, б – расчет объема пяти четырехугольных пирамид

Fig. 2. An example of calculating the volume of the object using the author's method in the web application: а – calculation of the volume of one quadrangular pyramid, б – calculation of the volume of five quadrangular pyramids

нат (от 40 до 50 мс). В целом общее время на выполнение всех необходимых работ, включая выбор точек, визуализацию, сократилось в среднем с 581 до 533,8 мс или около 8%.

Для современных персональных компьютеров при работе с небольшими облаками точек такая разница не носит принципиального характера. Однако на практике нередко возникает необходимость использования облаков с 1 млн точек и 2 млн треугольников, поэтому разница во времени расчета может достигнуть нескольких секунд. Это уже влияет на проектирование интерфейса программного обеспечения и удобство пользования им. Таким образом, тестирование показало, что авторская методика измерения объема трехмерных объектов обладает достаточно высокой точностью и обеспечивает большее быстродействие.

На втором этапе исследования выполнялись оценки объема объектов реальных предприятий. Такими объектами стал ряд наземных складов разных размеров. Их объемы были измерены разными способами. Результаты измерений представлены в таблице.

Как следует из данных таблицы, использование данных лазерного сканирования с последующей обработкой информации по авторской методике дает достаточно высокую точность данных, сопоставимую с традиционной наземной маркшейдерской съемкой.

Существенное расхождение наблюдается при определении объемов складов.

Для склада № 4380 при использовании разных методов получены существенно отличающиеся друг от друга результаты. Границы этого склада было объективно сложно идентифицировать из-за осыпания и выпадения крупных кусков вещества, следовательно, затрудняется построение полигона-основания с последующим влиянием на результаты расчетов (рис. 3).

Представляется, что более правильный вариант определения границ представлен в правой части рис. 3, так как в левой части рисунка в площадь полигона-основания попадают пустые участки земли. Однако это утверждение не носит абсолютного характера. Пример склада № 2000 показывает, что представленная в исследовании технология дает возможность работать с объектами достаточно сложных геометрических форм, обращая меньшее внимание на воз-

можное не вполне точное определение границ.

Склад № 2000 имеет вогнутые границы, а также несколько выступающих фрагментов, поэтому при использовании стандартных методов расчет становится намного более трудоемким и менее точным. Но для авторской методики форма границы склада не имеет значения, так как объем будет рассчитываться по полигональной сетке и плотному облаку точек. В данном случае определяющее значение будет иметь не определение максимально точных границ склада, а выбор точек, соответствующих его основанию (все точки полигона должны находиться в плоскости основания склада). На рис. 4 показаны два варианта определения границ полигона-основания для склада № 2000.

Площадь склада, определенная при высокой детализации границ, составила 1734 м<sup>2</sup>, при низкой детализации границ – 1745 м<sup>2</sup>. На первый взгляд, низкая детализа-

## Сравнение результатов определения объема складов разными методами

Comparing the results of storage volume determination with different methods

Номер объекта съемки	Результаты измерения объемов, м <sup>3</sup>				
	Наземная съемка	Аэрофотосъемка	Воздушное лазерное сканирование с обработкой по стандартной методике	Измерение объема по облаку точек по авторской методике (измерение № 1)	Измерение объема по облаку точек по авторской методике (измерение № 2)
<b>Склады малого размера</b>					
№ 211	47,7	43,1	47,7	40,5	41,0
№ 210	44,3	41,4	41,6	46,3	47,2
№ 264	49,4	53,5	53,5	52,5	53,8
№ 235	52,1	51,6	56,1	52,9	54,2
№ 208	51,0	59,1	58,8	54,5	56,0
№ 263	52,4	52,6	58,0	56,1	56,5
<b>Склады среднего размера</b>					
№ 4437	73,8	78,2	77,3	77,1	76,2
№ 4380	73,5	73,7	75,6	80,8	77,5
№ 4354	69,8	74,3	76,6	75,0	76,3
№ 4353	70,0	75,8	74,3	75,8	76,9
№ 4438	74,1	77,8	80,3	77,3	78,6
<b>Склад большого размера</b>					
№ 2000	2996,0	2706,4	2842,7	2548,8	2482,5



Рис. 3. Пример вариативного построения границ полигона-основания

Fig. 3. An example of variative construction of the polygon-base boundaries

ция границ должна зависеть объем склада. Однако в этом случае расчеты дали результат 2482,54 м<sup>3</sup>, тогда как при высокой детализации – 2548,78 м<sup>3</sup>, т.е. разница составила около 2,7%. Следовательно, существенной разницы в точности расчетов в зависимости от степени детализации полигона-основания не наблюдается, главное требование – чтобы все точки полигона лежали в одной плоскости.

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Для измерения объемов насыпи и выемки перспективно использование технологии лазерного сканирования, построения плотного облака точек с последующей обработкой данных на основе компьютерной графики. Вместе

с тем существующие подходы обладают рядом недостатков и ограничений – искажение результатов при использовании некорректных данных о площади основания измеряемого объекта, различия результатов триангуляции на каждой итерации и неподконтрольность этого процесса пользователю, длительное время обработки данных.

В работе представлена методика обработки результатов лазерного сканирования, которая отличается построением полигона-основания объекта в одной и только одной плоскости, привязкой этой плоскости и плотного облака точек к мировой системе координат. Данная методика получила практическую реализацию в веб-приложении «Система управления мониторингом строительных работ на



Рис. 4. Пример расчета объема склада № 2000 при разной степени детализации границ: а – расчет объема при высокой детализации границ, б – расчет объема при ограниченной детализации границ

Fig. 4. Example of calculating the volume of warehouse No 2000 at different degrees of boundary details: a – volume calculation at high boundary details, б – volume calculation at limited boundary details

объектах, прошедших государственную экспертизу», разработанным авторами.

Тестирование методики проводилось на геометрических примитивах с заранее известным (эталонным) объемом, что показало ее достаточно высокую точность, а также хорошее быстродействие. По сравнению со стандартной последовательностью обработки данных лазерного сканирования время выполнения работы сократилось на 8%. При работе с плотными облаками точек большого объема это может быть значимой величиной.

Далее в исследовании тремя способами были измерены объемы наземных складов предприятия различного размера.

Данные лазерного сканирования обрабатывались как по стандартной методике, так и по описанной в статье авторской. Результаты обнаруживают достаточно высокую

сходимость с классическими методами измерения объемов. В то же время при расчете объемов объектов, расположенных близко друг от друга, возникает проблема корректного разграничения их оснований. В этом случае рационально рассчитывать сразу объем всей группы таких объектов. Также в исследовании показано, что предложенная методика позволяет определять объем объектов со сложными конфигурациями границ в горизонтальной плоскости, степень трудоемкой детализации полигона основания не влияет на точность.

Представленная методика дает возможность по данным лазерного сканирования быстро и достаточно точно определять объем насыпных объектов, а также таких объектов угольной промышленности, как склады угля, породные отвалы. В перспективе изложенные подходы могут быть использованы также для контроля состояния объемных объектов (выявления эрозии отвалов, потенциально возможных наклонов и обрушений массы угля, находящейся на складах и др.).

### Список литературы

1. Liu Y., Zheng Y. Accurate volume calculation driven by Delaunay triangulation for coal measurement // Scientific Programming. 2021. Vol. 2021. Article ID 6613264. DOI: 10.1155/2021/6613264.
2. Гусев В.Н., Блищенко А.А., Санникова А.П. Исследование комплекса факторов, оказывающих влияние на погрешность реализации маркшейдерской съемки горных объектов с применением геодезического квадрокоптера // Записки Горного института. 2022. Т. 254. С. 173-179. DOI: 10.31897/PMI.2022.35.
3. Singh S.K., Banerjee B.P., Raval S. A review of laser scanning for geological and geotechnical applications in underground mining // International Journal of Mining Science and Technology. 2023. Vol. 33. No. 2. P. 133-154. DOI: 10.1016/j.ijmst.2022.09.022.
4. Slaker B.A., Mohamed K.M. A practical application of photogrammetry to performing rib characterization measurements in an underground coal mine using a DSLR camera // International Journal of Mining Science and Technology. 2017. Vol. 27. No. 1. P. 83-90. DOI: 10.1016/j.ijmst.2016.09.032.
5. Różański Z., Wrona P., Pach G. et al. The impact of precipitation on the mine waste dump // Journal of Sustainable Mining. 2012. Vol. 20. No. 1. P. 2-12. DOI: 10.46873/2300-3960.1035.
6. An improved ground control point configuration for digital surface model construction in a coal waste dump using an unmanned aerial vehicle system / H. Ren, Y. Zhao, W. Xiao et al. // Remote Sensing. 2020. Vol. 12. No. 10. Article no. 1623. DOI: 10.3390/rs12101623.

7. Ignjatović Stupar D., Rošer J., Vulić M. Investigation of unmanned aerial vehicles-based photogrammetry for large mine subsidence monitoring // *Minerals*. 2020. Vol. 10. No. 2. Article no. 196. DOI: 10.3390/min10020196.
8. Utilization of geodetic methods results in small open-pit mine conditions: a case study from Slovakia / S. Labant, M. Bindzarova Gergelova, Z. Kuzevicova et al. // *Minerals*. 2020. Vol. 10. No. 6. Article no. 489. DOI: 10.3390/min10060489.
9. Gago R.M., Pereira M.Y.A., Pereira G.A.S. An aerial robotic system for inventory of stockpile warehouses // *Engineering Reports*. 2021. Vol. 3. No. 9. Article ID e12396. DOI: 10.1002/eng2.12396.
10. Фотограмметрическая обработка изображений на основе беспилотных летательных аппаратов и наземного лазерного сканирования при проектировании открытых горных работ / А.Ю. Кротенок, Д.Н. Шурыгин, Т.В. Литовченко и др. // *Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал)*. 2017. № 12. С. 50-55.
11. Матрица деформаций как инструмент уточнения геодезических координат / А.О. Рада, И.Л. Непомнищев, А.Д. Кузнецов и др. // *Успехи современного естествознания*. 2023. № 6. С. 122-128. DOI: 10.17513/use.38062.

## Original Paper

UDC 622+528.08 © A.O. Rada, A.D. Kuznetsov, I.L. Nepomnishchev, N.Yu. Konkov, 2023  
 ISSN 0041-5790 (Print) • ISSN 2412-8333 (Online) • Ugol' – Russian Coal Journal, 2023, № 12, pp. 37-43  
 DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2023-12-37-43>

## Title

## IMPROVING MEASUREMENTS OF VOLUMETRIC OBJECTS IN THE COAL INDUSTRY USING LASER SCANNING DATA

## Authors

Rada A.O.<sup>1</sup>, Kuznetsov A.D.<sup>1</sup>, Nepomnishchev I.L.<sup>1</sup>, Konkov N.Yu.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Kemerovo State University, Kemerovo, 650000, Russian Federation

## Authors Information

**Rada A.O.**, PhD (Economic), Director of the Institute of Digitalization, e-mail: rada.ao@kemsu.ru

**Kuznetsov A.D.**, Director of the Center for Geodesy, Aerial Survey and Cadastral Works of the Institute of Digitalization, e-mail: adkuz@inbox.ru

**Nepomnishchev I.L.**, Head of the Geodesy Sector of the Center for Geodesy, Aerial Surveys and Cadastral Works of the Institute of Digitalization, e-mail: i.nepomnishchev@i-digit.ru

**Konkov N.Yu.**, Leading Programmer of the Development Department of the Institute of Digitalization, e-mail: n.konkov@i-digit.ru

## Abstract

The purpose of the study is to develop and test a method for measuring the volumes of three-dimensional objects in the coal industry, which makes it possible to improve the accuracy of the results and the speed of obtaining them. Compared to existing approaches to processing laser scanning data, it is proposed to use one and only one plane to create the base polygon of the object, place the base polygon and the dense point cloud in the world coordinate system. Testing the technique implemented in the web application on geometric primitives showed high accuracy and increased performance. Further, surveys of coal storages of various sizes were carried out in various ways – ground survey using total stations, aerial photography, airborne laser scanning. The laser scanning data were processed both in the traditional way and according to the method developed in the study. A high convergence of the results of this technique with standard approaches, as well as a fairly high degree of accuracy, is shown.

## Keywords

Coal storage, Rock dump, Storage capacity, Volume measurement, Laser scanning, Dense point cloud, Mine surveying, Digital technologies.

## References

1. Liu Y. & Zheng Y. Accurate volume calculation driven by Delaunay triangulation for coal measurement. *Scientific Programming*, 2021, (2021), article ID 6613264. DOI: 10.1155/2021/6613264.
2. Gusev V.N., Blishchenko A.A. & Sannikova A.P. Study of a set of factors influencing the error of surveying mine facilities using a geodetic quadcopter. *Journal of Mining Institute*, 2022, (254), pp.173–179. (In Russ.). DOI: 10.31897/PMI.2022.35.
3. Singh S.K., Banerjee B.P. & Raval S. A review of laser scanning for geological and geotechnical applications in underground mining. *International Journal of Mining Science and Technology*, 2023, (33), pp. 133–154. DOI: 10.1016/j.ijmst.2022.09.022.
4. Slaker B.A. & Mohamed K.M. A practical application of photogrammetry to performing rib characterization measurements in an underground coal mine

using a DSLR camera. *International Journal of Mining Science and Technology*, 2017, (27), pp. 83–90. DOI: 10.1016/j.ijmst.2016.09.032.

5. Rózański Z., Wrona P., Pach G. et al. The impact of precipitation on the mine waste dump. *Journal of Sustainable Mining*, 2012, (20), pp. 2-12. DOI: 10.46873/2300-3960.1035.

6. Ren H., Zhao Y., Xiao W., Wang X. & Sui T. An improved ground control point configuration for digital surface model construction in a coal waste dump using an unmanned aerial vehicle system. *Remote Sensing*, 2020, (12), article no. 1623. DOI: 10.3390/rs12101623.

7. Ignjatović Stupar D., Rošer J. & Vulić M. Investigation of unmanned aerial vehicles-based photogrammetry for large mine subsidence monitoring. *Minerals*, 2020, (10), article no. 196. DOI: 10.3390/min10020196.

8. Labant S., Bindzarova Gergelova M., Kuzevicova Z. et al. Utilization of geodetic methods results in small open-pit mine conditions: a case study from Slovakia. *Minerals*, 2020, (10), article no. 489. DOI: 10.3390/min10060489.

9. Gago R.M., Pereira M.Y.A. & Pereira G.A.S. An aerial robotic system for inventory of stockpile warehouses. *Engineering Reports*, 2021, (3), article ID e12396. DOI: 10.1002/eng2.12396.

10. Krotенок A.Yu., Shurygin D.N., Litovchenko T.V., Kharitonova V.R. & Semenova Yu.A. Photogrammetry of images of air drones and ground-based laser scanning in open pit mine planning. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2017, 12, pp. 50–55. (In Russ.).

11. Rada A.O., Nepomnishchev I.L., Kuznetsov A.D. & Akulov A.O. Deformation matrix as a tool for refining geodetic coordinates. *Advances in current natural sciences*, 2023, 6, pp. 122–128. (In Russ.). DOI: 10.17513/use.38062.

## Acknowledgments

The work was carried out with the financial support of the Russian Federation represented by the Ministry of Education and Science of Russia, agreement No. 075-15-2022-1195 dated September 30, 2022, concluded between the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation and the federal budgetary educational institution of higher education «Kemerovo State University.

## For citation

Rada A.O., Kuznetsov A.D., Nepomnishchev I.L. & Konkov N.Yu. Improving measurements of volumetric objects in the coal industry using laser scanning data. *Ugol'*, 2023, (12), pp. 37-43. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2023-12-37-43.

## Paper info

Received September 9, 2023

Reviewed November 10, 2023

Accepted November 27, 2023

## INNOVATIONS

# Электроэнергетическая отрасль региона: математическое моделирование эколого-экономической оценки эффективности развития

DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2023-12-44-49>

## **ВАСИЛЬЕВ Е.В.**

Аспирант Кузбасского государственного  
технического университета имени Т.Ф. Горбачева,  
650000, г. Кемерово, Россия,  
e-mail: lifead@yandex.ru

## **КИРЕНБЕРГ А.Г.**

Канд. техн. наук,  
доцент кафедры информационной безопасности  
Кузбасского государственного  
технического университета имени Т.Ф. Горбачева,  
650000, г. Кемерово, Россия,  
e-mail: ag-k@yandex.ru

## **КИСЛЯКОВ И.М.**

Старший преподаватель  
кафедры информационной безопасности  
Кузбасского государственного  
технического университета имени Т.Ф. Горбачева,  
650000, г. Кемерово, Россия,  
e-mail: kemerovo85@mail.ru

## **МЕДВЕДЕВ А.В.**

Доктор физ.-мат. наук, профессор,  
профессор кафедры фундаментальной математики  
Кемеровского государственного университета,  
профессор кафедры информационной безопасности,  
Кузбасского государственного  
технического университета имени Т.Ф. Горбачева,  
650000, г. Кемерово, Россия,  
e-mail: alexm\_62@mail.ru

## **ПРОКОПЕНКО Е.В.**

Канд. физ.-мат. наук, доцент,  
зав. кафедрой информационной безопасности  
Кузбасского государственного  
технического университета имени Т.Ф. Горбачева,  
650000, г. Кемерово, Россия,  
e-mail: pev.vtit@kuzstu.ru

В статье представлены концепция анализа и экономико-математическая модель в форме линейной задачи математического программирования, ориентированные на автоматизированную оценку эффективности региональной электроэнергетической отрасли, учитывающие экологические аспекты ее функционирования. Так как уголь в настоящее время остается одним из главных источников генерации электроэнергии в мире (до 20%), то сформулированная задача касается также вопросов функционирования угледобывающей отрасли в регионах. Рассмотрены содержательная и математическая постановка задачи, некоторые особенности и ограничения функционирования электроэнергетической отрасли. Построенная модель позволяет получать оптимальные объемы инвестиций и производства электроэнергии, а также выявлять экономический потенциал региональной электроэнергетической отрасли, а также допускает свой эффективный численный анализ на основе параметрического анализатора задачи линейного программирования. Обосновано существование решения задачи, описываемой приведенной моделью, а также возможность использования для ее анализа авторского программного комплекса параметрического анализа задачи линейного программирования. Это позволяет говорить об использовании системного инструментария изучения закономерностей развития электроэнергетики региона.

**Ключевые слова:** региональная электроэнергетика, традиционные источники энергии, электростанции, нетрадиционные источники энергии, электрогенераторы, оценка экономической эффективности, экономический потенциал, математическое моделирование, задача линейного программирования.

**Для цитирования:** Электроэнергетическая отрасль региона: математическое моделирование эколого-экономической оценки эффективности развития / Е.В. Васильев, А.Г. Киренберг, И.М. Кисляков и др. // Уголь. 2023. № 12. С. 44-49. DOI: 10.18796/0041-5790-2023-12-44-49.

## ВВЕДЕНИЕ

Проблемы энергетической эффективности регионов в свете перспектив развития мировой энергетики, дискуссии об экологической безопасности производства энергии и усилении социальной ответственности бизнеса, а также о соотношении карбонизированных и некарбонизированных источников сырья [1] становятся центральным объектом исследований современной теории и практики управления территориями, включая угледобывающие регионы, имеющие множество энергоемких производств, составляющих более 12% энергобаланса в Российской Федерации [2]. Динамика внедрения проектов по повышению энергоэффективности территорий и предприятий [3, 4] нарастает с каждым годом, распространяясь в такие области, как проектирование энергоэффективных комплексов, использующих современные технологии производства энергии, инновационные методы управления и формирования инновационной инфраструктуры производства энергии различными способами. Внедрение энергоэффективных проектов в регионах является приоритетным направлением деятельности и для российских компаний. Повышение актуальности энергосбережения и использования альтернативных источников энергии в связи с глобальными и локальными ресурсными кризисами требует использования эффективных бизнес-проектов и выработки рациональной политики предприятий в области электроэнергетического менеджмента территорий, включая угледобывающие. В этой связи актуальными остаются вопросы разработки инструментария оценки и анализа экономической эффективности региональной электроэнергетической инфраструктуры.

Изучение сложных социально-экономических структур регионального уровня практически затруднено без использования экономико-математического инструментария (моделей и алгоритмов), компьютерной проработки сценариев их развития с использованием соответствующих автоматизированных информационно-аналитических систем. При изучении крупных энергетических структур используются разнообразные аналитические инструменты. Обширный аналитический обзор современных зарубежных работ в сфере моделирования энергетического сектора экономики сделан, например, в [5]. Современный инструментарий анализа таких структур включает экономико-математическое моделирование (как в подходах имитационного и регрессионно-статистического [6], так и оптимизационного [7, 8] характера с использованием разнообразных средств автоматизированной обработки и анализа информации [8, 9], в том числе в региональном аспекте [10, 11].

В данной работе строится оптимизационная математическая модель региональной электроэнергетической отрасли, включающей производство электроэнергии, вообще говоря,  $n$  способами, и используется программный комплекс для многопараметрического анализа указанной модели. К основным характеристикам оптимизационных задач следует отнести: наличие целевой функции и критерия качества ее достижения; наличие альтернатив вложения средств и достижения целей; наличие способов отображения связей между целями и потоками доходов-расходов в системе. В математическом смысле оптимальность понимается как достижение экстремума функции (максиму-

ма или минимума), описывающей критерий оптимальности. Критерием оптимальности называется показатель, используемый для сравнительной оценки вариантов (сценариев) допустимых решений (альтернатив) задачи, чаще всего в экономических системах, сводящийся к максимизации доходных потоков и/или минимизации расходных. С целью математической формализации задач оптимального выбора необходимо сформировать совокупности искомого переменных, через которые описываются все потоки в моделируемой системе, множество соотношений (уравнений и неравенств), описывающих ограничения функционирования системы и ее подсистем (инвестиционного, производственного, финансового характера), а также критерий оптимальности, выраженные через искомые переменные модели математического программирования. Использование оптимизационного подхода чаще всего ориентировано на выявление экономического потенциала региональных социально-экономических систем, что позволяет лучше обосновывать инвестиционно-производственные решения, связанные с их развитием. Линейность же задачи оптимизации позволяет, в свою очередь, использовать надежные алгоритмы получения ее решений и разрабатывать соответствующие программные комплексы анализа таких задач в условиях практически значимых размерностей реальных прикладных задач, что упрощает выдвижение, проверку гипотез и извлечение знаний об изучаемых социально-экономических системах. Описанный подход применяется здесь для построения (содержательной и математической формулировки) модели региональной электроэнергетической отрасли.

## ОСНОВНОЙ РАЗДЕЛ

Рассмотрим следующую содержательную постановку задачи оптимизации производства электроэнергии (ЭЭ) в регионе. Предположим, что электроэнергия в регионе может быть произведена  $n$  способами:

- с использованием силы воды (гидроэлектростанциями);
- путем сжигания угля (тепловыми электростанциями);
- с использованием ядерной энергии (атомными электростанциями);
- с использованием морских приливов (приливными электростанциями);
- с использованием дизельного топлива (дизель-генераторами);
- с использованием силы ветра (ветрогенераторами);
- с использованием природного газа (газогенераторами);
- с использованием энергии солнца (солнечными батареями) и т.д.

При этом регион может выбирать из перечисленных способов такой набор, который наилучшим образом отвечает его специфике. Каждый способ производства имеет свой комплект (комплекс, набор) основных производственных фондов (далее «комплект ОПФ») со следующими характеристиками:

1. Рыночная стоимость (денежных единиц, д.е.).
2. Производительность (кВт·ч/комплект ОПФ).
3. Срок полезного использования (единиц времени, ед.вр.).

Предполагается, что в стоимость комплектов ОПФ включены стоимости выработки (составляющие технологии),

транспортировки, хранения соответствующего способа извлечения ЭЭ. Получаемая продукция ( $n$  «видов» ЭЭ) имеет различную себестоимость и, следовательно, рыночную цену (д.е.) и различный стоимостный спрос на нее (д.е.). Производство ЭЭ каждым из способов характеризуется своими условиями (фондоотдачей ОПФ, зарплато-, материалоемкостью). При этом ОПФ для производства ЭЭ либо покупаются, либо требуют поддержания в работоспособном состоянии. В обоих случаях процесс финансирования ОПФ называется инвестированием в способ производства.

Необходимо определить для всего электроэнергетического комплекса в целом и в отдельности для каждого способа производства ЭЭ в регионе оптимальные (с точки зрения максимизации целевой функции регионального производства ЭЭ) объемы инвестиций (д.е.), производства продукции (кВт), финансирования (д.е.) с учетом рыночных (максимальные объемы спросов), технологических (максимально возможные мощности), экологических (предельно допустимые выбросы загрязняющих веществ) и финансовых (максимальные объемы кредитов и дотаций) ограничений.

В изложенной постановке удастся избежать необходимости решать излишне специфические задачи технологии производства (учет особенностей распределения и перераспределения ЭЭ в регионе, в частности, неравномерности генерации, сезонности, разнообразия технологических способов ее выработки, хранения, транспортировки и т.п.) и электроэнергетической политики на территориях. При этом могут решаться интересные для управленцев регионального уровня такие задачи развития электроэнергетической отрасли, как:

- определение экономического потенциала производства ЭЭ, позволяющее обосновать инвестиционные затраты и инвестиционную привлекательность отрасли для инвесторов;
- определение оптимальных пропорций производства ЭЭ в крупных территориальных образованиях (федеральные округа, макрорегионы, страны, континенты и пр.);
- определение налогового потенциала производства ЭЭ на территориях (суммы собираемых управленческими структурами налоговых и неналоговых сборов).

В представленной выше постановке задачу функционирования электроэнергетической отрасли региона будем понимать как совокупность инвестиционно-производственных проектов, оценка экономической эффективности которых проводится путем ее сведения к решению оптимизационной линейной задачи математического программирования.

Введем параметры модели и их обозначения. Пусть  $n$  – количество видов продукции (способов производства ЭЭ) и, в соответствии с принципом чистых отраслей, видов ОПФ для ее производства;  $k$  – порядковый номер продукции (ОПФ отрасли).

Характеристики продукции:

$P_k$  – средняя/средневзвешенная цена единицы продукции при  $k$ -м способе производства ЭЭ, д.е./кВт-ч;

$q_k$  – стоимостный спрос на ЭЭ, выработанную при  $k$ -м способе ее производства, д.е.

Характеристики ОПФ отраслей:

$c_k$  – стоимость ОПФ при  $k$ -м способе производства ЭЭ, д.е./ед. ОПФ;

$T_k$  – средний срок службы (полезного использования) ОПФ при  $k$ -м способе производства ЭЭ, лет;

$V_k$  – средняя производительность ОПФ при  $k$ -м способе производства ЭЭ, ед. прод. / ед. ОПФ;

$\delta_k = P_k V_k / c_k$  – фондоотдача ОПФ при  $k$ -м способе производства ЭЭ.

Характеристики производства продукции:

$\beta_k$  – доля затрат на оплату труда в сумме всех затрат, характеризующая зарплатоемкость производства ЭЭ при  $k$ -м способе;

$p_k$  – доля материальных затрат, характеризующая материалоемкость производства ЭЭ при  $k$ -м способе.

Характеристики внешней рыночной среды:

$T$  – горизонт планирования инвестиционного проекта, лет;

$r$  – ставка дисконтирования на горизонте  $T$ , учитывающая инфляцию и уровень требований инвестора (кредитора).

Рассмотрим алгоритмы формирования денежных потоков в электроэнергетической отрасли региона. Обозначим далее:

$Invall$  – максимальная сумма инвестиций в электроэнергетический комплекс региона, суммарный объем  $x_1 + \dots + x_n$  не превосходит заданной величины;

$I_k$  – максимальные инвестиции в  $k$ -й вид производства ЭЭ (д.е.);

$R_k$  – выручка от продажи продукции при  $k$ -м способе производства ЭЭ (д.е.);

$Z_k$  – общие производственные затраты при  $k$ -м способе производства ЭЭ (д.е.);

$W_k = (1 - \alpha_3)(R_k - Z_k)$  – чистая прибыль при  $k$ -м способе производства ЭЭ (д.е.);

$DS = W_1 + \dots + W_n + Cr + DOT$  – суммарные собственные средства предприятий электроэнергетической отрасли региона, где  $Cr$ ,  $DOT$  – суммарный кредит и дотации производителям ЭЭ (д.е.);

$$Z_k = Am_k + F_k + N_{1k} + N_{2k} + N_{4k} + N_{5k} + z_k,$$

где  $Am_k$  – амортизационные затраты при  $k$ -м способе производства ЭЭ (д.е.);

$S_k^0$  – остаточная стоимость ОПФ при  $k$ -м способе производства ЭЭ (д.е.);

$F_k = \beta_k Z_k$  – фонд оплаты труда при  $k$ -м способе производства ЭЭ (д.е.);

$z_k = p_k Z_k$  – материальные затраты при  $k$ -м способе производства ЭЭ (д.е.);

$D_k$  – предельно допустимый выброс загрязняющего вещества, появляющегося в результате производства ЭЭ  $k$ -м способом (ед. загрязнения);

$\xi_k$  – удельный выброс загрязняющего вещества на единицу ЭЭ, производимую  $k$ -м способом (ед. загрязнения/ед. прод.);

$N_{1k}$  – налог на добавленную стоимость (НДС) при  $k$ -м способе производства ЭЭ (д.е.);

$N_{2k}$  – налог на имущество (НИ) при  $k$ -м способе производства ЭЭ (д.е.);



$N_{3k}$  – налог на прибыль (НП) при  $k$ -м способе производства ЭЭ (д.е.);

$N_{4k}$  – страховые взносы производителя в социальные фонды (СВСФ) при  $k$ -м способе производства ЭЭ (д.е.);

$N_{5k}$  – иные налоговые и аналогичные им платежи (наприм. налог на добычу полезных ископаемых, транспортный, земельный налоги, экологический платеж и другие) при  $k$ -м способе производства ЭЭ (д.е.);

$\alpha_i, i = 1, \dots, 5$  – ставки, соответствующие указанным налоговым и аналогичным им платежам и сборам.

Отметим при этом следующее. Рассматриваемые способы производства ЭЭ реализуются предприятиями различной формы собственности, налогообложение которых имеет существенные отличия. В частности, для ТЭС, ГЭС и АЭС характерны полные методы налогообложения, а для производства ЭЭ остальными способами часто привлекаются предприятия с упрощенными методами. В этой связи ставки налогов и алгоритмы формирования соответствующих налоговых потоков отличаются, чем и предопределяется использование индекса  $k$  для них.

При функционировании электроэнергетической отрасли региона рассмотрим следующие ограничения.

1. Инвестиционные: суммы инвестиций по каждому способу производства (ОПФ отрасли) не превосходят заданной верхней границы; суммарные инвестиции ограничены сверху некоторым максимальным значением.

2. Производственные: объем производства  $k$ -й продукции ограничен производственными мощностями предприятий электроэнергетической отрасли либо стоимостными оценками спроса на продукцию.

3. Экологические: объем производства  $k$ -й продукции ограничен условиями неперевышения предельно допустимых выбросов продукции, загрязняющей окружающую природную среду.

4. Финансовые:

– требование платежеспособности совокупного производителя;

– суммы дотаций и кредитов не превышают заданных объемов;

– сумма дотаций не ниже заданного объема.

Введем искомые переменные:  $x_k$  – оптимальный объем (в д.е.) инвестиций в производство ЭЭ  $k$ -м способом (д.е.);  $x_{n+1}$  – оптимальный объем (в д.е.) кредитов в электроэнергетической отрасли региона;  $x_{n+2}$  – оптимальный объем (в д.е.) дотаций в электроэнергетическую отрасль региона. Тогда введенные выше потоки могут быть рассчитаны по следующим формулам:

$$I_k = x_k R_k = \delta_k x_k, Am = \sum_{k=1}^n Am_k = \sum_{k=1}^n \frac{T}{T_k} x_k,$$

$$S^0 = \sum_{k=1}^n S_k^0 = \sum_{k=1}^n \left(1 - \frac{T}{T_k}\right) x_k,$$

$$Cr = x_{n+1}, DOT = x_{n+2}, N_{1k} = \alpha_1 R_k, N_2 = \alpha_2 S^0,$$

$$N_{3k} = \alpha_3 W_k^r, N_{4k} = \alpha_4 \beta_k F_k,$$

а потоки платежей  $N_{5k}$ , в частности, могут быть вычислены по формулам  $N_{5k} = \alpha_5 R_k$  или оценены другими способами. Тем самым все потоки экономического содержания выражены через искомые математические переменные

модели в единых (денежных) единицах измерения, что позволяет приступить к формированию соответствующих соотношений.

С учетом введенных обозначений, инвестиционные ограничения функционирования региональной электроэнергетической отрасли принимают вид:  $x_k \leq I_k$  – объем инвестиций в  $k$ -й способ производства ЭЭ не превышает заданной максимальной величины. Кроме того, их суммарный объем  $x_1 + \dots + x_n$  не превосходит заданной величины  $Invall$ .

Производственные ограничения имеют два варианта:

–  $\delta_k x_k \leq q_k$  – объем продаж ЭЭ  $k$ -го вида в стоимостном выражении не превышает оценки стоимостного спроса на нее;

– объем продаж продукции  $k$ -го вида определяется максимальной производительностью ОПФ (или уровнем научно-технического прогресса, производственными мощностями).

Экологические ограничения могут быть выражены через введенные обозначения следующим образом [12]:

$$\delta_k x_k \leq \frac{P_k D_k}{\xi_k} \quad (k = 1, \dots, n).$$

Финансовые ограничения:

–  $DS \geq 0$  – сумма собственных средств совокупного производителя на горизонте планирования неотрицательна;

–  $x_{n+1} \leq Cr_{max}$  – наличие верхней границы суммы кредитов;

–  $DOT_{min} \leq x_{n+2} \leq DOT_{max}$  – наличие нижней и верхней границы суммы дотаций.

Критерием эффективности (оптимизации) функционирования региональной электроэнергетической отрасли в модели будем считать максимизацию его чистой приведенной (добавленной) стоимости  $NPV$  на горизонте планирования  $T$ :

$$NPV = \sum_{k=1}^n \left( \sum_{t=1}^T \left[ \frac{(W_k(t) + Am_k(t))}{(1+r)^t} \right] - I_k(1) \right) \rightarrow max.$$

Учитывая введенные обозначения, математическая модель электроэнергетической отрасли региона приобретет следующий формализованный вид статической задачи линейного оптимального управления в матричном виде:

$$A_{(3n+4) \times (n+2)} X_{(n+2) \times 1} \leq B_{(3n+4) \times 1}, X_{(n+2) \times 1} \geq 0;$$

$$C_{1 \times (n+2)} X_{(n+2) \times 1} \rightarrow max,$$

где

$$A_{(3n+4) \times (n+2)} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & \dots & 0 & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & 1 & \dots & 0 & 0 \\ \hline \delta_1 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & \dots & 0 & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \delta_n & \dots & 0 & 0 \\ \hline \delta_1 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & \dots & 0 & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \delta_n & \dots & 0 & 0 \\ \hline (\alpha_3 - 1) \cdot \Delta_1 & \dots & (\alpha_3 - 1) \cdot \Delta_n & \dots & -1 & -1 \\ 0 & \dots & 0 & \dots & 1 & 0 \\ 0 & \dots & 0 & \dots & 0 & -1 \\ 0 & \dots & 0 & \dots & 0 & 1 \end{pmatrix},$$

$$\Delta'_k = \delta_k - \frac{T/T_k + \alpha_6 \delta_k + \alpha_2 \left(1 - T/T_k\right)}{1 - (1 + \alpha_4) \beta_k - p_k}, \quad r_3 = \frac{rT}{1 - (1 + r)^{-T}} - 1,$$

$$B_{(3n+4) \times 1} = (I_1, \dots, I_n; q_1, \dots, q_n; P_1 D_1 / \xi_1, \dots, P_n D_n / \xi_n; 0; Cr_{max}; -DOT_{min}, DOT_{max})^T;$$

$$C_{1 \times (n+4)} = \frac{T}{1 + r_3} \left( (1 - \alpha_3) \Delta'_1 + T/T_1 - \frac{1 + r_3}{T}, \dots, (1 - \alpha_3) \Delta'_n + T/T_n - \frac{1 + r_3}{T}; -r_0(12T_0 + 1) / 24; 0 \right).$$

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенный в работе анализ позволил сделать следующие выводы. Выработка ЭЭ в регионе зависит от большого количества факторов, и каждый регион должен выбрать соответствующий набор способов производств, исходя из своих конкурентных преимуществ. Модель (1) позволяет лицу, принимающему инвестиционные решения в сфере электроэнергетической политики на региональном уровне, выбирать набор способов производства ЭЭ в регионе, модельно «заглушая» некоторые способы производства путем зануления соответствующего спроса, что, в соответствии с содержательной и математической постановками задачи, эквивалентно отсутствию производства ЭЭ с использованием данного способа. Отметим, что модель (1), являясь линейной задачей математического программирования с нестрогими ограничениями, неравенствами и непустым множеством допустимых решений (легко проверяется наличие нулевого решения), разрешима для любого набора параметров. Нетривиальные решения можно получить с помощью многопараметрического анализатора задачи линейного программирования, функции которого подробно описаны в [2]. На практике решение сформулированной задачи оценки экономической эффективности электроэнергетической отрасли позволяет получать оптимальные объемы инвестиций в производство электроэнергии  $n$  способами, а также оптимальные объемы производства ЭЭ, дотаций и кредитов при обеспечении ее функционирования в регионе.

### Список литературы

1. Статистический обзор мировой энергетики BP (British Petroleum). [Электронный ресурс]. URL: <https://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/statistical-review-of-world-energy.html> (дата обращения: 15.11.2023).
2. Уголь: краткий обзор отрасли. [Электронный ресурс]. URL: [https://www.sberbank.com/common/img/uploaded/analytics/jdw/23122022\\_coal\\_final.pdf](https://www.sberbank.com/common/img/uploaded/analytics/jdw/23122022_coal_final.pdf) (дата обращения: 15.11.2023).
3. Shafiey Mohammad, Hajabdollahi Hassan. Multi-objective optimization of hybrid solar/wind/diesel/battery system for different climates of Iran // Environment, Development and Sustainability. 2021. No 23. P. 1-27. DOI: 10.1007/s10668-020-01094-1.
4. Добринова Т.В., Головин А.А., Чаплыгина М.А. Совершенствование энергетического хозяйства предприятия // Вестник Алтайской академии экономики и права. 2022. № 9-1. С. 68-73. DOI: 10.17513/vaael.2393.
5. Jha V.N., Karn Santosh K., Kumar Krishna. Review on the Role of Modeling in Energy Sectors. Department of Mathematics, College of Arts and Science, Prince Sattam bin Abdul. URL: <https://www.researchgate.net/publication> (дата обращения: 15.11.2023).
6. Дмитриев Н.Д., Родионов Д.Г., Жильцов С.А. Оптимизация управленческих процессов в электроэнергетике на основе математического моделирования // Kant. 2021. № 1. С. 18-23. DOI: 10.24923/2222-243X.2021-38.4.
7. Цыбатов В.А. Стратегическое планирование энергоэффективного развития субъекта Российской Федерации // Экономика региона. 2018. Т. 14. № 3. С. 941-954.
8. Медведев А.В. Автоматизированная поддержка принятия оптимальных решений в инвестиционно-производственных проектах развития социально-экономических систем. М.: Издательский Дом «Академия Естествознания», 2020. 200 с. DOI: 10.17513/np.421.
9. О некоторых приложениях инструментария многопараметрического анализа функций в ситуационных центрах социально-экономического развития / А.В. Медведев, С.А. Муравьев, В.А. Пинаев и др. // Фундаментальные исследования. 2017. № 4-2. С. 271-275.
10. Анализ эффективности региональной энергетики / В.И. Бирюлин, А.Н. Горлов, Д.В. Куделина и др. Курск: ЗАО «Университетская книга», 2018. 123 с.
11. Energy Feasibility of Hybrid PV/Wind Systems with Electricity Generation Assessment under Iran Environment / Makkiabadi Mahmoud, Hoseinzadeh Siamak, M. Mohammadi et al. // Applied Solar Energy. 2020. No 56. P. 517-525. DOI: 10.3103/S0003701X20060079.
12. Медведев А.В., Прокопенко Е.В., Кисляков И.М. Система поддержки принятия решений в оценке экономической эффективности угледобывающей отрасли с учетом экологических ограничений // Уголь. 2021. № 12. С. 28-33. DOI: 10.18796/0041-5790-2021-12-28-33.

Original Paper

UDC 338.45:622.85:51.001.57 © E.V. Vasiliev, A.G. Kirenberg, I.M. Kislyakov, A.V. Medvedev, E.V. Prokopenko, 2023  
 ISSN 0041-5790 (Print) • ISSN 2412-8333 (Online) • Ugol' – Russian Coal Journal, 2023, № 12, pp. 44-49  
 DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2023-12-44-49>

**Title****ELECTRIC POWER INDUSTRY OF A REGION: MATHEMATICAL MODELING OF ENVIRONMENTAL AND ECONOMIC ASSESSMENT OF DEVELOPMENT EFFICIENCY****Authors**

Vasiliev E.V.<sup>1</sup>, Kirenberg A.G.<sup>1</sup>, Kislyakov I.M.<sup>1</sup>, Medvedev A.V.<sup>1,2</sup>, Prokopenko E.V.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, Kemerovo, 650000, Russian Federation

<sup>2</sup> Kemerovo State University, Kemerovo, 650043, Russian Federation

**Authors Information**

**Vasiliev E.V.**, Postgraduate student, e-mail: lifead@yandex.ru

**Kirenberg A.G.**, PhD (Economic), Associate Professor of the Department of Information Security, e-mail: ag-k@yandex.ru

**Kislyakov I.M.**, Senior Lecturer of the Department of Information Security, e-mail: kemerovo85@mail.ru

**Medvedev A.V.**, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, Professor of the Department of Fundamental Mathematics, Professor of the Department of Information Security, e-mail: alexm\_62@mail.ru

**Prokopenko E.V.**, PhD (Physical and Mathematical), Associate Professor, Head of the Department of Information Security, e-mail: pev.vtit@kuzstu.ru

**Abstract**

The article introduces the concept of analysis as well as an economic and mathematical model in the form of a linear mathematical programming problem focused on the automated efficiency assessment of a regional electric power industry that takes into account the environmental aspects of its operation. Since coal currently remains one of the main sources of electric power generation in the world (up to 20%), the formulated problem also concerns the issues of the coal mining industry operation in the regions. The problem description and its mathematical formulation are discussed, as well as some specific features and limitations in operation of the electric power industry. The developed model makes it possible to calculate the optimal investment and power generation volumes, as well as to identify the economic potential of the regional electric power industry, and also allows to carry out an efficient numerical analysis based on the parameter analyzer of the linear programming problem. Existence of a solution to the problem described by the given model is justified, as well as the possibility to use the author's software solution of parametric analysis of the linear programming problem for its analysis. This makes it possible to discuss the use of a system tools in studying the development patterns of the electric power industry in the region.

**Keywords**

Regional electric power industry, Conventional energy sources, Power plants, Non-conventional energy sources, Electric generators, Assessment of economic efficiency, Economic potential, Mathematical modeling, Linear programming problem.

**References**

1. BP (British Petroleum) Statistical Review of World Energy [Electronic resource]. Available at: <https://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/statistical-review-of-world-energy.html> (accessed 15.11.2023).
2. Coal: an overview of the industry. [Electronic resource]. Available at: [https://www.sberbank.com/common/img/uploaded/analytics/jdw/23122022\\_coal\\_fnal.pdf](https://www.sberbank.com/common/img/uploaded/analytics/jdw/23122022_coal_fnal.pdf) (accessed 15.11.2023).

3. Shafiey Mohammad & Hajabdollahi Hassan. Multi-objective optimization of hybrid solar/wind/diesel/battery system for different climates of Iran. *Environment, Development and Sustainability*, 2021, (23), pp. 1-27. DOI: 10.1007/s10668-020-01094-1.

4. Dobrinova T.V., Golovin A.A. & Chaplygina M.A. Improvement of the energy economy of the enterprise. *Vestnik Altajskoj akademii ekonomiki i prava*, 2022, (9-1), pp. 68-73. (In Russ.). DOI: 10.17513/vaael.2393.

5. Jha V.N., Karn Santosh K., Kumar Krishna. Review on the Role of Modeling in Energy Sectors. Department of Mathematics, College of Arts and Science, Prince Sattam bin Abdul. URL: <https://www.researchgate.net/publication>.

6. Dmitriev N.D., Rodionov D.G. & Zhiltsov S.A. Optimization of management processes in the electric power industry based on mathematical modeling. *Kant*, 2021, (1), pp. 18-23. (In Russ.). DOI: 10.24923/2222-243X.2021-38.4.

7. Tsybatov V.A. Strategic planning of energy efficient development of the subject of the Russian Federation. *Ekonomika regiona*, 2018, Vol. 14, (3), pp. 941-954. (In Russ.).

8. Medvedev A.V. Automated support of optimal decision making in investment and production projects of social and economic systems development. Moscow, Akademiia Estestvoznaniia Publ., 2020, 200 p. (In Russ.). DOI: 10.17513/np.421.

9. Medvedev A.V., Muravyev S.A., Pinaev V.A. et al. On some applications of the tools for multiparametric analysis of functions in the situational centers for social and economic development. *Fundamental'nye issledovaniya*, 2017, (4-2), pp. 271-275. (In Russ.).

10. Biryulin V.I., Gorlov A.N., Kudelina D.V. et al. Analysis of regional power industry efficiency, Kursk. Universitetskaya Kniga Publ., 2018, 123 p. (In Russ.).

11. Makkiabadi Mahmoud, Hoseinzadeh Siamak, Mohammadi M. et al. Energy Feasibility of Hybrid PV/Wind Systems with Electricity Generation Assessment under Iran Environment. *Applied Solar Energy*, 2020, (56), pp. 517-525. DOI: 10.3103/S0003701X20060079.

12. Medvedev A.V., Prokopenko E.V. & Kislyakov I.M. Decision support system for assessing the economic efficiency of the coal mining industry with account of environmental limitations. *Ugol'*, 2021, (12), pp. 28-33. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2021-12-28-33.

**For citation**

Vasiliev E.V., Kirenberg A.G., Kislyakov I.M., Medvedev A.V. & Prokopenko E.V. Electric power industry of a region: mathematical modeling of environmental and economic assessment of development efficiency. *Ugol'*, 2023, (12), pp. 44-49. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2023-12-44-49.

**Paper info**

Received July 5, 2023

Reviewed November 10, 2023

Accepted November 27, 2023

# Мониторинг использования земельных участков в угледобыче\*

DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2023-12-50-54>

## БОНДАРЕВ Н.С.

Доктор экон. наук,  
заведующий кафедрой  
управления качеством  
ФГБОУ ВО «Кемеровский  
государственный университет»,  
650000, г. Кемерово, Россия,  
e-mail: 05bns09@mail.ru

## БОНДАРЕВА Г.С.

Доктор экон. наук,  
профессор кафедры  
управления качеством  
ФГБОУ ВО «Кемеровский  
государственный университет»,  
650000, г. Кемерово, Россия,  
e-mail: galina0205@mail.ru

В статье представлена организация системы мониторинга использования земельных участков в угледобыче на примере Кемеровской области – Кузбасса как со стороны государственных контрольных органов, так и со стороны недропользователей. Представлен анализ изменений почв в результате деятельности угледобывающих предприятий, которые являются лидерами загрязнения окружающей среды региона, обеспечивая более 60% твердых, жидких и газообразных отходов. В целях визуализации деструктивных процессов представлены карты угольных разрезов и их границ, которые отражают влияние угледобычи как на земли, вовлеченные в производственный процесс, так и на расположенные вблизи. Отмечено, что актуальность темы мониторинга связана с наличием 4 тыс. га земель, нарушенных в результате разработки полезных ископаемых. Наиболее сложная ситуация складывается на отработанных участках и, особенно остро, на закрытых угольных производствах, где мониторинг со стороны недропользователей фактически отсутствует, производится только мониторинг со стороны контролирующих государственных органов, которые не в состоянии охватить всю территорию. Результатами отсутствия мониторинга являются необходимые затраты на устранение ущерба от последствий раскопок промышленных площадок, которые только в Кемеровском муниципальном районе на 2023 г. составили 8 млн руб. В целях изменения ситуации предлагается осуществлять мониторинг с применением беспилотных летательных аппаратов (БЛА) как для визуального осмотра, так и для определения характеристик участков, их изменений с помощью построения мониторинговых карт. Предложены такие учетные параметры мониторинга, как: изменение границ, изменение назначения хозяйственного использования, загрязнение, заболачивание, выход шахтных вод на поверхность, провалы, просадка, деформация. В целях комплексного представления тематики цифрового развития мониторинга земель представлены дальнейшие направления развития, в частности разработка системы земельного надзора в рамках проекта «Геоинформационная система цифрового регионального управления», экономическая оценка внедрения, разработка инструкций по реагированию на результаты деградации земель.

**Ключевые слова:** мониторинг, угледобыча, деградация земель, загрязнение, регион, экономические затраты, цифровые карты, параметры мониторинга.

**Для цитирования:** Бондарев Н.С., Бондарева Г.С. Мониторинг использования земельных участков в угледобыче // Уголь. 2023. №. 12 С. 50-54. DOI: 10.18796/0041-5790-2023-12-50-54.



**НОЦ  
КУЗБАСС**

Научно-образовательный  
центр «Кузбасс»

\* Работа выполнена в рамках соглашения № 075-15-2022-1195 от 30.09.2022, заключенного между Министерством науки и высшего образования Российской Федерации и федеральным бюджетным образовательным учреждением высшего образования «Кемеровский государственный университет».

## ВВЕДЕНИЕ

Организация мониторинга как совокупности мер и методов наблюдения за трансформацией и контролем состояния земельных участков, выделенных для угледобычи, необходима в целях анализа соблюдения земельного законодательства. Особая категория землепользователей – угольные предприятия – предполагает радикальные изменения характеристик земельных участков, что требует постоянных наблюдений – мониторинга как со стороны землепользователя, так и со стороны государства [1, 2, 3, 4, 5]. Особое внимание землепользователя мониторинг использования земельных участков в угледобыче обращает на негативные процессы, возникающие при производственном процессе: оседание грунта, изменение состава, структуры, рельефа, образование провалов, то есть все то, что может негативно отразиться на предпринимательской деятельности. Основная цель мониторинга использования земельных участков со стороны угледобывающих предприятий связана с финансовыми результатами, экономическими показателями. Задача – не допустить дополнительных затрат, связанных с устранением негативных последствий изменений свойств и параметров земельных участков. Такими дополнительными затратами будут являться не только затраты, напрямую связанные с устранением негативных последствий изменений, но и опосредованные затраты, например простои, снижение объемов и темпов добычи. В свою очередь для государственного мониторинга использования земельных участков в угледобыче основной задачей является выявление соответствия между фактическим состоянием землепользования и нормативным. Это соответствие видов разрешенного использования, наличие изменений, контроль устранения нарушений и последствий. Данный мониторинг напрямую не связан с экономическими затратами угольного предприятия, но принимаемые решения, налагаемые санкции по результатам мониторинга могут существенно отразиться на финансовом состоянии предприятия, что должен учитывать собственник. То есть мониторинг использования земельных участков для угольных предприятий учитывает не только возможность сокращения затрат, связанных с негативными изменениями землепользования, но и сокращение экономических издержек, являющихся следствием государственного мониторинга и контроля.

## АНАЛИЗ ИСХОДНЫХ ДАННЫХ

Угледобыча, являясь основой экономики Кемеровской области – Кузбасса, использует значительные земельные площади, которые в целях производства подвергаются различным изменениям: начиная с создания инженерной инфраструктуры заканчивая отвалами. Непосредственное изменение почвы в результате добычи полезных ископаемых усиливается различными процессами выбросов загрязнений угольной промышленности [6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14]. Выбросы производства угледобычи

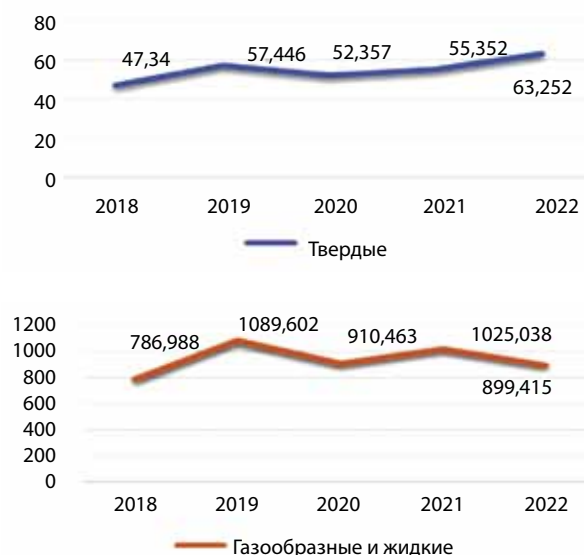


Рис. 1. Динамика выбросов загрязняющих веществ угольной промышленностью Кемеровской области – Кузбасс

Fig. 1. Dynamics of emissions of pollutants by the coal industry of the Kemerovo region - Kuzbass

негативно отражаются на характеристике почв, которые не участвуют в производственном процессе, но находятся рядом с источниками загрязнений. 60% общероссийской добычи энергетических углей обуславливает лидирующее положение угледобывающей отрасли в загрязнении атмосферного воздуха региона, включая твердые загрязняющие вещества, которые, оседая, создают негативные изменения почв. Так, за 2022 г. угледобывающие предприятия выбросили загрязняющих веществ в количестве 962,667 тыс. т, что составило 60,4% общего объема выбросов загрязняющих веществ от стационарных источников области, в 2021 г. – 67,4% (рис. 1).

Открытая добыча угля вносит наибольший вклад в изменение почв, трансформируя рельеф (рис. 2).

В представленных местах добычи почвенный покров отсутствует, мониторинг почв невозможен, однако по границам разрезов расположены участки с наличием почвенного и лесного покрова (рис. 3)



Рис. 2. Типичный вид угольного разреза со спутника (Киселевск, Кемеровская область – Кузбасс)

Fig. 2. Typical view of a coal mine from a satellite (Kiselevsk, Kemerovo region – Kuzbass)



Рис. 3. Границы угольного разреза  
(Карчакольский разрез, Кемеровская область – Кузбасс)

Fig. 3. Boundaries of the coal mine (Karchakolsky mine, Kemerovo region – Kuzbass)

Цветовая гамма бурых и желтых цветов показывает загрязнения почвенного покрова угольной пылью. Без учета косвенно загрязненных участков, по данным сайта [rpn.gov.ru](http://rpn.gov.ru), в 2022 г. при разработке месторождений полезных ископаемых в Кемеровской области нарушено 4,072 тыс. га земель.

### РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Осознавая необходимость мониторинга почв на разрезах и шахтах, государственные контролирующие органы не имеют возможности ежегодного контроля всех участков. В итоге мониторинг почв осуществляется на десяти постоянных участках, расположенных в шести муниципальных образованиях области. Однако основные угледобывающие районы в данном мониторинге не затронуты. На данных постоянных участках изучаются состояние и процессы деградации земель. Наибольшее значение в целях мониторинга в угледобыче имеет изучение такого типа деградации, как физическая деградация, связанная с изъятием и уничтожением плодородного слоя земли. Со стороны недропользователей мониторинговые исследования фактически отсутствуют, особенно на тех участках, которые отработаны.

Отсутствие мониторинга со стороны недропользователя приводит к экономическим затратам, так, только в Кемеровском муниципальном районе планируемые затраты в 2023 г., связанные с ликвидацией последствий раскопок промышленных площадок шахтами, составили 8 млн руб. В части нарушения почв мониторинг горных отвалов направлен на визуализацию и наблюдение за поверхностным слоем на предмет возможного заболачивания, выхода шахтных вод на поверхность, провалов, просадки, деформации. В дополнение проводится отбор проб и их анализ. Со стороны государственных органов данные мероприятия осуществляются Сибирским региональным центром государственного мониторинга состояния недр (СРЦ ГМСН), которым за 2022 г. были обследованы ликвидированные шахты «Ягуновская» и «Судженская» Кузнецкого угольного бассейна.

Все вышеперечисленное не позволяет составить полной картины использования и деградации земельных участков, выделенных угледобывающим предприятиям.

Необходим мониторинг с более существенной зоной охвата. Предлагается осуществлять: мониторинг с применением БЛА в целях визуального осмотра, определения характеристик участков; разработку системы управления земельным надзором, создаваемой в рамках проекта «Геоинформационная система цифрового регионального управления», содержащей слой, характеризующие изменения земельных участков, используемых в угледобыче. На этапе построения цифровых карт процесс мониторинга не заканчивается, с помощью программного алгоритма предлагается определить изменения состояния зе-

мельных участков с помощью сопоставления текущей карты с базовой (эталонной). Фактически составляется новая карта, в которой отражаются границы изменений участков почв. В качестве учетных параметров мониторинга могут выступать: изменение границ, изменения назначения хозяйственного использования, загрязнение, заболачивание, выходы шахтных вод на поверхность, провалы, просадка, деформация и др. Полученные изменения являются сигналом, который подлежит проверке. Перечень действий зависит от конкретного случая. Если изменения носят опасный характер для населения, необходимо немедленное реагирование. Ключевыми пользователями разрабатываемой системы будут являться муниципалитеты, а именно администрации муниципальных образований, так как угольные предприятия осуществляют свою деятельность на муниципальных землях. Именно муниципалитеты больше всего заинтересованы в оперативном контроле своего муниципального имущества, его состояния и тем более заинтересованы в том, чтобы в перспективе не было заброшенных, нерекультивированных земель, которые экономическим бременем ложатся на муниципальный бюджет.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Текущее состояние мониторинга земельных участков в угледобыче не позволяет оценить реальную ситуацию, а значит, принять оперативные решения, осуществить реагирование. Последствия непроведения мониторинга имеют значительную материальную составляющую, которая ежегодно составляет, по минимальным расчетам, порядка 150 млн руб. (в 18 муниципальных районах области). Наличие мониторинга с применением БЛА позволяет как оценить деструктивные изменения, так и является профилактической мерой недопущения нарушений, так как реализуется принцип неотвратимости наказания за правонарушение. У данного метода мониторинга есть и недостатки – не берутся пробы почв, для этого требуются более дорогостоящие технологии. Если не развивать мониторинг земель с использованием цифровых карт, то это не приведет к решению текущих проблем. Дальнейшие исследования реализации мониторинга земель направлены на анализ существующих и разработку новых про-

граммных средств создания цифровых карт, экономическую оценку внедрения новых технологий по системе «затраты – результат», разработку инструкций по реагированию на результаты деградации земель, полученные с помощью программных средств.

### Список литературы

1. Мониторинг земель, занятых техногенными минеральными образованиями / И.А. Басова, Д.О. Прохоров, С.В. Пьянков и др. // Вестник СГУГиТ (Сибирского государственного университета геосистем и технологий). 2022. Т. 27. № 4. С. 138-149. DOI: 10.33764/2411-1759-2022-27-4-138-149.
2. Денисова Е.В., Силова В.А. Геоинформационное обеспечение проведения мониторинга земель сельскохозяйственного назначения в системе управления земельными ресурсами (на примере Волгоградской области) // ИнтерКарто. ИнтерГИС. 2021. Т. 27. № 4. С. 57-65. DOI: 10.35595/2414-9179-2021-4-27-57-65.
3. Ковязин В.Ф., Нгуен Т.С., Боголюбова А.А. Трансформация землепользований на севере и юге Вьетнама // Вестник Московского государственного областного университета. Серия: Естественные науки. 2017. № 4. С. 95-110. DOI: 10.18384/2310-7189-2017-4-95-110.
4. Стадник А.Т., Самохвалова А.А., Денисов Д.А. Совершенствование механизма управления земельными ресурсами Новосибирской области // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). 2015. № 4. С. 230-237.
5. Гуцин А.Н., Санок С.И. Виды разрешенного использования земельных участков как элемент управления городским развитием // Урбанистика. 2018. № 2. С. 59-69.
6. Опыт и уроки подготовки КНТП «Чистый уголь – Зеленый Кузбасс» / И.А. Ганиева, Г.В. Шепелев, П.М. Бобылев и др. // Уголь. 2022. № 11. С. 17-25. DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2022-11-17-25>.
7. Formation of the institution of environmental responsibility of coal industry enterprises / N. Bondarev, G. Bondareva, N. Ravochkin et al. / E3S Web of Conferences, Kemerovo, 14-16 октября 2019 года. Kemerovo, 2019. P. 04002. DOI: 10.1051/e3sconf/201910504002.
8. Экономические последствия развития угледобывающей отрасли региона: оценка экологоэкономических потерь / В.В. Меркурьев, П.Д. Косинский, К.В. Томилин и др. // Уголь. 2021. № 11. С. 19-24. DOI: 10.18796/0041-5790-2021-11-19-24.
9. Макарова М.В., Маркович К.И., Шевелев И.П. Мониторинг трансформации земель приграничных территорий по материалам дистанционного зондирования Земли // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия F. Строительство. Прикладные науки. 2022. № 14. С. 102-106. DOI: 10.52928/2070-1683-2022-32-14-102-106.
10. Azadi H. Monitoring land governance: Understanding roots and shoots // Land Use Policy. 2020. Vol. 94. P. 104530. DOI 10.1016/j.landusepol.2020.104530.
11. Monitoring land sensitivity to desertification in Central Asia: Convergence or divergence? / L. Jiang, A. Bao, G. Jiapaer et al. // Science of the Total Environment. 2019. Vol. 658. P. 669-683. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2018.12.152.
12. Application of Gray-Markov Model to Land Subsidence Monitoring of a Mining Area / D. Yuan, C. Geng, Z. Zhang et al. // IEEE Access. 2021. Vol. 9. P. 118716-118725. DOI: 10.1109/ACCESS.2021.3106144.
13. Remote monitoring data on opencast mining and disturbed land ecology in the bakal iron ore field / I.V. Zenkov, V.N. Vokin, E.V. Kiryushina et al. // Eurasian Mining. 2018. No 2. P. 29-33. DOI: 10.17580/em.2018.02.08.
14. Land consumption monitoring: an innovative method integrating SAR and optical data / S. Mastroiosa, M. Crosetto, L. Congedo et al. // Environmental Monitoring and Assessment. 2018. Vol. 190. No 10. P. 1-15. DOI: 10.1007/s10661-018-6921-y.

### Original Paper

UDC 332.3.012.2 © N.S. Bondarev, G.S. Bondareva, 2023  
 ISSN 0041-5790 (Print) • ISSN 2412-8333 (Online) • Ugol' – Russian Coal Journal, 2023, № 12, pp. 50-54  
 DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2023-12-50-54>

### Title

**MONITORING OF LAND USE IN COAL MINING**

### Authors

Bondarev N.S.<sup>1</sup>, Bondareva G.S.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Kemerovo State University, Kemerovo, 650000, Russian Federation

### Authors Information

**Bondarev N.S.**, Doctor of Economic Sciences, Head of the Department of Quality Management, e-mail: 05bns09@mail.ru

**Bondareva G.S.**, Doctor of Economic Sciences, Professor of the Department of Quality Management, e-mail: galina0205@mail.ru

### Abstract

The article presents the organization of a system for monitoring the use of land in coal mining on the example of the Kemerovo region – Kuzbass, both by state control bodies and by subsoil users. The analysis of soil changes as a result of the activities of coal mining enterprises, which are the leaders of environmental pollution in the region, providing more than 60% of solid, liquid and gaseous waste, is presented. In order to visualize destructive processes, maps of coal mines and their boundaries are presented, which reflect the effects of coal mining both on the lands involved in the produc-

tion process and on those located nearby. It is noted that the relevance of the monitoring topic is associated with the presence of 4 thousand hectares of land disturbed as a result of mining. The most difficult situation is in the spent and especially acute – in closed coal plants, where there is virtually no monitoring by subsoil users, only monitoring is carried out by controlling state bodies that are unable to cover the entire territory. The results of the lack of monitoring are the necessary costs to eliminate damage from the consequences of the excavation of industrial sites, which only in the Kemerovo Municipal District for 2023 amounted to 8 million rubles. In order to change the situation, it is proposed to monitor using UAVs both for visual inspection and to determine the characteristics of sites, their changes by building monitoring maps. The following accounting parameters of monitoring are proposed: boundary changes, changes in the purpose of economic use, pollution, waterlogging, mine water outlet to the surface, sinkholes, subsidence, deformation. In order to comprehensively present

the topics of digital development of land monitoring, further directions of development are presented, including software tools for creating digital maps, economic assessment of implementation, development of instructions for responding to the results of land degradation.

**Keywords**

Monitoring, Coal mining, Land degradation, Pollution, Region, Economic costs, Digital maps, Monitoring parameters.

**References**

1. Basova I.A., Prokhorov D.O., Pyankov S.V. & Trubina L.K. Monitoring of lands occupied by technogenic mineral formations. *Bulletin of SGUGiT (Siberian State University of Geosystems and Technologies)*, 2022, Vol. 27, (4), pp. 138-149. (In Russ.). DOI: 10.33764/2411-1759-2022-27-4-138-149.
2. Denisova E.V. & Silova V.A. Geoinformation support for monitoring agricultural lands in the land management system (on the example of the Volgograd region). *InterCarto. InterGIS*, 2021, Vol. 27, (4), pp. 57-65. (In Russ.). DOI: 10.35595/2414-9179-2021-4-27-57-65.
3. Kovyazin, V.F., Nguyen T.S. & Bogolyubova A.A. Transformation of land use in the North and South of Vietnam. *Bulletin of the Moscow State Regional University. Series: Natural Sciences*, 2017, (4), pp. 95-110. (In Russ.). DOI: 10.18384/2310-7189-2017-4-95-110.
4. Stadnik A.T., Samokhvalova A.A. & Denisov D.A. Improving the mechanism of land management in the Novosibirsk region. *Bulletin of the NGAU (Novosibirsk State Agrarian University)*, 2015, (4), pp. 230-237.
5. Gushchin A.N. & Sanok S.I. Types of permitted use of land plots as an element of urban development management. *Urbanistics*, 2018, (2), pp. 59-69. (In Russ.).
6. Ganieva I.A., Shepelev G.V., Bobylev P.M. & Petrik N.A. Experience and lessons learned in preparing the 'Clean Coal – Green Kuzbass' Integrated Scientific and Technical Project. *Ugol'*, 2022, (11), pp. 17-25. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2022-11-17-25
7. Bondarev N., Bondareva G., Ravochkin N. & Windemut V. Formation of the institution of environmental responsibility of coal industry enterprises. E3S Web of Conferences. Kemerovo, October 14-16, 2019. Kemerovo, 2019. pp. 04002. DOI: 10.1051/e3sconf/2019105040028. Merkuriev V.V., Kosinsky P.D., Tomilin K.V. & Kolesnikova E.G. Economic impact of the coal industry in the

region: assessment of environmental and economic losses. *Ugol'*, 2021, (11), pp. 19-24. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2021-11-19-24.

9. Makarova M.V., Markovich K.I. & Shevelev I.P. Monitoring of the transformation of the lands of border territories based on the materials of remote sensing of the Earth. *Bulletin of the Polotsk State University. Series F. Construction. Applied sciences*, 2022, (14), pp. 102-106. (In Russ.). DOI: 10.52928/2070-1683-2022-32-14-102-106.
10. Azadi H. Monitoring land governance: Understanding roots and shoots. *Land Use Policy*, 2020, (94), pp. 104530. DOI: 10.1016/j.landusepol.2020.104530.
11. Jiang L., Bao A., Jiapaer G. et al. Monitoring land sensitivity to desertification in Central Asia: Convergence or divergence? *Science of the Total Environment*, 2019, (658), pp. 669-683. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2018.12.152.
12. Yuan D., Geng C., Zhang Z. & Zhang L. Application of Gray-Markov Model to Land Subsidence Monitoring of a Mining Area. *IEEE Access*, 2021, (9), pp. 118716-118725. DOI: 10.1109/ACCESS.2021.3106144.
13. Zenkov I.V., Vokin V.N., Kiryushina E.V. & Raevich K.V. Remote monitoring data on opencast mining and disturbed land ecology in the bakal iron ore field. *Eurasian Mining*, 2018, (2), pp. 29-33. DOI: 10.17580/em.2018.02.08.
14. Mastroso S., Crosetto M., Congedo L. & Munafò M. Land consumption monitoring: an innovative method integrating SAR and optical data. *Environmental Monitoring and Assessment*, 2018, Vol. 190, (10), pp. 1-15. DOI: 10.1007/s10661-018-6921-y.

**Acknowledgements**

The work was carried out within the framework of agreement No. 075-15-2022-1195 dated 30.09.2022, concluded between the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation and the Federal budgetary educational institution of Higher Education "Kemerovo State University".

**For citation**

Bondarev N.S. & Bondareva G.S. Monitoring of land use in coal mining. *Ugol'*, 2023, (12), pp. 50-54. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2023-12-50-54.

**Paper info**

Received October 16, 2023  
 Reviewed November 10, 2023  
 Accepted November 27, 2023 .

## На разрезе «Распадский» введен в работу первый электрический экскаватор

На разрезе «Распадский» Распадской угольной компании (РУК) введен в эксплуатацию первый электрический экскаватор марки ЭКГ-20, что позволит предприятию повысить производительность вскрышных работ и улучшить экологическую обстановку. Объем ковша нового экскаватора составляет



20 куб. м, месячная производительность – более 500 тыс. куб. м горной массы. К экскаватору подключен питающий кабель на 6000 В.

Запуск в работу техники на электрической тяге позволит сократить количество выбросов загрязняющих веществ в атмосферу, возникающих при сгорании топлива.

Процесс управления экскаватором полностью автоматизирован. ЭКГ-20 – инновационная модель, оснащенная бортовым компьютером с возможностями самодиагностики, видеокамерами кругового обзора и другими необходимыми системами безопасности. На экскаваторе работает бригада из восьми человек – это машинисты и помощники машиниста. Кабина – просторная и комфортная с системой климат-контроля.

Экскаватор работает в связке с самосвалами грузоподъемностью 220 т и вспомогательной техникой. На предприятие поступили также два новых бульдозера, предназначенные для горно-подготовительных работ. Вся новая техника – отечественного производства.

Управление по связям с общественностью  
 Распадской угольной компании





# О новом подходе к выбору средств индивидуальной защиты от негативного воздействия пылевого фактора и шума\*

DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2023-12-55-59>

В статье рассматриваются вопросы обеспечения релевантности средств индивидуальной защиты (СИЗ) с учетом профессиональных рисков различного вида и спектра воздействия. В качестве производственного объекта для проведения экспериментальных научных работ изучены условия труда на горнодобывающем руднике. Условия труда горнорабочих характеризуются комплексом вредных производственных факторов, ведущими из которых являются высокая запыленность воздушной среды и шум. На основании проведенных замеров на рабочих местах выявлены превышения предельно допустимой концентрации пыли на всех рабочих местах в 1,05-1,37 раза. Поэтому работникам необходима выдача СИЗ. На основе сравнительного анализа с учетом гигиенических критериев даны рекомендации по внедрению новой номенклатуры СИЗ в зависимости от наличия и степени воздействия вредных производственных факторов.

**Ключевые слова:** охрана труда, условия труда, профессиональный риск, средства индивидуальной защиты, пыль, шум.

**Для цитирования:** О новом подходе к выбору средств индивидуальной защиты от негативного воздействия пылевого фактора и шума / Ш.К. Абикенова, М.Б. Баизбаев, Г.К. Даумова и др. // Уголь. 2023. № 12. С. 55-59. DOI: 10.18796/0041-5790-2023-12-55-59.

## ВВЕДЕНИЕ

Современные условия труда работников горнорудных производств характеризуются неблагоприятным воздействием физических и химических факторов, таких как

\* В статье представлены результаты научных исследований, полученные в ходе реализации научно-технической программы на тему: «Риск-ориентированные организационно-экономические механизмы обеспечения безопасного труда в условиях современного Казахстана» (ИРН OR11865833) в рамках программно-целевого финансирования исследований Республиканского научно-исследовательского института по охране труда МТСЗН РК.

## АБИКЕНОВА Ш.К.

Канд. физ.-мат. наук, ассоциированный профессор, генеральный директор РГП на ПХВ «Республиканского научно-исследовательского института по охране труда» Министерства труда и социальной защиты населения Республики Казахстан, 010000 г. Астана, Республика Казахстан, e-mail: rniiot@rniiot.kz

## БАИЗБАЕВ М.Б.

Канд. техн. наук, чл.-корр. НАГН, ведущий научный сотрудник РГП на ПХВ Карагандинского областного филиала «Республиканского научно-исследовательского института по охране труда» Министерства труда и социальной защиты населения Республики Казахстан, 100009, г. Караганда, Республика Казахстан, e-mail: baiz76@mail.ru

## ДАУМОВА Г.К.

Канд. техн. наук, ассоциированный профессор, ведущий научный сотрудник РГП на ПХВ Восточно-Казахстанского областного филиала «Республиканского научно-исследовательского института по охране труда» Министерства труда и социальной защиты населения Республики Казахстан, 070018, г. Усть-Каменогорск, Республика Казахстан, e-mail: gulzhan.daumova@mail.ru

## КУЛЬМАГАМБЕТОВА Э.А.

Канд. хим. наук, руководитель отдела биомониторинга и гигиены труда РГП на ПХВ «Республиканского научно-исследовательского института по охране труда» Министерства труда и социальной защиты населения Республики Казахстан, 010000, г. Астана, Республика Казахстан, e-mail: rniiot@rniiot.kz

шум, пыль, микроклимат, вибрация и др. [1]. Вредное воздействие производственных факторов (превышение предельно допустимых уровней и концентраций) снижается за счет выдачи СИЗ. Их обязательное использование снижает риск развития профессиональных заболеваний [2]. Оценке воздействия негативных химических и физических факторов на горно-обогащительных предприятиях посвящен ряд исследований ученых. Авторами [3] выявлена связь между профессиональной заболеваемостью и загрязнением окружающей среды, дана интегральная оценка условиям труда, проведен анализ условий труда работников подземных шахт, выявлено загрязнение воздуха пылью, вредными и опасными для здоровья газами.

### ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

В связи с вышеизложенным представляло интерес изучить условия труда по химическому и физическому факторам на руднике «Жайсан» и разработать рекомендации по совершенствованию подбора и применению СИЗ. Таким образом, научная новизна проведенных исследований заключается в следующем:

- впервые проведено комплексное исследование условий труда на рабочих местах на руднике по добыче медной руды «Жайсан»;

- выявлены участки, где рабочие подвергаются наибольшему воздействию вредных факторов;

- проведена оценка рабочих мест основных профессий предприятий по воздействию пылевого фактора и шума, даны рекомендации по изменению правил выдачи СИЗ.

Этап идентификации рисков предусматривается по каждой профессии работающих или рабочему месту предприятия по виду деятельности и включает в себя сбор и анализ информации, комплексное обследование с проведением технических измерений, определение по результатам обследования всех вредных производственных факторов с заполнением утверждаемого руководителем Реестра профессиональных рисков по предприятию. Оценке подлежат все выявленные ранее вредные производственные факторы, по результатам которой устанавливается уровень их опасности по пяти степеням профессионального риска [4].

Месторождение «Жайсан» расположено в Жамбылской области Республики Казахстан в 250 км северо-восточнее областного центра г. Тараз, в 55 км на юго-восток от районного центра с. Толе-Би (с. Новотроицкое) и в 53 км на юго-восток от г. Чу [5].

При оценке риска вероятных аварий и чрезвычайных ситуаций (ЧС) по предприятию выявлено следующее.

#### **Последствия аварий и инцидентов:**

- при взрыве машины с взрывчатыми материалами (ВМ) основным поражающим фактором является ударная волна, приводящая к травмированию людей, находящихся в опасной зоне, и выводу из эксплуатации автомашины;

- при пожаре на горном оборудовании возможно его повреждение с последующим ремонтом.

Установлено, что последствиями аварий и чрезвычайных ситуаций могут быть разрушение и уничтожение

огнем и взрывом подземных горных выработок, строительных зданий и сооружений, спецавтотранспорта, а также горношахтного оборудования, оборудования компрессорных станций; нарушение вентиляционного режима и энергоснабжения; выбросы в рудничную атмосферу продуктов горения и продуктов взрыва; разрушение подземных горных выработок и горношахтного оборудования в результате обрушения горной массы; затопление подземных горных выработок и горношахтного оборудования; разрушение горношахтного оборудования и подъемных установок в результате неправильной эксплуатации; остановка всех горных работ вследствие различных аварий; отравление, травмирование, и даже гибель людей, находящихся в зоне действия поражающих факторов.

#### **Зоны действия основных поражающих факторов**

При взрыве машины с ВМ безопасное расстояние составляет 200 м. Зоны возможного поражения при возникновении ЧС на руднике:

- все подземные выработки, в которых производятся горные работы, транспортируются, хранятся и используются взрывчатые вещества (далее ВВ) и средства взрывания (далее СВ), а также радиус действия поражающих факторов (ударно-воздушной волны) на поверхности по пути транспортировки ВВ и СВ;

- зона возможного падения груза или самого грузоподъемного механизма;

- зона вокруг подземных складов ВМ.

**Число пострадавших** при преждевременном взрыве заряжаемого блока оценивается порядка семи человек, в том числе со смертельным исходом – четыре человека. При доставке ВМ могут пострадать лица, находящиеся на поверхности и водитель. Возможное число пострадавших – до шести человек, в том числе со смертельным исходом – три человека.

При обрушении кровли могут пострадать два человека, в том числе один – со смертельным исходом. При дорожно-транспортном происшествии – до двух человек. При аварии или ЧС на подземном руднике – до пяти человек. При взрыве на подземном расходном складе могут пострадать три человека из числа персонала, исход может быть смертельным.

При взрыве на дневной поверхности машины с ВМ у надшахтного здания могут пострадать от воздействия ударной воздушной волны и разлета кусков горной массы лица, находящиеся на поверхности промплощадки, попавшие в опасную зону. Возможное число пострадавших – до 25 человек, в том числе со смертельным исходом – восемь человек.

При остановке вентилятора главного проветривания пострадавших не будет, так как люди выводятся из шахты. При остановке главных водоотливных установок, пострадавших не будет, так как люди выводятся в безопасное место. При обрыве каната в клетки ствола шахты могут быть травмированы 30 человек (норма посадки в клеть) со смертельным исходом. При горном ударе могут быть травмированы два человека (звено проходчиков).

При пожарах в стволах шахт, руддворах, загазованных выработках на исходящей струе воздуха могут получить

отравление продуктами горения лица, которые не применяли средства индивидуальной защиты (самоспасатель СПП-4) для вывода из загазованной зоны на свежую струю воздуха. Возможное число пострадавших – четыре человека.

При обрушении в горных выработках могут быть травмированы четыре человека. Исход может быть смертельным. Безвозвратных потерь среди населения не ожидается, так как население в зоне действия поражающих факторов отсутствует.

Для установления соответствия условий труда требованиям безопасности были проведены инструментальные замеры физических и химических факторов, по результатам которых выявлено, что на 15 рабочих местах (табл. 1) основным вредным фактором воздействия являются пыль и шум. Из результатов анализа замеров пыли установлено, что содержание фактического уровня пыли на некоторых рабочих местах составляет 2,11-2,74 мг/м<sup>3</sup>, что превышает предельно допустимую концентрацию пыли 2 мг/м<sup>3</sup> (см. табл. 1). Также можно отметить, что содержание фактического уровня шума на некоторых рабочих местах составляет 81,3-90,8 дБ, что превышает предельно допустимый уровень шума 80 дБ (см. табл. 1). Превышение факторов по пылевому загрязнению и шуму наблюдается и во многих подземных рудниках независимо от технологического процесса [6].

На основании проведенных замеров на рабочих местах выявлены превышения предельно допустимой концентрации пыли на всех рабочих местах в 1,05-1,37 раза кроме директора, начальника службы и инженеров. Также было установлено превышение предельно допустимого уровня шума в 1,02-1,13 раза. Согласно гигиеническим критериям по указанным рабочим местам установлен класс условий труда 3.1.

В табл. 2 представлен сравнительный анализ выбора СИЗ на примере бурильщика шпуров (крепильщика (Роболт) и взрывника, где указан стандартный нормативный перечень набора СИЗ от воздействия пыли по данной профессии согласно межотраслевым типовым нормам [7], а также согласно новому подходу в соответствии с номенклатурой СИЗ, разработанной РГП на ПХВ «Республиканский научно-исследовательский институт по охране труда» Министерства труда и социальной защиты населения Республики Казахстан [8].

При защите рабочих от пылевого фактора респиратор формованный с клапаном служит для защиты органов дыхания человека от различных видов аэрозолей. В зависимости от загрязненности воздуха и условий работы респираторы с клапаном эффективно работают, по некоторым данным, до восьми часов. После этого, из-за увлажнения от дыхания, их эффективность снижается. Принцип работы респираторов с клапаном –

Таблица 1

### Результаты измерений пыли и шума на рабочих местах

Results of dust and noise measurements at workplaces

Наименование должности	Пыль, мг/м <sup>3</sup>	Шум, дБ
Мастер горный	2,22	79,1
Мастер дорожный	2,22	79,1
Мастер участка	2,22	79,1
Участковый маркшейдер (подземный)	2,11	78,1
Взрывник (добыча, проходка)	2,55	82,1
Проходчик	2,38	90,5
Машинист погрузочно-доставочной машины (занятый на погрузке и транспортировке горной массы)	2,18	81,6
Бурильщик шпуров (СОЛО, Рейнджер, НКР, ЛПС-3У)	2,28	88,1
Машинист погрузочно-доставочной машины (занятый на погрузке и транспортировке горной массы) обезопасивание	2,28	84,1
Бурильщик шпуров (крепильщик (Роболт))	2,74	90,8
Дорожно-путевой рабочий	2,30	79,5
Машинист погрузочно-доставочной машины (CAT)	2,21	81,3
Помощник бурильщика шпуров	2,37	89,8
Бетонщик (временные перемычки)	2,73	76,7
Помощник машиниста экскаватора (горное производство)	2,12	82,6

Таблица 2

### Сравнительный анализ обеспечения СИЗ от воздействия пыли и шума

Comparative analysis of PPE provision against dust and noise exposure

Наименование профессии	СИЗ по типовым нормам	СИЗ согласно номенклатуре
Бурильщик шпуров (крепильщик (Роболт))	Респиратор формованный с клапаном	Респиратор FFP3
Взрывник (добыча, проходка)	Вкладыши противозумные на шнурке	Наушники с активным подавлением

электростатическая фильтрация. Частицы пыли прилипают к мембране, а не просто механически останавливаются за счет мелких пор мембраны. Увлажненная маска теряет электростатические свойства и начинает работать намного менее эффективно, просто как механический фильтр [9].

Рекомендуемые FFP3-респираторы обладают высокой эффективностью, очищают до 99% примесей, позволяют работать при загрязненности до 50 ПДК и защищают органы дыхания от мелкодисперсных твердых и жидких аэрозолей. Респиратор хорошо прилегает к лицу, снабжен удобной четырехточечной системой натяжения и крепления ремней, а также приятным обтюратором (часть маски, прилегающая к лицу, изолирующая внешний воздух от проникновения под маску, – из ворсистой ткани) [10].

При защите от шумового фактора вместо вкладыша противозвучного на шнурке рекомендуется использовать наушники с активным подавлением, которые характеризуются наличием современной технологии, позволяющие не только включать и выключать подавление шумов, но и выбирать их уровень одним щелчком выключателя или функцию контроля обстановки [11].

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Для снижения риска нарушений здоровья при воздействии вредных факторов работники рудника должны быть обеспечены правильно подобранными СИЗ. В этой связи необходимо внедрить новый подход, который позволяет правильно выбрать СИЗ для обеспечения защиты от пыли и шума в рабочих зонах рудников.

### Список литературы

1. Study of the harmful factors influence on the occupational risk level: the example of the Ukrainian mining industry / O. Krushilko, V. Maystrenko, I. Tkalych et al. // Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering. 2022. No 110/1. P. 35-41. <https://doi.org/10.33544/mjmie.v2i3.84>.
2. Watson C., Troynikov O., Lingard H. Design considerations for low-level risk personal protective clothing: a review // Industrial Health. 2019. No 57. P. 306-325. <https://uzjournals.edu.uz/tma/vol2020/iss1/11>.
3. Hazardous mineral mining: Challenges and solutions / S. Rebello, N.A. Anoopkumar, E.M. Aneesh et al. // Journal of Hazardous Materials. 2020. 123474. <https://doi.org/10.18280/ijss.110403>.
4. Relationship between occupational risk and personal protective equipment on the example of ferroalloy production / S. Abikenova, G. Daumova, A. Kurmanbayeva et al. // International Journal of Safety and Security Engineering. 2022. No 12(5). P. 609-614. <https://doi.org/10.18280/ijss.120509>.
5. Проект промышленной разработки месторождения «Жайсан» подземным способом отработки. Фонды ГПИ. Астана, 2014.
6. Abikenova S., Daumova G. Provision of personal protection equipment, according to the risk of exposure to harmful industrial factors during copper-polymetallic ore mining // International Journal of Safety and Security Engineering. 2023. Vol. 13. No. 1. P. 89-95. <https://doi.org/10.18280/ijss.130110>.
7. Приказ министра здравоохранения и социального развития Республики Казахстан от 8 декабря 2015 г. № 943 «Об утверждении норм выдачи специальной одежды и других средств индивидуальной защиты работникам организаций различных видов экономической деятельности».
8. Номенклатура средств индивидуальной защиты в зависимости от вредных производственных факторов и степени их воздействия. Авторское свидетельство № 28600 от 06.09.2022. Заявитель: РГКП «РНИИОТ МТСЗН РК», Астана 2022.
9. NIOSH. Filtering facepiece respirators with an exhalation valve: measurements of filtration efficiency to evaluate their potential for source control. By Portnoff L., Schall J., Brannen J., Suhon N., Strickland K., Meyers J. U.S. Department of Health and Human Services, Centers for Disease Control and Prevention, National Institute for Occupational Safety and Health, DHHS (NIOSH), 2020, No 2021-107. DOI: <https://doi.org/10.26616/NIOSH PUB2021107>.
10. Evaluation of International Respirators. [Электронный ресурс]. URL: [https://www.cdc.gov/niosh/npptl/respirators/testing/results/mtt-2020-21.2\\_international\\_ffp3\\_testreport\\_redacted-508.pdf](https://www.cdc.gov/niosh/npptl/respirators/testing/results/mtt-2020-21.2_international_ffp3_testreport_redacted-508.pdf) (дата обращения: 15.11.2023).
11. Workplace Noise: More than just "All Ears". [Электронный ресурс]. URL: <https://blogs.cdc.gov/niosh-science-blog/2018/06/28/noise-effects/> (дата обращения: 15.11.2023).

Original Paper

UDC 622.86(574):622.807:628.878 © Sh.K. Abikenova, M.B. Baizbayev, G.K. Daumova, E.A. Kulmagambetova, 2023  
ISSN 0041-5790 (Print) • ISSN 2412-8333 (Online) • Ugol' – Russian Coal Journal, 2023, № 12, pp. 55-59  
DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2023-12-55-59>

### Title

**ON THE NEW APPROACH TO SELECTING PERSONAL PROTECTIVE EQUIPMENT AGAINST NEGATIVE EFFECTS OF THE DUST AND NOISE EXPOSURE**

### Authors

Abikenova Sh.K.<sup>1</sup>, Baizbayev M.B.<sup>2</sup>, Daumova. G.K.<sup>3</sup>, Kulmagambetova E.A.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Republican Research Institute for Labor Protection of the Ministry of Labor and Social Protection of Population of the Republic of Kazakhstan, Astana, 010000, Republic of Kazakhstan

<sup>2</sup> Karaganda Regional Branch 'Republican Research Institute for Labor Protection' of the Ministry of Labor and Social Protection of Population of the Republic of Kazakhstan, Karaganda, 100009, Republic of Kazakhstan

<sup>3</sup> East Kazakhstan Regional Branch 'Republican Research Institute for Labor Protection' of the Ministry of Labor and Social Protection of Population of the Republic of Kazakhstan, Ust-Kamenogorsk, 070018, Republic of Kazakhstan

SAFETY

**Authors Information**

**Abikenova Sh.K.**, PhD (Physics and Mathematics), Associated Professor, Director General, Republican State Enterprise based on the Right of Economic Management, e-mail: rniiot@rniiot.kz

**Baizbayev M.B.**, PhD (Ehngineering), Corresponding Member of the National Academy of Mining Sciences of the Republic of Kazakhstan, Leading Research Associate, Republican State Enterprise based on the Right of Economic Management, e-mail: baiz76@mail.ru

**Daumova. G.K.**, PhD (Ehngineering), Associated Professor, Leading Research Associate, Republican State Enterprise based on the Right of Economic Management, e-mail: gulzhan.daumova@mail.ru

**Kulmagambetova E.A.**, PhD (Chemistry), Head of the Department of Biomonitoring and Occupational Health, e-mail: rniiot@rniiot.kz

**Abstract**

The article discusses the issues of ensuring the relevance of personal protective equipment (PPE) with due account of the occupational risks concerned with various types and spectrum of exposure. A mining site has been selected as a production facility for experimental research into the working conditions. The working conditions of miners are characterized with a number of hazardous production factors, with a high dust and noise pollution being the leading ones. Based on the measurements made at the workplaces, the concentration of dust at all working sites was found to be 1.05-1.37 times higher than the maximum permissible level. Thus, the workers need to be provided with PPE. Based on the comparative analysis and with due consideration of hygienic criteria, recommendations were given to introduce a new assortment of PPE depending on the presence and degree of exposure to harmful occupational factors.

**Keywords**

Occupational health and safety, Working conditions, Occupational risk, Personal protective equipment, Dust, Noise.

**References**

1. Kruzhilko O., Maystrenko V., Tkalych I., Polukarov Yu., Kalinchyk V.P., Neklonskyi I. & Ryzhchenko O. Study of the harmful factors influence on the occupational risk level: the example of the Ukrainian mining industry. *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering*, 2022, (110/1), pp. 35-41. <https://doi.org/10.33544/mjmie.v2i3.84>.
2. Watson C., Troynikov O. & Lingard H. Design considerations for low-level risk personal protective clothing: a review. *Industrial Health*, 2019, (57), pp. 306-325. <https://uzjournals.edu.uz/tma/vol2020/iss1/11>.
3. Rebello S., Anoopkumar N.A., Aneesh E.M., Raveendran S., Parameswaran B., Kim S.H. & Pandey A. Hazardous mineral mining: Challenges and solutions. *Journal of Hazardous Materials*, 2020, 123474. <https://doi.org/10.18280/ijss.110403>.
4. Abikenova S., Daumova G., Kurmanbayeva A., Yesbenbetova Z. & Kazbekova D. Relationship between occupational risk and personal protective equipment on the example of ferroalloy production. *International Journal of Safety and Security Engineering*, 2022, 12(5): 609-614. <https://doi.org/10.18280/ijss.120509>.
5. Project of commercial development of the Zhaisan deposit using the underground mining method. Funds of the State Design Institute, Astana, 2014.
6. Abikenova S. & Daumova G. Provision of personal protection equipment, according to the risk of exposure to harmful industrial factors during copper-polymetallic ore mining. *International Journal of Safety and Security Engineering*, 2023, Vol. 13, (1), pp. 89-95. <https://doi.org/10.18280/ijss.130110>.
7. Order of the Minister of Health and Social Development of the Republic of Kazakhstan as of December 8, 2015, № 943 "On approval of norms for provision of special clothing and other personal protective equipment to employees of organizations of various types of economic activity".
8. The list of personal protective equipment depending on harmful occupational factors and the degree of their impact. Certificate of Authorship No 28600 as of 06.09.2022 Applicant: Republican Research Institute for Labor Protection of the Ministry of Labor and Social Protection of Population of the Republic of Kazakhstan, Astana 2022.

9. NIOSH. Filtering facepiece respirators with an exhalation valve: measurements of filtration efficiency to evaluate their potential for source control. By Portnoff L., Schall J., Brannen J., Suhon N., Strickland K., Meyers J. U.S. Department of Health and Human Services, Centers for Disease Control and Prevention, National Institute for Occupational Safety and Health, DHHS (NIOSH), 2020, 2021-107. DOI: <https://doi.org/10.26616/NIOSH/PUB2021107>.
10. Evaluation of International Respirators. [Electronic resource]. Available at: [https://www.cdc.gov/niosh/npptl/respirators/testing/results/mtt-2020-21.2\\_international\\_ffp3\\_testreport\\_redacted-508.pdf](https://www.cdc.gov/niosh/npptl/respirators/testing/results/mtt-2020-21.2_international_ffp3_testreport_redacted-508.pdf) (accessed 15.11.2023).
11. Workplace Noise: More than just "All Ears". [Electronic resource]. Available at: <https://blogs.cdc.gov/niosh-science-blog/2018/06/28/noise-effects/> (accessed 15.11.2023).

**Acknowledgements**

The article describes the results of scientific research obtained during implementation of the scientific and technical program entitled 'Risk-oriented organizational and economic mechanisms to ensure labor safety in conditions of contemporary Kazakhstan' (IRN OR11865833) under the program-targeted research funding of the Republican Research Institute for Labor Protection of the Ministry of Labor and Social Protection of Population of the Republic of Kazakhstan.

**For citation**

Abikenova Sh.K., Baizbayev M.B., Daumova G.K. & Kulmagambetova E.A. On the new approach to selecting personal protective equipment against negative effects of the dust and noise exposure. *Ugol'*, 2023, (12), pp. 55-59. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2023-12-55-59.

**Paper info**

Received October 2, 2023

Reviewed November 10, 2023

Accepted November 27, 2023

РЕКЛАМА

НПП ЗАВОД МДУ

ООО НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ  
«ЗАВОД МОДУЛЬНЫХ  
ДЕГАЗАЦИОННЫХ УСТАНОВОК»

**ОБОРУДОВАНИЕ  
ДЛЯ ДЕГАЗАЦИИ И УТИЛИЗАЦИИ  
МЕТАНА**

**МЕТАН ПОД КОНТРОЛЕМ!**

РОССИЯ  
Г. НОВОКУЗНЕЦК  
ШОССЕ СЕВЕРНОЕ, 8

WWW.ZAVODMDU.RU  
INFO@ZAVODMDU.RU  
ТЕЛ.: +7 (3843) 991-991

# Оценка эффективности пылеподавления с использованием смачивающих растворов

DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2023-12-60-63>

## РЫБИЧЕВ А.А.

Аспирант НИТУ МИСИС,  
119049, г. Москва, Россия,  
e-mail: rybichev@yandex.ru

## ПЕРНЕБЕК Б.П.

Аспирант НИТУ МИСИС,  
119049, г. Москва, Россия,  
e-mail: pbektur@mail.ru

Актуальность проблемы обоснована совершенствованием системы пылевзрывобезопасности угольных шахт за счет определения оптимальных концентраций смачивателя при его применении для увлажнения угольных пластов. Рекомендуемые концентрации смачивателей в растворе составляют 0,05–0,15%. Было проведено три серии экспериментов для нахождения оптимальной концентрации смачивателя с целью снижения пылеобразующей способности угля. В первой серии опытов определялась критическая концентрация мицеллообразования смачивателя «Неолас»; во второй – определялась концентрация смачивателя, при которой при разрушении обработанного угля был наименьший выход тонких фракций пыли и наибольший выход крупных пылевых частиц; в третьей – рассчитывалась пылеобразующая способность угля и определялась оптимальная концентрация смачивателя. Установлено, что при концентрации смачивателя 0,2–0,3% пылеобразующая способность угля имеет минимальное значение.

**Ключевые слова:** уголь, угольная пыль, критическая концентрация мицеллообразования, пылеобразующая способность угля, смачиватель.

**Для цитирования:** Рыбичев А.А., Пернебек Б.П. Оценка эффективности пылеподавления с использованием смачивающих растворов // Уголь. 2023. №. 12 С. 60–63. DOI: 10.18796/0041-5790-2023-12-60-63.

## ВВЕДЕНИЕ

В соответствии с программой развития угольной отрасли РФ объемы добычи угля увеличиваются. Это потребует дальнейшего повышения интенсивности ведения горных работ, обеспечивающей увеличение нагрузки на очистные забои, что, естественно, вызовет интенсификацию процессов газопылевыделения, пылеотложения [1, 2]. Значительные пылеотложения, даже в малогазовых шахтах, могут превращать взрывы небольшого количества метана во взрывы большой мощности, что и произошло в ноябре 2021 г. на шахте «Листвяжная» в Кузбассе [3, 4]. Следовательно, интенсификация процессов ведения горных работ возможна за счет совершенствования всех составляющих: техники, технологии, шахтных многофункциональных систем безопасности, включающих обеспечение аэрологической безопасности [5, 6, 7].

Для повышения эффективности связывания пыли используются растворы поверхностно-активных веществ (ПАВ) [8, 9]. Известно, что уголь является гидрофобным веществом и плохо смачивается водой. Для повышения эффективности смачивания угля и угольной пыли широко используются смачивающие растворы, такие как «Синтанол», «Неолас», «Эльфор-М» и др. Рекомендуемые концентрации их в растворе составляют 0,05–0,15%, рассчитываемые по критической концентрации мицеллообразования (ККМ). Если концентрация растворов больше ККМ, то растворы ПАВ способны образовывать термодинамически устойчивые лиофильные коллоидные растворы, что повышает эффективность процессов смачивания.

Другое дело, это процессы взаимодействия ПАВ с углем, которые зависят как от свойств ПАВ, так и от свойств угля: влажности, петрографического состава, сорб-

ционной способности, коллекторских свойств, газового состава углей, включающего наличие тяжелых углеводородов и др. [10, 11]. Эти показатели определяют процессы адсорбционного взаимодействия растворов смачивателей и угля, определяют так называемую площадь «посадки» молекулы ПАВ. К наиболее плохо смачиваемым углям относятся угли средней стадии метаморфизма, поэтому в дальнейших исследованиях использовался уголь марки «Ж».

**ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ**

Для оценки эффективности пылеподавления с использованием смачивателей были проведены лабораторные опыты по смачиванию угля пласта Е-5, разрабатываемого шахтой «Осинниковская». Исследования включали проведение трех серий экспериментов и нахождение оптимальной концентрации смачивателя. В первой серии опытов определялась ККМ смачивателя; во второй – определялась концентрация смачивателя, при которой при разрушении обработанного угля был наименьший выход тонких фракций пыли и наибольший выход крупных пылевых частиц; в третьей – рассчитывалась пылеобразующая способность угля и определялась оптимальная концентрация смачивателя.

Качественные показатели пласта Е-5: марка – Ж, влажность – 2,8%; выход летучих веществ – 32,1%; зольность – 8,3%; содержание серы – 0,48%; удельное пылевыделение – 1100 г/т; нижний предел взрывчатости пыли – 36 г/т. Навески угля (масса одной навески – 10 граммов) помещались в сосуды, заполненные чистой водой и рабочей жидкостью, с концентрациями смачивателя «Неолас» от 0,15 до 1,0% и выдерживались при температуре 20°C в течение 24 ч. Объем исследуемой жидкости был одинаков во всех опытах (50 мл).

Из анализа данных (рис. 1) следует, что ККМ составляет 0,05%. Визуально на графике в точке (при концентрации 0,05%), соответствующей ККМ, происходит резкое снижение поверхностного натяжения раствора смачивателя в 1,89 раза, почти в два раза.

Вторая часть исследований касалась оценки эффективности концентрации смачивателя в процессах снижения пылеобразования. Были подготовлены «сухие» образцы угля, которые не смачивались ни чистой водой, ни растворами смачивателя.

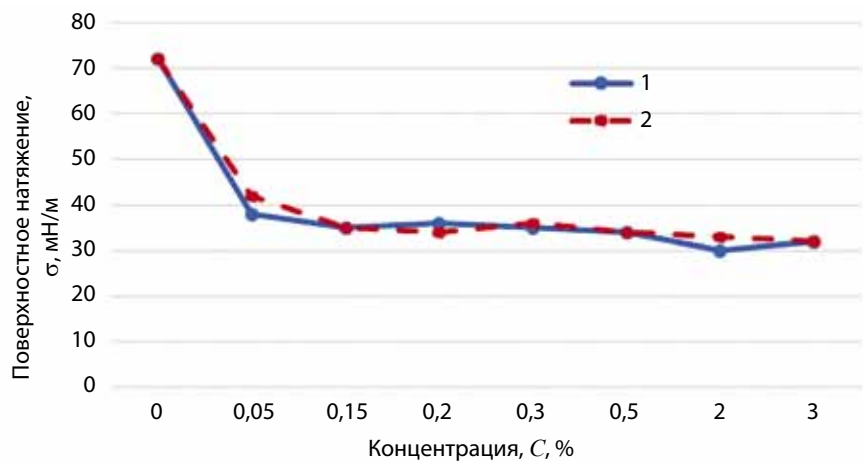


Рис. 1. Определение критической концентрации мицеллообразования: 1 – эталонное поверхностное натяжение смачивателя, 2 – поверхностное натяжение смачивателя после взаимодействия с углем  
 Fig. 1. Determination of the critical concentration in micelle formation: 1 – reference surface tension of the wetting agent, 2 – surface tension of the wetting agent after interaction with carbon

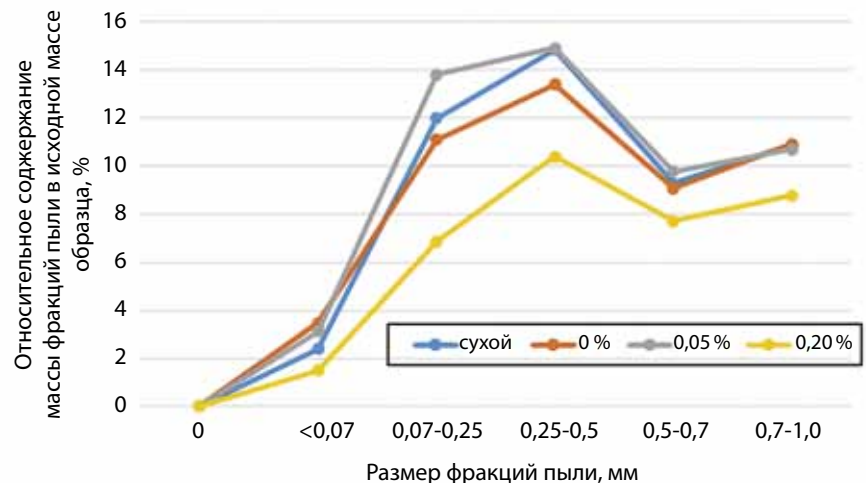


Рис. 2. Фракционный состав продуктов разрушения угля  
 Fig. 2. Fractional composition of coal breaking products

Как следует из анализа литературных источников, фракционный состав угольной пыли оказывает значительное влияние на взрывоопасность воздуха в угольных шахтах [12, 13].

Анализ данных (рис. 2) показывает, что выход тонких фракций пыли при разрушении образца угля, увлажненного двухпроцентным содержанием раствора смачивателя, меньше в 2,01 раза, а выход крупных фракций – больше в 1,4 раза, что свидетельствует об эффективности увлажнения угля концентрацией смачивателя 0,2%.

В проведении третьей серии экспериментов оценивалась пылеобразующая способность угля, увлажненного концентрацией смачивателя в диапазоне (%): 0,05; 0,2; 0,5; 0,7; 1,0. И рассчитывалась их пылеобразующая способность по методу сбрасывания груза. Из анализа данных (рис. 3) следует, что оптимальное значение пылеобразующей способности угля находится в интервале концентраций смачивателя 0,2-0,3%.

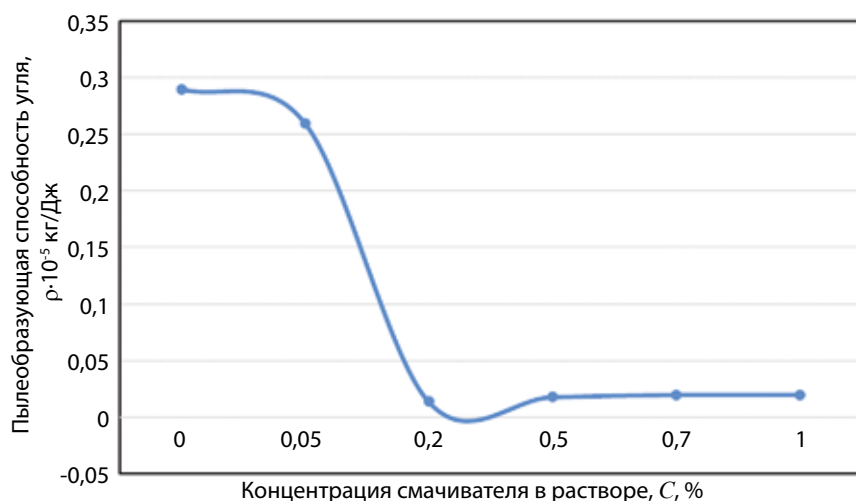


Рис. 3. Оценка эффективности пылеподавления от концентрации смачивателя

Fig. 3. Estimation of dust suppression efficiency depending on concentration of the wetting agent

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Для снижения аэрологических рисков взрыва метана и угольной пыли необходимо управлять свойствами и состоянием угольного массива, для чего используются гидравлическое воздействие на угольные пласты в режиме фильтрации или гидрорасчленения, дегазация, тепловое и физико-химическое воздействия и др. [14, 15]. Среди физико-химических способов в настоящее время широко используется применение ПАВ. Увлажнение угольного массива растворами смачивателей в концентрациях, соответствующих сорбционным емкостям угля, будет обеспечивать увлажнение плохо смачиваемых углей (коксоующихся углей) [16].

Установлено, что критической концентрацией мицеллообразования для смачивателя «Неолас» является концентрация 0,05%. Выход тонких фракций пыли при разрушении образца угля, увлажненного двухпроцентным содержанием раствора смачивателя, меньше в 2,01 раза, а выход крупных фракций – больше в 1,4 раза. В интервале концентраций смачивателя 0,2–0,3% пылеобразующая способность угля имеет минимальное значение, что свидетельствует об эффективности увлажнения угля концентрацией смачивателя 0,2%.

## Список литературы

1. Обеспечение пылевзрывобезопасности подземных горных выработок в угольных шахтах: методы и современные тенденции / А.В. Корнев, А.А. Спицын, Г.И. Коршунов и др. // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2023. № 3. С. 133-149. DOI: 10.25018/0236-1493-2023-3-0-133.
2. Баловцев С.В., Скопинцева О.В. Научно обоснованные технологические решения по снижению аэрологических рисков на действующих и проектируемых угольных шахтах // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2023. № 2. С. 139-151. DOI: 10.25018/0236-1493-2023-2-0-139.

3. Рыбичев А.А. К вопросу оценки влияния тяжелых углеводородов на взрывчатость пылеметановоздушных смесей // Уголь. 2023. № 2. С. 41-44. DOI: 10.18796/0041-5790-2023-2-41-44.

4. Superposition risk assessment of the working position of gas explosions in chinese coal mines / F. Li, X. He, Yue Zhang et al. // Process Safety and Environmental Protection. 2022. Vol. 167. P. 274-283. DOI: 10.1016/j.psep.2022.09.017.

5. Методические основы синтеза моделей развития горных работ для управления процессом воспроизводства очистного фронта угольных шахт / Ю.Н. Кузнецов, Д.А. Стадник, Н.М. Стадник и др. // Устойчивое развитие горных территорий. 2022. Т. 14. № 4. С. 685-694. DOI: 10.21177/1998-4502-2022-14-4-685-694.

6. Research and practice of intelligent coal mine technology systems in China / G. Wang, H. Ren, G. Zhao et al. // International Journal

of Coal Science & Technology. 2022, Vol. 9. Article 24. DOI: 10.1007/s40789-022-00491-3.

7. Баловцев С.В., Скопинцева О.В., Куликова Е.Ю. Оценка влияния тяжелых углеводородов на аэрологические риски аварий в угольных шахтах // Устойчивое развитие горных территорий. 2023. Т. 15. № 2. С. 234–245. DOI: 10.21177/1998-4502-2023-15-2-234-245.
8. Оценка прогнозной запыленности в забоях угольных шахт с учетом особенностей смачиваемости угольной пыли / А.В. Корнев, Н.В. Ледяев, Е.И. Кабанов и др. // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2022. № 6–2. С. 115-134. DOI: 10.25018/0236-1493-2022-62-0-115.
9. Математическое моделирование массопереноса в коллоидных системах / А.Э. Филин, С.В. Тertyчная, И.Ю. Курносов и др. // Уголь. 2023. № 5. С. 72-76. DOI: 10.18796/0041-5790-2023-5-72-76.
10. Abnormal concentration and origin of heavy hydrocarbon in upper permian coal seams from Enhong syncline, Yunnan, China / F. Lan, Y. Qin, M. Li et al. // Journal of Earth Science. 2012. No 23. P. 842-853. DOI: 10.1007/s12583-012-0294-x.
11. Sun X., Hu Y., Li D. Research on the geochemical characteristics of coalbed methane and relationship between gas-logging and measured gas component in Guxu mine of southern Sichuan coalfield, China // Arabian Journal of Geosciences. 2021. No 14. 2128. DOI: 10.1007/s12517-021-08298-3.
12. Analysis of the fractional composition of coal dust and its effect on the explosion hazard of the air in coal mines / V. Rodionov, M. Tumanov, I. Skripnik et al. / IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2022. 981(3). 032024. DOI: 10.1088/1755-1315/981/3/032024.
13. Determination of kinetic parameters and conditions of the spontaneous combustion of coal during its transportation / V. Rodionov, I. Skripnik, Yu. Ksenofontov et al. / AIP Conference Proceedings. 2022. 2467. 080004. DOI: 10.1063/5.0093906.
14. Тарасенко И.А., Куликова А.А., Ковалева А.М. К вопросу оценки автоматизации контроля параметров метановоздушной смеси // Уголь. 2022. № 11. С. 80-84. DOI: 10.18796/0041-5790-2022-11-80-84.



15. Лебедев В.С., Скопинцева О.В. Остаточные газовые компоненты угольных пластов: состав, содержание, потенциальная опасность // Горный журнал. 2017. № 4 С. 84-86. DOI: 10.17580/gzh.2017.04.17.
16. Павленко М.В., Скопинцева О.В. О роли капиллярных сил при вибровоздействии на гидравлически обработанный газонасыщенный угольный массив // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2019. № 3. С. 43-50. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-03-0-43-50.

## Original Paper

UDC 622.807 © A.A. Rybichev, B.P. Pernebek, 2023

ISSN 0041-5790 (Print) • ISSN 2412-8333 (Online) • Ugol' – Russian Coal Journal, 2023, № 12, pp. 60-63

DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2023-12-60-63>

## Title

## EVALUATION OF THE EFFICIENCY OF DUST SUPPRESSION WITH THE USE OF WET SOLUTIONS

## Authors

Rybichev A.A.<sup>1</sup>, Pernebek B.P.<sup>1</sup><sup>1</sup> National University of Science and Technology "MISIS" (NUST "MISIS"), Moscow, 119049, Russian Federation

## Authors Information

**Rybichev A.A.**, Postgraduate student, e-mail: [rybichev@yandex.ru](mailto:rybichev@yandex.ru)**Pernebek B.P.**, Postgraduate student, e-mail: [pbektur@mail.ru](mailto:pbektur@mail.ru)

## Abstract

The urgency of the problem is substantiated by the improvement of the system of dust and explosion safety of coal mines by determining the optimal concentrations of the wetting agent when it is used to moisten coal seams. The recommended concentrations of wetting agents in the solution are 0,05–0,15%. Three series of experiments were carried out to find the optimal concentration of the wetting agent in order to reduce the dust-forming ability of coal. In the first series of experiments, the critical concentration of micellization of the wetting agent "Neolas" was determined; in the second, the concentration of the wetting agent was determined, at which, during the destruction of the treated coal, there was the smallest yield of fine dust fractions, and the largest yield of large dust particles; in the third, the dust-forming capacity of coal was calculated and the optimal concentration of the wetting agent was determined. It has been established that the dust-forming ability of coal has a minimum value in the range of wetting agent concentrations of 0,2-0,3%.

## Keywords

Coal, Coal dust, Critical micelle concentration, Dust-forming capacity of coal, Wetting agent.

## References

- Kornev A.V., Spitsyn A.A., Korshunov G.I. & Bazhenova V.A. Preventing dust explosions in coal mines: Methods and current trends. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.*, 2023;(3):133-149. (In Russ.). DOI: 10.25018/0236-1493-2023-3-0-133.
- Balovtsev S.V. & Skopintseva O.V. Science-based technological solutions for aerological risks reducing in operating and designing coal mines. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.*, 2023;(2):139-151. (In Russ.). DOI: 10.25018/0236-1493-2023-2-0-139.
- Rybichev A.A. On the question of evaluation of the influence of heavy hydrocarbons on the explosibility of dust-methane-air mixtures. *Ugol'*, 2023, (2), pp. 41-44. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2023-2-41-44.
- Li F., He X., Zhang Yue, Wang Ch., Tang Jia & Sun R. Superposition risk assessment of the working position of gas explosions in chinese coal mines. *Process Safety and Environmental Protection*, 2022, (167), pp. 274-283. DOI: 10.1016/j.psep.2022.09.017.
- Kuznetsov Yu.N., Stadnik D.A., Stadnik N.M. & Shadyzheva E.B. Methodological bases for synthesis operation models for control of the reproduction process of the advancing faces of coal mines. *Sustainable Development of Mountain Territories*, 2022;14(4):685-694. (In Russ.). DOI: 10.21177/1998-4502-2022-14-4-685-694.
- Wang G., Ren H., Zhao G., Zhang D., Wen Z., Meng L. & Gong Sh. Research and practice of intelligent coal mine technology systems in China. *International Journal of Coal Science & Technology*, 2022, (9), article 24. DOI: 10.1007/s40789-022-00491-3.

- Balovtsev S.V., Skopintseva O.V. & Kulikova E.Yu. Assessment of heavy hydrocarbons influence on aerological risks in coal mines. *Sustainable Development of Mountain Territories*, 2023;15(2):234-245. (In Russ.). DOI: 10.21177/1998-4502-2023-15-2-234-245.
- Kornev A.V., Ledyayev N.V., Kabanov E.I. & Korneva M.V. Estimation of predictive dust content in the faces of coal mines taking into account the peculiarities of the wettability of coal dust. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.*, 2022;(6-2):115-134. (In Russ.). DOI: 10.25018/0236-1493-2022-62-0-115.
- Filin A.E., Tertychnaya S.V., Kurnosov I.Yu. & Kolesnikova L.A. Mathematical modeling of mass transfer in colloidal systems. *Ugol'*, 2023, (5), pp. 72-76. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2023-5-72-76.
- Lan F., Qin Y., Li M., Lin Yu., Wang A. & Shen J. Abnormal concentration and origin of heavy hydrocarbon in upper permian coal seams from Enhong syncline, Yunnan, China. *Journal of Earth Science*, 2012, (23), 842-853. DOI: 10.1007/s12583-012-0294-x.
- Sun X., Hu Y. & Li D. Research on the geochemical characteristics of coalbed methane and relationship between gas-logging and measured gas component in Guxu mine of southern Sichuan coalfield, China. *Arabian Journal of Geosciences*, 2021, (14), 2128. DOI: 10.1007/s12517-021-08298-3.
- Rodionov V., Tumanov M., Skripnik I., Kaverzneva T. & Pshenichnaya C. Analysis of the fractional composition of coal dust and its effect on the explosion hazard of the air in coal mines. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2022, 981(3), 032024. DOI: 10.1088/1755-1315/981/3/032024.
- Rodionov V., Skripnik I., Ksenofontov Yu., Kaverzneva T., Idrisova J. & Alibekova I. Determination of kinetic parameters and conditions of the spontaneous combustion of coal during its transportation. AIP Conference Proceedings, 2022, 2467, 080004. DOI: 10.1063/5.0093906.
- Tarasenko I.A., Kulikova A.A. & Kovaleva A.M. On the issue of assessing the automation of control of the parameters of the methane-air mixture. *Ugol'*, 2022, (11), pp. 80-84. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2022-11-80-84.
- Lebedev V.S. & Skopintseva O.V. Residual coalbed gas components: Composition, content, hazard. *Gornyi Zhurnal*, 2017, (4), pp. 84-86. (In Russ.). DOI: 10.17580/gzh.2017.04.17.
- Pavlenko M.V. & Skopintseva O.V. Role of capillary forces in vibratory action on hydraulically treated gas-saturated coal. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.*, 2019;(3):43-50. (In Russ.). DOI: 10.25018/0236-1493-2019-03-0-43-50.

## For citation

Rybichev A.A. & Pernebek B.P. Evaluation of the efficiency of dust suppression with the use of wet solutions. *Ugol'*, 2023, (12), pp. 60-63. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2023-12-60-63.

## Paper info

Received September 4, 2023

Reviewed November 10, 2023

Accepted November 27, 2023

## SAFETY

# Математическое обеспечение информационной системы анализа процесса разрушения трещиноватой кровли на угольных месторождениях

DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2023-12-64-66>

## ХАЛКЕЧЕВ Р.К.

Доктор техн. наук, профессор кафедры  
инфокоммуникационных технологий  
НИТУ МИСИС,  
119049, г. Москва, Россия,  
e-mail: syrus@list.ru

## ХАЛКЕЧЕВ К.В.

Доктор физ.-мат. наук,  
доктор техн. наук,  
профессор кафедры геологии и  
маркшейдерского дела НИТУ МИСИС,  
119049, г. Москва, Россия,  
e-mail: h\_ketal@mail.ru

## ЛЕВКИН Ю.М.

Доктор техн. наук,  
профессор Московского  
политехнического университета,  
член Союза маркшейдеров России,  
105064, г. Москва, Россия,  
e-mail: lev5353@bk.ru

## КУЗЬМЕНКО С.Ю.

Канд. техн. наук, преподаватель  
Университетского колледжа  
информационных технологий  
Московского государственного  
университета технологий  
и управления имени К.Г. Разумовского  
(Первый казачий университет),  
109004, г. Москва, Россия,  
e-mail: svetik-semicvetik3@yandex.ru

С целью разработки математического обеспечения информационной системы анализа процесса разрушения трещиноватой кровли на угольных месторождениях построена математическая модель. К основным особенностям данной модели необходимо отнести следующее. Одна из них говорит об адекватности модели, в которой учитывается взаимодействие трещин между собой. Вторая особенность связана с полученным результатом в виде управляющего параметра, что позволяет считать математическую модель математическим обеспечением информационной системы. Из анализа экспериментов сделаны следующие выводы: распространение трещин в геоматериалах обусловлено взаимодействием вершины трещины с ансамблем движущихся микродефектов под действием внешних нагрузок; управляющими параметрами являются длина и скорость распространения трещины, скорость и расстояние между движущимися микродефектами. Применяя метод размерностей, получен безразмерный управляющий параметр. Значения данного параметра определяют процессы устойчивого и неустойчивого распространения системы трещин.

**Ключевые слова:** математическая модель, информационная система, управляющие параметры, распространение трещин, устойчивость, угольное месторождение, кровля, метод размерностей, микродефекты.

**Для цитирования:** Математическое обеспечение информационной системы анализа процесса разрушения трещиноватой кровли на угольных месторождениях / Р.К. Халкечев, К.В. Халкечев, Ю.М. Левкин и др. // Уголь. 2023. № 12. С. 64-66. DOI: 10.18796/0041-5790-2023-12-64-66.

## ВВЕДЕНИЕ

На угольных месторождениях, большинство которых относятся к пластовым, наибольшее распространение получили камерные системы разработки. При этом лимитирующим элементом, состояние которого предопределяет состояние всех остальных элементов системы разработки, часто является кровля выработок. Это обусловлено тем, что именно в кровле начинается процесс разрушения, поскольку именно здесь в первую очередь возможно образование областей растягивающих напряжений, в которых идет образование новых и распространение существующих трещин.

Образование новых трещин тесно связано с напряженно-деформированными состояниями различных элементов системы разработок, ис-

следованию которых посвящен ряд работ; в них получены заметные результаты [1, 2, 3, 4]. Что же касается роста трещин, то распространению одиночных посвящены работы, которые стали классическими [5]. В то время как рост ансамбля трещин, который наблюдается в кровле, как показывает опыт, не может быть исследован в достаточной мере экспериментальными и натурными методами [6, 7, 8].

Единственно возможным вариантом является математическое моделирование, позволяющее определить процесс разрушения трещиноватой кровли на угольных месторождениях, что, в свою очередь, будет играть роль математического обеспечения соответствующей информационной системы.

подавляющее большинство существующих математических моделей в данном направлении не учитывают взаимное влияние трещин при их распространении [9, 10, 11, 12]. И все без исключения математические модели не могут служить математическим обеспечением, поскольку в результате не получены управляющие параметры процесса разрушения трещиноватой кровли.

### ОСНОВНОЙ РАЗДЕЛ

Построим содержательную модель, на основе которой представится возможность разработки математической модели распространения трещин в области растягивающих напряжений в кровле, определяющей процесс разрушения.

Из экспериментальных фактов можно сделать следующие уточняющие выводы, которые необходимы при построении математической модели: распространение трещин в геоматериалах обусловлено взаимодействием вершины трещины с ансамблем микродефектов, каждый из которых находится в движении под действием внешних нагрузок; параметрами, однозначно характеризующими данную систему, являются длина и скорость распространения трещины, скорость и расстояние между движущимися микродефектами; под действием возрастающих внешних нагрузок происходит дрейф микродефектов к вершине трещины.

В рамках вышеприведенных рассуждений о содержательной модели построим математическую модель. Из трещиноватой области выделим трещины, пересекающиеся и не пересекающиеся между собой. Очевидно, что моделирование первых приводит к тривиальным результатам. Поэтому имеет смысл рассмотреть растущие трещины, близкие к параллельным, которые не могут пересечься внутри рассматриваемой области. Не теряя общности, выберем две такие трещины, которые размещены в одном и том же геоматериале кровли. Причем эти трещины макроскопических размеров. Применим метод размерностей.

Пусть  $l_1$  и  $l_2$  – первоначальная длина первой и второй трещины соответственно;  $s_1$  и  $s_2$  – расстояние между движущимися микродефектами в направлении кончика первой и второй трещин соответственно;  $V_1$  и  $V_2$  – скорость распространения первой и второй трещины соответственно;  $v_1$  и  $v_2$  – скорость движения микродефектов к первой и второй трещинам.

Из экспериментальных данных, приведенных выше, и согласно выбранной модели очевидно, что в качестве определяющих параметров для каждой трещины можно взять следующую систему соответственно:

$$(l_1, V_1, v_1, s_1); (l_2, V_2, v_2, s_2). \quad (1)$$

Численные значения всех остальных величин определяются полностью значениями этих параметров. Следовательно, можно записать:

$$k_1 = k_1(l_1, V_1, v_1, s_1); k_2 = k_2(l_2, V_2, v_2, s_2). \quad (2)$$

Численные значения функции  $k$  не должны зависеть от системы единиц измерения. Из четырех определяющих параметров (1) можно образовать только одну независимую безразмерную комбинацию для каждой трещины:

$$k_1 = \frac{l_1 v_1}{V_1 s_1}; k_2 = \frac{l_2 v_2}{V_2 s_2}. \quad (3)$$

Все безразмерные величины, зависящие от указанных четырех параметров, являются функциями числа  $k_1$  и  $k_2$  соответственно. При малых значениях чисел  $k_1 < 1$  и  $k_2 < 1$  распространение обеих трещин устойчиво, а для значений  $k_1 \geq 1$  и  $k_2 \geq 1$  – неустойчиво. Таким образом, например, при  $k_1 > k_2$  и  $k_1 < 1, k_2 < 1$  трещины распространяются устойчиво; причем первая из них стремится к своему неустойчивому состоянию быстрее, чем вторая. При этом вторая трещина под влиянием первой приостанавливает свое распространение.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработана математическая модель распространения трещин с учетом взаимного влияния в области растягивающих напряжений в кровле. Поскольку в результате получен управляющий параметр, однозначно характеризующий устойчивое и неустойчивое распространение трещин, а значит, и процесс разрушения кровли, то разработанная математическая модель может служить основой математического обеспечения информационной системы анализа процесса разрушения трещиноватой кровли на угольных месторождениях.

### Список литературы

1. Халкечев К.В., Халкечев Р.К., Левкин Ю.М. Математическая модель поля напряжений в целиках с учетом магистральной трещины на угольных месторождениях // Уголь. 2023. № 7. С. 56-58. DOI: 10.18796/0041-5790-2023-7-56-58.
2. Халкечев Р.К., Левкин Ю.М., Халкечев К.В. Разработка математической модели поля напряжений в целиках слоистой текстуры на угольных месторождениях // Уголь. 2023. № 8. С. 84-86. DOI: 10.18796/0041-5790-2023-8-84-86.
3. Халкечев Р.К., Халкечев К.В. Математическое моделирование неоднородного упругого поля напряжений породного массива кристаллической блочной структуры // Горный журнал. 2016. № 3. С. 200-205. DOI: 10.17580/gzh.2016.03.05.
4. Халкечев Р.К. Применение теории мультифрактального моделирования процессов деформирования и разрушения породных массивов с целью краткосрочного прогнозирования внезапных выбросов угля и газа // Уголь. 2019. № 7. С. 48-50. DOI: 10.18796/0041-5790-2019-7-48-50.
5. Черепанов Г.П. Механика хрупкого разрушения. М: Наука, 1974. 640 с.
6. Wiens T., Islam M.S. Using acoustic impacts and machine learning for safety classification of mine roofs // International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences. 2021. Vol. 147. Article 104912. DOI: 10.1016/j.ijrmmms.2021.104912.

7. Asymmetrical distribution of roof microseismicity and its application to roof control of a deep longwall panel / Z. Wang, W. Sun, S. Yang et al. // *Journal of Applied Geophysics*. 2023. Vol. 215. Article 105142. DOI: 10.1016/j.jappgeo.2023.105142.
8. Левкин Ю.М. Использование технологии дистанционного зондирования и математического моделирования для анализа аварийных горных выработок // *Уголь*. 2022. № 6. С. 32-34. DOI: 10.18796/0041-5790-2022-6-32-34.
9. Abousleiman R., Walton G., Sinha S. Understanding roof deformation mechanics and parametric sensitivities of coal mine entries using the discrete element method // *International Journal of Mining Science and Technology*. 2020. Vol. 30. P. 123-129. DOI: 10.1016/j.ijmst.2019.12.006.
10. Eremin M., Esterhuizen G., Smolin I. Numerical simulation of roof cavings in several Kuzbass mines using finite-difference continuum damage mechanics approach // *International Journal of Mining Science and Technology*. 2020. Vol. 30. P. 157-166. DOI: 10.1016/j.ijmst.2020.01.006.
11. Stress distribution of mine roof with the boundary element method / R. Wu, J.H. Xu, C. Li et al. // *Engineering Analysis with Boundary Elements*. 2015. Vol. 50. P. 39-46. DOI: 10.1016/j.enganabound.2014.07.009.
12. Кузин Е.А., Халкечев К.В. Определение управляющих пространственно-геометрических параметров устойчивых горных выработок // *Уголь*. 2020. № 9. С. 65-67. DOI: 10.18796/0041-5790-2020-9-65-67.

Original Paper

UDC 622.272:658.012.122:51.001.57 © R.K. Khalkechev, K.V. Khalkechev, Yu.M. Levkin, S.Yu. Kuzmenko, 2023  
 ISSN 0041-5790 (Print) • ISSN 2412-8333 (Online) • Ugol' – Russian Coal Journal, 2023, № 12, pp. 64-66  
 DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2023-12-64-66>

**Title**  
**MATHEMATICAL SUPPORT OF THE INFORMATION SYSTEM FOR ANALYZING THE PROCESS OF FRACTURED ROOF DESTRUCTION IN COAL FIELDS**

#### Authors

Khalkechev R.K.<sup>1</sup>, Khalkechev K.V.<sup>1</sup>, Levkin Yu.M.<sup>2</sup>, Kuzmenko S.Yu.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> National University of Science and Technology "MISIS" (NUST "MISIS"), Moscow, 119049, Russian Federation

<sup>2</sup> Moscow Polytechnic University, Moscow, 105064, Russian Federation

<sup>3</sup> K.G. Razumovsky Moscow State University of Technologies and Management (the First Cossack University), Moscow, 109004, Russian Federation

#### Authors Information

**Khalkechev R.K.**, Doctor of Engineering Sciences, Professor at Subdepartment of Infocommunication technologies, e-mail: [syrus@list.ru](mailto:syrus@list.ru)

**Khalkechev K.V.**, Doctor of Physico-Mathematical Science, Doctor of Engineering Sciences, Professor at Subdepartment of Geology and Mine Surveying, e-mail: [h\\_kemal@mail.ru](mailto:h_kemal@mail.ru)

**Levkin Yu.M.**, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Member of the Russian Union of Surveyors, e-mail: [lev5353@bk.ru](mailto:lev5353@bk.ru)

**Kuzmenko S.Yu.**, PhD (Engineering), Teacher of University College of Information Technology, e-mail: [svetik-semicvetik3@yandex.ru](mailto:svetik-semicvetik3@yandex.ru)

#### Abstract

In order to develop mathematical support of information system for analyzing the process of fractured roof destruction in coal deposits, a mathematical model has been built. The main features of this model include the following. One of them points to the adequacy of the model, which takes into account the interaction of cracks with each other. The second feature is related to the result obtained in the form of a control parameter, which makes it possible to consider the mathematical model as the mathematical support of the information system. The following conclusions are drawn from the analysis of experiments: the crack propagation in geomaterials is caused by the interaction of the crack tip with an ensemble of moving microdefects under the influence of external loads; control parameters are the length and speed of crack propagation, the speed and distance between moving microdefects. Using the dimensional method, a nondimensional control parameter is obtained. Values of this parameter determine the processes of stable and unstable propagation of the crack system.

#### Keywords

Mathematical model, Information system, Control parameters, Crack propagation, Stability, Coal deposit, Mine roof, Dimensional method, Microdefects.

#### References

1. Khalkechev R.K., Khalkechev K.V. & Levkin Yu.M. Mathematical model of the stress field in the pillars with due account taken of the main crack in coal fields. *Ugol'*, 2023, (7), pp. 56-58. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2023-7-56-58.
- 2., Levkin Yu.M. & Khalkechev K.V. Mathematical model development of the stress field in the pillars stratified texture in coal deposits. *Ugol'*, 2023, (8), pp. 84-86. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2023-8-84-86.
3. Khalkechev R.K. & Khalkechev K.V. Mathematical modeling of non-uniform elastic stress field of a rock mass with crystalline block structure. *Gornyzhurnal*, 2016, (3), pp. 200-205. (In Russ.). DOI: 10.17580/gzh.2016.03.05.

4. Khalkechev R.K. Multifractal modeling theory application of rock mass deformation and destruction processes with the aim of short-term forecasting sudden coal and gas outbursts. *Ugol'*, 2019, (7), pp. 48-50. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2023-7-56-58.

5. Cherepanov G.P. Mechanics of brittle fracture. Moscow, Nauka Publ., 1974, 640 p. (In Russ.).

6. Wiens T. & Islam M.S. Using acoustic impacts and machine learning for safety classification of mine roofs. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 2021, (147), 104912. DOI: 10.1016/j.ijrmms.2021.104912.

7. Wang Z., Sun W., Yang S., Tang Y. & Liu P. Asymmetrical distribution of roof microseismicity and its application to roof control of a deep longwall panel. *Journal of Applied Geophysics*, 2023, (215), 105142. DOI: 10.1016/j.jappgeo.2023.105142.

8. Levkin Yu.M. The usage of remote sensing technology and mathematical modeling for the analysis of emergency mine workings. *Ugol'*, 2022, (6), pp. 32-34. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2022-6-32-34.

9. Abousleiman R., Walton G. & Sinha S. Understanding roof deformation mechanics and parametric sensitivities of coal mine entries using the discrete element method. *International Journal of Mining Science and Technology*, 2020, (30), pp. 123-129. DOI: 10.1016/j.ijmst.2019.12.006.

10. Eremin M., Esterhuizen G. & Smolin I. Numerical simulation of roof cavings in several Kuzbass mines using finite-difference continuum damage mechanics approach. *International Journal of Mining Science and Technology*, 2020, (30), pp. 157-166. DOI: 10.1016/j.ijmst.2020.01.006.

11. Wu R., Xu J.H., Li C., Wang Z.L. & Qin S. Stress distribution of mine roof with the boundary element method. *Engineering Analysis with Boundary Elements*, 2015, (50), pp. 39-46. DOI: 10.1016/j.enganabound.2014.07.009.

12. Kuzin E.A. & Khalkechev K.V. Determination of control spatial and geometric parameters of stable mine workings. *Ugol'*, 2020, No. 9, pp. 65-67. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2020-9-65-67.

#### For citation

Khalkechev R.K., Khalkechev K.V., Levkin Yu.M. & Kuzmenko S.Yu. Mathematical support of the information system for analyzing the process of fractured roof destruction in coal fields. *Ugol'*, 2023, (8), pp. 64-66. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2023-8-64-66

#### Paper info

Received October 26, 2023

Reviewed November 10, 2023

Accepted November 27, 2023

UNDERGROUND MINING

# Исследование и оценка технологического автотранспорта для эффективной транспортировки горной массы в глубоких карьерах

DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2023-12-67-72>

На открытых горных разработках применяются автомобили различных типов: автосамосвалы, тягачи с полуприцепами и прицепами, на некоторых карьерах – троллейвозы и дизель-троллейвозы. Наибольшее распространение получили автосамосвалы, имеющие заднюю разгрузку кузова. Полуприцепы и прицепы, работающие с тягачами, кроме задней разгрузки имеют боковую и донную. Полуприцепы в глубоких карьерах встречаются редко, так как по тяговым возможностям они непригодны для работы на крутых уклонах, кроме того, маневрирование в ограниченном рабочем пространстве крайне затруднительно. Донная разгрузка применяется в основном на автосамосвалах, предназначенных для транспортирования угля (углевозах). Поэтому для глубоких карьеров наиболее перспективны автосамосвалы с задней разгрузкой, отличающиеся необходимыми тяговыми, скоростными и маневровыми качествами. В мире на сегодняшний день известно более 10 видов большегрузных карьерных автосамосвалов, используемых на объектах горных работ. Это один из основных видов карьерного транспорта. Главными недостатками таких машин являются: осложнение необходимости добычи дополнительных объемов вскрыши для размещения транспортных коммуникаций со значительными параметрами; большой расход дизельного топлива. В связи с этим необходим изучение современных видов технологического автотранспорта, исследование и управление их экономически целесообразными эксплуатационными показателями при работе в сложных условиях глубокого карьера, а также обоснование технико-эксплуатационных параметров технологического автотранспорта.

**Ключевые слова:** транспортировка, горная масса, автосамосвал, технологический автотранспорт, карьер, эксплуатационные показатели, транспортные коммуникации, трансмиссия.

**Для цитирования:** Насиров У.Ф., Заиров Ш.Ш., Каримов Ш.В. Исследование и оценка технологического автотранспорта для эффективной транспортировки горной массы в глубоких карьерах // Уголь. 2023. № 12. С. 67-72. DOI: 10.18796/0041-5790-2023-12-67-72.

## НАСИРОВ У.Ф.

Доктор техн. наук, профессор, заместитель директора по научной работе и инновациям Алмалыкского филиала НИТУ МИСИС, 110100, г. Алмалык, Республика Узбекистан, e-mail: unasirov@yandex.ru

## ЗАИРОВ Ш.Ш.

Доктор техн. наук, профессор кафедры «Горное дело», Начальник сектора научных исследований, инноваций и подготовки научно-педагогических кадров Алмалыкского филиала НИТУ МИСИС, 110100, г. Алмалык, Республика Узбекистан, e-mail: sher-z@mail.ru

## КАРИМОВ Ш.В.

PhD, доктор философии по техническим наукам, и.о. доцента кафедры «Горное дело» Алмалыкского филиала НИТУ МИСИС 110100, г. Алмалык, Республика Узбекистан, e-mail: karimov20-13@mail.ru

**ВВЕДЕНИЕ**

Транспортировка горной массы при открытой разработке является одним из основных технологических процессов. Развитие горных работ при разработке определенного месторождения приводит к увеличению работы, выполняемой по транспортировке горной массы, и увеличению расходов на поддержание данного процесса. В глубоких карьерах расход на транспортирование горной массы из нижних горизонтов карьера до пунктов приема составляет свыше 60%.

Из практики установлено, что на каждые 100 м понижения горных работ себестоимость транспортирования самосвалами возрастает на 20-30%. Экологическая обстановка в карьере ухудшается. А неверно обоснованные параметры транспортных коммуникаций могут увеличить объемы вскрышных работ на несколько десятков миллионов кубометров [1].

Технологический автотранспорт, предназначенный для глубоких карьеров, помимо достаточной грузоподъемности и мощности, должен иметь высокие маневровые качества при работе в стесненных условиях, а также хорошую проходимость и устойчивость ввиду сложности трасс, неблагоприятных транспортно-эксплуатационных качеств участков дорог.

Одним из наиболее энергоемких процессов добычи полезных ископаемых является взрывоподготовка горной массы, которая во многом определяет эффективность и себестоимость добычи. От качества взрывной подготовки зависят результаты работы всего технологического комплекса. Для горно-геологических условий месторождения Мурунтау рекомендуется несколько схем заоткоски уступов. Главными недостатками этих схем являются: необходимость строительства и содержания транспортных коммуникаций на каждом подступе, увеличение объема БВР, что приводит к дополнительным эксплуатационным расходам и, как следствие, увеличивает стоимость подготовки горной массы к экскавации [2, 3].

В зарубежной практике наибольшее развитие специализированный карьерный автотранспорт получил в США – поставщика крупных карьерных автомобилей во многие страны. Производство карьерных автомобилей в США организовано компаниями: «UNIT RIG», «WABCO», «TEREX», «International Harvester», «Caterpillar», «Euclid», «LeTourneau-Westinghouse», «Mask» и их дочерними фирмами.

В настоящее время приоритетной при отработке глубоких горизонтов является циклично-поточная технология (ЦПТ), эффективность которой доказана опытом работы отечественных и зарубежных карьеров. Применение ЦПТ позволяет достичь высокой концентрации производства, улучшить показатели использования горнотранспортного оборудования, обеспечить высокую степень автоматизации технологических процессов и повысить эффективность работы предприятия в целом [4, 5].

В электромеханической трансмиссии, разрабатываемой ВПО «НИУ МЭИ», в качестве тяговых двигателей применяются вентильно-индукторные двигатели с независимым возбуждением. Однако, как показал опыт эксплуатации, трансмиссия переменного тока с частотно регулируемые асинхронными тяговыми двигате-

лями, получающими питание от автономных инверторов напряжения на основе IGBT-транзисторов, является наиболее эффективным решением благодаря простоте изготовления, надежности, возможности работать в широком диапазоне скоростей [6, 7].

**МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ**

В глубоких карьерах важным аспектом является выбор именно альтернативной техники, которая приспособляется к сложным горнотехническим условиям карьера. Большие объемы добычи, высокая трудоемкость и стоимость транспортирования горной массы на предприятиях с открытым способом добычи полезных ископаемых обуславливают регулярное проведение работ по повышению эффективности большегрузных карьерных автосамосвалов. Карьерные автосамосвалы большой грузоподъемности эксплуатируются в тяжелых условиях и обычно не достигают установленного заводом-изготовителем ресурса (при 450 тыс. км проектного пробега фактический пробег составляет 250-350 тыс. км) [8].

В научно-технической литературе вопросам эффективной эксплуатации большегрузного карьерного автотранспорта уделяется большое внимание. Например, в некоторых исследованиях установлены взаимосвязи параметров систем разработки с эксплуатационно-техническими параметрами автомобильного карьерного транспорта, используемого при отработке глубоких горизонтов железорудных карьеров. Установленные зависимости послужили основой для разработки нового технического решения, позволяющего взаимно адаптировать параметры систем разработки карьеров с эксплуатационно-техническими параметрами карьерных автосамосвалов, исследованы режимы работы автосамосвалов, закономерности изменения технико-эксплуатационных показателей машин в зависимости от уклонов и качества карьерных дорог и типа трансмиссии, усовершенствована методика оценки эффективного применения автосамосвалов различной грузоподъемности и т.д. [9, 10]. В конечном итоге это позволило обосновать рациональные параметры систем разработки глубоких карьеров при применении автосамосвалов усовершенствованной конструкции, обеспечивающие повышение эффективности систем разработки.

С нашей точки зрения, экономически целесообразным решением для транспортировки горной массы технологическим автотранспортом является применение метода расчетно-сравнительного анализа эксплуатационных показателей для разных моделей большегрузных карьерных автосамосвалов, исследование влияния параметров транспортных коммуникаций на выбор грузоподъемности.

Рассмотрим процесс перемещения горной массы большегрузными карьерными автосамосвалами с нижних горизонтов глубокого карьера (500 м и более) в разных сопротивлениях при подъеме на трассе. При этом уклон трассы является основным влияющим фактором при движении «спускоподъема» автосамосвалом. Учитывая данный факт и с целью получения максимальной эффективности, необходимо обосновать и выполнить расчеты эксплуатационных показателей технологического автотранспорта.

Технические характеристики большегрузных автосамосвалов

Technical specifications of heavy-duty dump trucks

Технические параметры	БелАЗ-75307	CAT-793D	XCMG XDE240	Komatsu 830E-AC
Вместимость кузова с шапкой, куб. м	130	129	147	147
Грузоподъемность, т	220	218	220	221
Мощность двигателя, кВт	1715	1801	1864	1865
Скорость (максимальная), км/ч	60	54	56	64
Трансмиссия	Электромеханическая	Гидромеханическая	Электромеханическая	Электромеханическая

Для этой цели выбраны четыре модели автосамосвалов с одинаковой грузоподъемностью (220 т) для возможного использования их в условиях глубоких карьеров. В табл. 1 приведены основные технические характеристики большегрузных автосамосвалов, которые имеют определенную оценку при выборе большегрузного автосамосвала, а также некоторые данные, используемые при ведении расчетов.

Расчеты эксплуатационных показателей автосамосвалов выполнялись в определенной последовательности по методике профессора А.А. Кулешова [11, 12].

Определение силы тяги при номинальной мощности определялась по формуле:

$$F_T = \frac{3600 \cdot N_d}{v} \eta_{тр} \cdot \eta_k \cdot \eta_{ом}, Н,$$

где  $N_d$  – номинальная мощность двигателя, кВт;  $v$  – скорость автосамосвала, км/ч;  $\eta_{тр}$  – КПД трансмиссии автосамосвала для гидромеханической трансмиссии (0,7-0,75), для электромеханической (0,75-0,8);  $\eta_k$  – КПД колеса (0,8-0,9);  $\eta_{ом}$  – КПД отбора мощности от главной передачи для питания вспомогательных систем автосамосвала (0,9-0,95).

При движении автосамосвала по подъему на него действуют силы сопротивления, которые определяются по формуле:

$$\Sigma W = W_0 \pm W_i + W_r + W_B + W_j, Н,$$

где  $W_0 = \omega_0 \cdot G_c$  – основная сила сопротивления при движении, Н;  $\omega_0$  – удельное сопротивление движению, Н/т;  $G_c$  – общая масса автосамосвала с грузом:

$$G_c = G + G_{гр}, т,$$

где  $G$  – масса автосамосвала, т;  $G_{гр}$  – масса груза в кузове автосамосвала, т;

$W_i$  – сила сопротивления при подъеме, Н;

$$W_i = g \cdot i \cdot G_c, Н,$$

где  $g$  – ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>;  $i$  – руководящий уклон, ‰;

$W_r$  – сила сопротивления, на криволинейном участке дороги, Н;

$$W_r = \omega_r \cdot G_c, Н,$$

где  $\omega_r$  – удельное сопротивление на криволинейных участках дороги;

$W_B$  – сила сопротивления воздушной среды, Н;

$$W_B = \lambda \cdot S \cdot v^2, Н,$$



Рис. 1. Движение автосамосвала с грузом:  $F_T$  – сила тяги,  $P$  – вес автосамосвала,  $W_i, W_o$  – сопротивление движению

Fig. 1. Movement of a loaded dump truck:  $F_T$  – tractive force,  $P$  – dump truck weight,  $W_i, W_o$  – driving resistance

где  $\lambda$  – коэффициент обтекаемости;  $S$  – лобовая площадь автосамосвала, м<sup>2</sup>;  $v$  – скорость движения автосамосвала, км/ч; силу сопротивления воздушной среды можно и не учитывать, если скорость автосамосвала и воздушной среды при алгебраической сумме не превышает 35 км/ч;

$W_j$  – сила сопротивления, вызываемая инерцией вращающихся масс автомобиля, Н:

$$W_j = 1000 \cdot G_c \cdot (1 + \gamma_{и}) \cdot a, Н,$$

где  $\gamma_{и}$  – коэффициент инерции вращающихся масс автосамосвала;  $a$  – ускорение автосамосвала при движении, м/с<sup>2</sup>.

Сила тяги автосамосвала больше или равна суммарному сопротивлению при движении и меньше силы сцепления при номинальной мощности:

$$F_T \geq \Sigma W < F_{ц}.$$

Уравнение, описывающее движение автосамосвала – это уравнение сил, действующих на автосамосвал, спроецированных на линию, проходящую по продольной оси дороги. На автосамосвал действуют сила тяги и силы сопротивления движению (рис. 1) [12].

Основным показателем автосамосвала является скорость движения, она определяет проходимость автосамосвала:

$$v = p_{с.уд.} \cdot \frac{0,2838}{k_{ск} + tgi}, км/ч,$$

где  $p_{с.уд.}$  – удельная мощность двигателя автосамосвала,

$p_{с.уд.} = \frac{N_d}{G_c}$ , кВт/т;  $k_{ск}$  – коэффициент сопротивления ка-

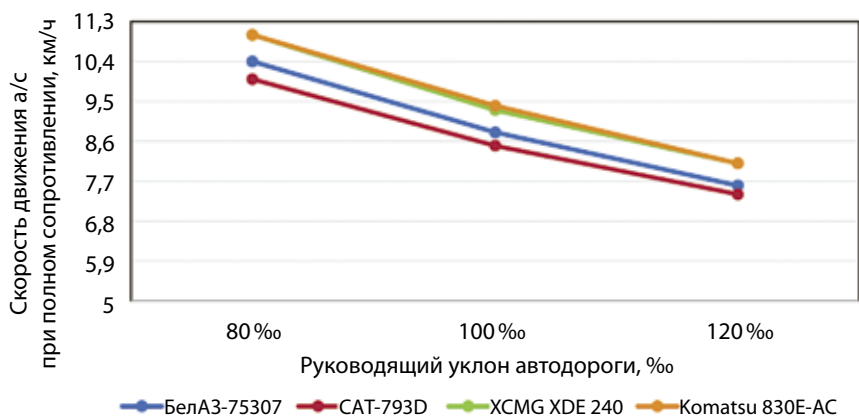


Рис. 2. Зависимость скорости движения автосамосвалов при полном сопротивлении от руководящего уклона

Fig. 2. Dependence of the dump truck speed at full driving resistance on the limiting gradient

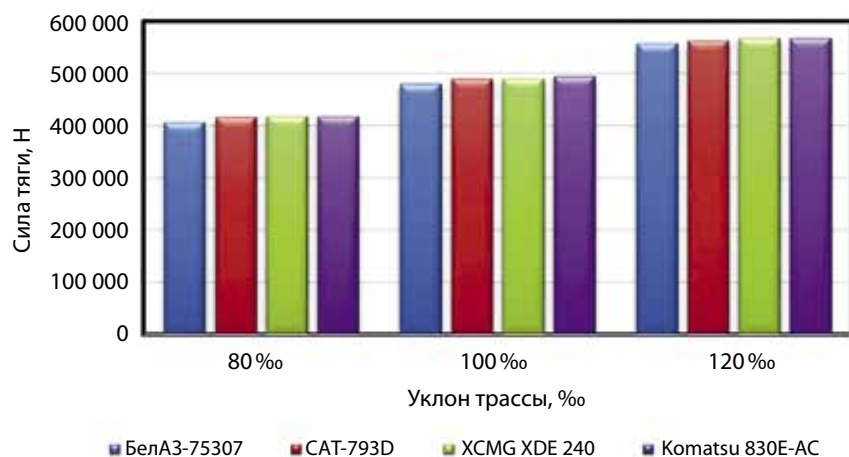


Рис. 3. Величины разности силы тяги автосамосвалов от уклона трассы

Fig. 3. Values of the dump truck tractive force difference depending on the road gradient

чению – зависит от покрытия карьерных дорог, в условиях карьера Мурунтау принимаем  $k_{ск} = 0,025$ .

При действии суммарного сопротивления на автосамосвал скорость движения выражается следующим образом:

$$v' = \frac{3600 \cdot N_{д}}{\sum W} \cdot \eta_{тр} \cdot \eta_{к} \cdot \eta_{ом}, \text{ км/ч.}$$

При расчете силы тяги необходимо учитывать неравенство, которое определяет силовой показатель груженого автосамосвала:

$$F_{т} \leq 1000 \cdot \xi \cdot (G + G_{тр}) \cdot g \cdot \psi, \text{ Н.}$$

Сила сцепления автосамосвала с дорогой:

$$F_{сц} = 1000 \cdot \xi \cdot (G + G_{тр}) \cdot g \cdot \psi, \text{ Н.}$$

где  $\xi = 0,67$  – коэффициент, учитывающий часть веса автосамосвала с грузом, приходящуюся на ведущие колеса;  $\psi$  – коэффициент сцепления ведущего колеса с дорожным покрытием.

Сила тяги не должна превышать силу сцепления автосамосвала, определенную из условия сцепления колеса с дорогой. Если вышеуказанное равенство не выполняется, то происходит буксирование ведущих колес автосамосвала.

### РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

По выполненным расчетно-сравнительным анализам технологического автотранспорта были получены результаты по эксплуатационным показателям и трансмиссии, приведенные в табл. 2.

Таблица 2.

### Результаты выполненных расчетов по определению эксплуатационных показателей

Results of the performed calculations on defining the operational indicators

Марки автосамосвалов	Руководящий уклон, ‰	Силовые характеристики			
		Сила тяги, Н	Мощность двигателя, кВт	Скорость при $\sum W$ , км/ч	Сила сцепления автосамосвала, кН
БелАЗ-75307	80	406059	1715	10,4	1730,394
	100	479888		8,8	
	120	555659		7,6	
CAT-793D	80	415760	1801	10	1765,589
	100	489130		8,5	
	120	561838		7,4	
XCMG XDE240	80	417264	1864	11,0	1771,342
	100	488288		9,4	
	120	566655		8,1	
Komatsu 830E-AC	80	417488	1865	11,0	1775,244
	100	493803		9,3	
	120	566959		8,1	



Полученные расчеты (рис. 2, 3) позволили определить, что большегрузные карьерные автосамосвалы с электро-механической трансмиссией грузоподъемностью 220 т более эффективны при спускоподъемных операциях на нижних участках карьера.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Установлено, что электромеханическая трансмиссия имеет более высокий КПД передачи мощности от двигателя к шинам за счет меньшего количества трущихся и вращающихся деталей, которые приводят к потерям передаваемой мощности. В среднем КПД у электромеханической трансмиссии при передаче мощности составляет 97%, а у гидромеханической – 90%.

Определены эксплуатационно-технические показатели большегрузных карьерных автосамосвалов с электро-механической трансмиссией и грузоподъемностью 220 т, позволяющие выполнять спускоподъемные операции на нижних участках карьера в стесненных условиях при уклоне трассы (80–120‰).

Определена область рационального уклона автодорог при высоте подъема горной массы 160 м и среднем расстоянии транспортирования 4,3 км, который составляет 80‰, что обеспечивает эффективную и оптимальную работу большегрузных автосамосвалов на нижних горизонтах глубокого карьера.

### Список литературы

- Кузнецов Д.В., Одаев Д.Г., Линьков Я.Е. Особенности выбора технологического автотранспорта для разработки глубоких карьеров севера // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2017. № 5 С. 54-65.
- Zairov Sh.Sh., Ravshanova M.B., Karimov Sh.V. Scientific and technical fundamentals for explosive destruction of the mass composed of rocks with different hardness // Mining of mineral deposits. 2017. Vol. 11. P. 46-51.
- Zairov Sh.Sh., Ravshanova M.B., Karimov Sh.V. Intensification of technological processes in drilling and blasting operations during open-cut mining in Kyzylkum region // Mining of mineral deposits. 2017. Vol. 11. P. 54-60.
- Галкин В.И., Шешко Е.Е. Проблемы совершенствования транспортных систем в горной промышленности России // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2011. Отдельный выпуск 1. С. 485-507.
- Совмен В.К., Черемисин В.В., Поляков А.В. Современное состояние и перспективы развития горнотранспортного комплекса Олимпиадинского ГОКа // Записки Горного института. 2008. Т. 177. С. 32-35.
- Козярук А.Е., Камышьян А.М. Повышение энергетической эффективности электромеханической трансмиссии карьерного автосамосвала // Записки Горного института. 2019. Т. 239. С. 576-582.
- Козярук А.Е. Энергоэффективные электромеханические комплексы горнодобывающих и транспортных машин // Записки Горного института. 2016. Т. 218. С. 261-269.
- Вуейкова О.Н. Современное состояние карьерного автотранспорта на АО «ССГПО» / Роль стратегии индустриального развития Республики Казахстан в условиях глобализации: проблемы и перспективы: сборник докладов международной научно-практической конференции. Рудный, 2009. Т. 1. С. 23-28.
- Кривда В.В. Обоснование рациональных параметров систем разработки глубоких железорудных карьеров при применении автосамосвалов усовершенствованной конструкции: дис... канд. техн. наук. Днепрпетровск, 2015. 201 с.
- Смирнов В.П., Лель Ю.И. Теория карьерного большегрузного транспорта. Екатеринбург: УрО РАН, 2002. 355 с.
- Кулешов А.А. Проектирование и эксплуатирование карьерного автотранспорта. Справочник, часть II. Санкт-Петербург, 1995. 230 с.
- Захаров А.Ю. Основы расчеты карьерного транспорта. Кемерово: КузГТУ, 2012. 110 с.

Original Paper

UDC 656.13:622.684 © U.F. Nasirov, Sh.Sh. Zairov. Sh.V. Karimov, 2023  
ISSN 0041-5790 (Print) • ISSN 2412-8333 (Online) • Ugol' – Russian Coal Journal, 2023, № 12, pp. 67-72  
DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2023-12-67-72>

### Title

**RESEARCH AND EVALUATION OF PROCESS FLEET FOR EFFECTIVE HAULAGE OF ROCK MASS IN DEEP OPEN PITS**

### Authors

Nasirov U.F.<sup>1</sup>, Zairov Sh.Sh.<sup>1</sup>, Karimov Sh.V.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Almalik Branch of National Research University of Science and Technology (MISIS), Almalik, 110100, Republic of Uzbekistan

### Authors Information

**Nasirov U.F.**, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Deputy Director on Research and Innovations, e-mail: [unasirov@yandex.ru](mailto:unasirov@yandex.ru)

**Zairov Sh.Sh.**, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Department of Mining Engineering, Head of the Sector of Scientific Research, Innovations and Training of Scientific and Pedagogical Staff, e-mail: [sher-z@mail.ru](mailto:sher-z@mail.ru)

**Karimov Sh.V.**, PhD (Engineering), Assistant Professor, Department of Mining Engineering, e-mail: [karimov20-13@mail.ru](mailto:karimov20-13@mail.ru)

### Abstract

Various types of vehicles are used in surface mining, e.g. dump trucks, articulated vehicles, as well as trackless trolley trucks and diesel trolley cars at some open-pit mines. The most common are dump trucks with back dumping. Articulated trailers and trailer cars working with tractors, in addition to the back dumping also have the side and bottom dumping. Articulated trailers are rarely found in deep quarries, as they are not suitable for operation on steep gradients due to their traction capabilities, besides this, their maneuvering in confined working spaces is extremely difficult. Bottom unloading is used mainly on dump trucks designed for coal transportation (coal carriers).

SURFACE MINING

Therefore, for deep open-pit mines the most suitable are dump trucks with back dumping, characterized by the required traction force, travel speed and maneuvering characteristics. There exist more than 10 different types of heavy-duty dump trucks used in mining operations in the world today. This is one of the main types of quarry transportation. The main disadvantages of such machines are the need to extract additional volumes of overburden to accommodate transport communications with significant parameters as well as significant consumption of diesel fuel. In this connection, it is necessary to study modern types of process vehicles, as well as to investigate and manage their economically feasible performance characteristics when operating in difficult conditions of deep open pit, as well as to justify the technical and operational parameters of the process vehicles.

**Keywords**

Transportation, Mined rock, Dump truck, Process vehicles, Open pit mine, Performance characteristics, Transportation communications, Driveline.

**References**

1. Kuznetsov D.V., Odaev D.G. & Linkov Ya.E. Specific features of selecting process vehicles for deep open-pit mining in the North. *Gornyj informatsionno-analiticheskij byulleten'*, 2017, (5), pp. 54-65. (In Russ.).
2. Zairov Sh.Sh., Ravshanova M.B. & Karimov Sh.V. Scientific and technical fundamentals for explosive destruction of the mass composed of rocks with different hardness. *Mining of mineral deposits*, 2017, (11), pp. 46-51.
3. Zairov Sh.Sh., Ravshanova M.B. & Karimov Sh.V. Intensification of technological processes in drilling and blasting operations during open-cut mining in Kyzylkum region. *Mining of mineral deposits*, 2017, (11), pp. 54-60.
4. Galkin V.I. & Sheshko E.E. Challenges of enhancing transportation systems in the mining industry of the Russian Federation. *Gornyj informatsionno-analiticheskij byulleten'*, 2011, Special Issue No.1, pp. 485-507. (In Russ.).
5. Sovmen V.K., Cheremisin V.V. & Polyakov A.V. Current state and prospects of developing the mining and transportation complex of the Olimpiadin-

6. sky mining and processing plant. *Zapiski Gornogo instituta*, 2008, (177), pp. 32-35. (In Russ.).
6. Kozyaruk A.E. & Kamyshyan A.M. Improving the energy efficiency of the electromechanical transmission of an open-pit dump truck. *Zapiski Gornogo instituta*, 2019, (239), pp. 576-582. (In Russ.).
7. Kozyaruk A.E. Energy efficient electromechanical systems of mining and transport machines. *Zapiski Gornogo instituta*, 2016, (218), pp. 261-269. (In Russ.).
8. Vuyekova O.N. The current state of the open-pit mining vehicles at SS-GPO JSC. The role of the industrial development strategy of the Republic of Kazakhstan in the context of globalization: challenges and prospects; Proceedings of the International Scientific and Practical Conference, Rudny, 2009, (1), pp. 23-28. (In Russ.).
9. Krivda V.V. Justification of rational parameters of mining systems for deep iron ore open pits with application of dump trucks of enhanced design: Cand. eng. sci. diss., Dnepropetrovsk, 2015, 201 p. (In Russ.).
10. Smirnov V.P. & Lel Yu.I. Theory of heavy-duty open-pit mine transport. Yekaterinburg, Urals Branch of the Russian Academy of Sciences, 2002, 355 p. (In Russ.).
11. Kuleshov A.A. Designing and operation of open-pit mine transport. Reference book, Part II, St. Peterburg, 1995, 230 p. (In Russ.).
12. Zakharov A.Yu. Fundamentals of open pit transport calculations. Kemerovo, KuzSTU, 2012, 110 p. (In Russ.).

**For citation**

Nasirov U.F., Zairov Sh.Sh. & Karimov Sh.V. Research and evaluation of process fleet for effective haulage of rock mass in deep open pits. *Ugol'*, 2023, (12), pp. 67-72. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2023-12-67-72.

**Paper info**

Received September 18, 2023  
 Reviewed November 10, 2023  
 Accepted November 27, 2023

## Бородинский разрез в числе первых в Красноярском крае получил комплексное экологическое разрешение

Получение комплексного экологического разрешения (КЭР) – новое требование федерального закона «Об охране окружающей среды». Оно нацелено на повышение открытости и прозрачности природоохранной деятельности промышленных компаний. Срок получения таких разрешений – до 1 января 2025 г.



Бородинский разрез СУЭК в числе первых в Красноярском крае выполнил требования законодательства. В пакет разрешительной документации были включены современные технологические, технические и управленческие решения, которые реализуются на предприятии и помогают повысить ресурсную эффективность производства, свести к минимуму негативное воздействие добычи на окружающую среду. Среди них, например, осуществление непрерывного мониторинга качества атмосферного воздуха, карьерных и дренажных вод. В части внедрения НДТ представлен проект реконструкции системы водоотведения и очистки карьерных вод. Проектом предусмотрено строительство на разрезе нового комплекса очистных сооружений с многоуровневой и эффективной технологией очистки воды. Важно добавить, что перед получением КЭР вся представленная Бородинским разрезом информация прошла согласование в Росприроднадзоре, в Министерстве промышленности и торговли РФ, в Министерстве природных ресурсов и экологии РФ.



Бородинский угольный разрез

Сейчас аналогичная работа ведется по Березовскому и Назаровскому разрезам СУЭК. Планируется, что комплексные экологические разрешения они получат в 2024 г.

Пресс-служба АО «СУЭК»

# Исследование техногенного воздействия взрывных работ при открытой разработке месторождений угля\*

DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2023-12-73-79>

Приведены краткая характеристика горнотехнических условий на открытых горных работах АО «УК «Кузбассразрезуголь», зависимости показателей техногенного воздействия взрывных работ от влияющих факторов. Полученные зависимости могут быть использованы для формирования цифровой многофакторной модели управления техногенным воздействием взрывных работ на окружающую среду. Рассмотрены пути безопасного увеличения объемов одновременно взрывающейся горной массы. В статье приведены зависимости изменения нагрузки на атмосферу при увеличении расстояния от эпицентра взрыва, массы одновременно взрывающегося ВВ на открытых горных работах, зависимость выхода мелких фракций от величины зазора между зарядом и зарядной полостью. Снижение удельного расхода ВВ, энергоёмкости добычи, техногенного воздействия взрывных работ на окружающую среду, уменьшение радиуса опасной зоны могут быть достигнуты за счет применения для дробления обводненных и необводненных массивов зарядов, размещенных в рукавах с переменным диаметром, обеспечивающим зазор между стенкой скважины и зарядом. Установлено, что одним из путей безопасного увеличения объемов одновременно взрывающейся горной массы является внедрение энергосберегающих экологически безопасных технологий производства и применения ПВВ, обеспечивающих повышение полноты химических преобразований и КПД взрыва за счет применения в составах гранулированных промышленных взрывчатых веществ топливных смесей, содержащих поверхностно-активные вещества, а также изменяющих реологические свойства, морфологию компонентов ПВВ, стабильность и энергоёмкость зарядов ВВ при нулевом кислородном балансе за счет увеличения на несколько порядков площади контакта топлива и окислителя.

**Ключевые слова:** буровзрывные работы, режимы выделения энергии, образование и распространение пылегазового облака, выход мелких фракций, открытые горные работы, производительность оборудования, техногенное воздействие взрывного разрушения, горные породы, конструкция зарядов и забойки.

## ЗАХАРОВ В.Н.

Доктор техн. наук, академик РАН, профессор, директор Института проблем комплексного освоения недр имени академика Н.В. Мельникова РАН, 111020, г. Москва, Россия, e-mail: [ipkon-dir@ipkonran.ru](mailto:ipkon-dir@ipkonran.ru)

## ФЕДОТЕНКО В.С.

Доктор техн. наук, заместитель директора по научной работе Института проблем комплексного освоения недр имени академика Н.В. Мельникова РАН, 111020, г. Москва, Россия, e-mail: [victorfedotenko@gmail.com](mailto:victorfedotenko@gmail.com)

## ЕФРЕМОВЦЕВ Н.Н.

Канд. техн. наук, действительный член АГН, старший научный сотрудник отдела № 5 геомеханики и разрушения горных пород Института проблем комплексного освоения недр имени академика Н.В. Мельникова РАН, 111020, г. Москва, Россия, e-mail: [noee7@mail.ru](mailto:noee7@mail.ru)

\* Исследования проведены при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках мероприятия № 1 комплексной научно-технической программы полного инновационного цикла, утвержденной распоряжением Правительства Российской Федерации от 11 мая 2022 года № 1144-р, и соглашения о предоставлении из федерального бюджета грантов в форме субсидий в соответствии с пунктом 4 статьи 78.1 Бюджетного кодекса Российской Федерации № 075-15-2022-1185 от 28 сентября 2022 года.

**Для цитирования:** Захаров В.Н., Федотенко В.С., Ефремовцев Н.Н. Исследование техногенного воздействия взрывных работ при открытой разработке месторождений угля // Уголь. 2023. № 12. С. 73-79. DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2023-12-73-79>.

## ВВЕДЕНИЕ

Современные условия развития горнодобывающей промышленности характеризуются необходимостью увеличения объемов исследований, направленных на цифровизацию процессов горного производства и все более широкое применение методов численного моделирования разрушения горного массива, в том числе техногенного воздействия взрывных работ при открытой разработке месторождений угля. Условия развития горных работ на предприятиях АО «УК «Кузбассразрезуголь» характеризуются увеличением объемов горных работ вблизи производственной инфраструктуры и населенных пунктов, интенсивным ростом единичной мощности выемочного оборудования и объемов одновременно взрываваемой и подготовленной к выемке горной массы. Актуальность проводимых исследований неуклонно возрастает в связи с ростом масштабов и интенсивности горных работ открытым способом, увеличением объемов добычи полезных ископаемых на большой глубине и вблизи населенных пунктов. Кроме того, неполное химическое превращение современных гранулированных и эмульсионных взрывчатых веществ в скважинных зарядах в реальных горнотехнических условиях приводит к выгоранию части скважин при переходе от нормальной детонации к конвективному горению и существенному изменению химического состава продуктов взрыва.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Из исследований кинетики развития скорости детонации, проведенных ИПКОН РАН, установлено, что в скважинных зарядах прослеживается устойчивая тенденция замедления скорости детонации в устье скважины на контакте с забойкой, в результате которого происходит изменение режима выделения энергии и полноты взрывчатого превращения нормальной высокоскоростной детонации на низкоскоростную и конвективное горение. Этот процесс сопровождается изменением состава и объемов ядовитых газов и снижением КПД и дробящего действия энергии взрыва при использовании как эмульсионных, так и гранулированных промышленных ВВ. Поэтому повышение полноты химических превращений промышленных взрывчатых веществ является одним из действенных способов увеличения допустимых объемов одновременно взрываваемой горной массы с учетом экологической безопасности ведения горных работ при открытой разработке полезных ископаемых.

Тенденции изменения горнотехнических условий разработки и особенностей технического перевооружения на открытых горных работах АО «УК «Кузбассразрезуголь» за 15 лет с учетом данных, приведенных в работе [1, 2], характеризуются следующими показателями. Глубина разработки возросла в среднем на 2,7 м

в год. Кроме того, увеличиваются крепость вскрышных пород и дальность транспортирования. Сформировались объективные причины ускоренного технического перевооружения выемочно-погрузочного оборудования и горнотранспортной техники. Средняя вместимость ковша экскаваторов возросла в 3,7 раза, до 13,2 куб. м. Соответственно увеличилась средняя годовая производительность экскаваторов на 26,7%.

Прослеживается тенденция роста объемов работ, выполняемых гидравлическими экскаваторами на вскрышных и добычных работах соответственно на 12,7% и 27,6%. Доказано, что эффективная работа гидравлических экскаваторов требует более интенсивного дробления горной массы с увеличенным на 4-15% удельным расходом ПВВ по сравнению с требованиями к подготовке горной массы для экскавации с применением прямых механических лопат. Однако следует отметить, что рост удельного расхода ВВ приводит к увеличению выхода мелких и пылевидных фракций.

Академиком В.В. Адушкиным изучены закономерности и объемы образования и распространения пыли различной крупности при разработке месторождений полезных ископаемых на железорудных предприятиях.

В ИПКОН РАН под руководством академика К.Н. Трубецкого, Ю.П. Галченко, Н.Н. Чаплыгиным и В.И. Папичевым рассмотрены вопросы экологической безопасности природно-технических систем освоения недр, особенности их воздействия на природные ресурсы при разработке месторождений, примеры и методика расчета интегральных нагрузок на компоненты природной среды, особенности применения ресурсного подхода к экологическим оценкам. Разработаны ресурсный подход к оценке воздействия взрывных работ и в целом горного производства на окружающую среду, методология расчета интегральной нагрузки в результате техногенного воздействия на основные компоненты природной среды, учитывающие непосредственное и опосредованное потребление природных ресурсов [3, 4, 5, 6].

На основе исследований, проведенных в ИПКОН РАН, получены зависимости нагрузки на атмосферу от расстояния до эпицентра взрыва. Характер зависимостей – нелинейно убывающий (рис. 1) и может быть описан полиномиальной функцией третьего порядка с коэффициентом корреляции 0,98.

Установлено, что при удалении до 1500 м индекс снижения нагрузки, исчисленный как отношение изменения нагрузки к приросту расстояния, составляет 61,5 %/км, а на удалении от 1500 до 3500 м снижается в пять раз. Значительное влияние на выбор масштабов ведения добычных работ оказывают экологические последствия увеличения масштабов взрывных работ. Установлено, что нагрузка на атмосферу при росте массы одновременно взрываваемого ПВВ нелинейно возрастает и может быть описана полиномиальной функцией второго порядка. Проведено исследование характера изменения концентрации пыли в процессе распространения пылегазового облака по результатам применения модели, приведенной в работе [7]. Установлено, что характер изменения концентрации пыли с увеличением расстояния от источника так же

может быть описан полиномиальными функциями второго и третьего порядка в зависимости от времени с момента взрыва.

Проведенные ИПКОН РАН в 2022 и 2023 гг. совместно с сотрудниками ИПХФ РАН полигонные испытания аммиачноселитренных ПВВ и высокобризантных индивидуальных ВВ с различной плотностью и зарядов с воздушными зазорами между стенкой шпура и зарядом позволили провести калибровку моделей SPH-оценки их дробящего действия и установить зависимости характеризующие влияние плотности, удельного расхода ВВ и величины воздушного промежутка на выход мелких фракций и, соответственно, содержание пылевидных фракций в продуктах детонации (рис. 3, 4). Одним из способов увеличения объемов единовременного взрывания является применение специальных конструкций за-

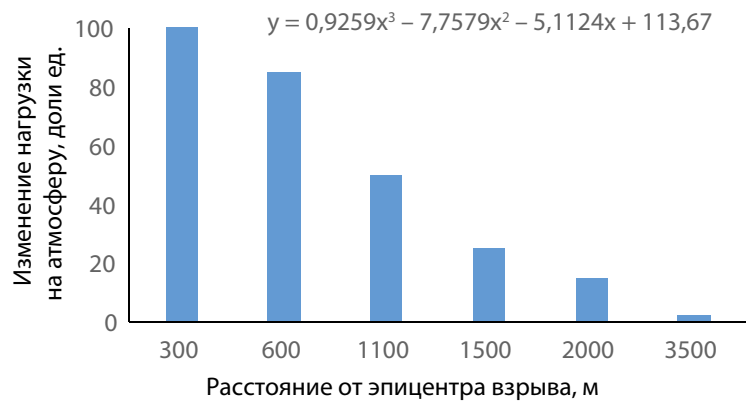


Рис. 1. Влияние расстояния от эпицентра взрыва на изменение нагрузки на атмосферу в относительных единицах

Fig. 1. Effect of the distance from the blast center on the change of the atmosphere load in relative units

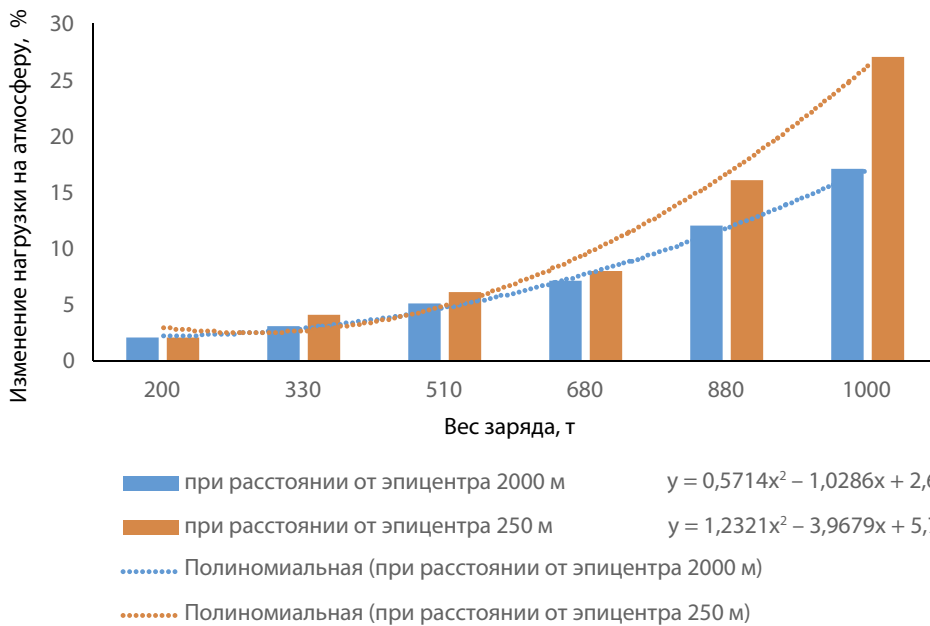


Рис. 2. Влияние веса единовременно взрываемого на блоке ПВВ на изменение нагрузки на атмосферу на различном расстоянии от эпицентра взрыва

Fig. 2. Effect of the industrial explosion weight simultaneously blasted within the block on the change in the atmosphere load at different distances from the blast center

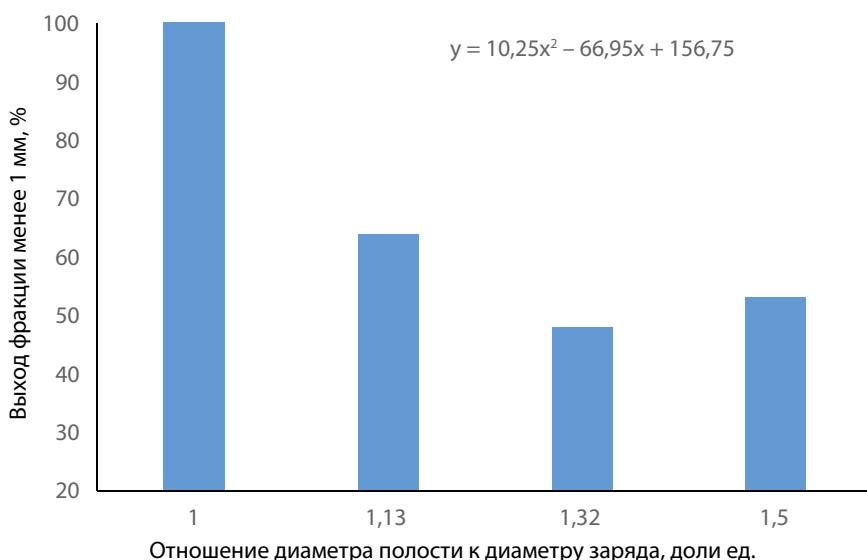


Рис. 3. Влияние на выход мелких фракций размера зазора между полостью скважины и зарядом

Fig. 3. Effect of the gap size between the borehole walls and the charge on the yield of fines

рядов, обеспечивающих снижение выхода мелких и пылевидных фракций.

С использованием метода сглаженных частиц и осесимметричной модели воздействия взрыва зарядов с воздушными промежутками установлены степень влияния диаметра скважин и величины зазора между зарядом и зарядной полостью на выход фракций менее 1 мм, а также изменение выхода мелочи при замене взрывчатых материалов с высокой скоростью детонации на смесевые составы, содержащие модифицированную аммиачную селитру и многокомпонентные топливные смеси, обеспечивающие увеличение продолжительности импульса напряжений в разрушаемой среде. Использование зарядов, обеспечивающих зазор между ВВ и стенкой скважины, и специальных конструкций забойки позволит перераспределить кинетику выделения энергии во времени и пространстве взрываемого массива, увеличить время выброса материалов забойки, сократить выход мелких фракций в товарной продукции и содержание пыли в продуктах детонации [8, 9, 10, 11, 12, 13]. С применением расчетов методом SPH откалиброванных в процессе полигонных испытаний осесимметричных моделей установлены зависимости кинетики и величины выхода мелких фракций от величины зазора между удлиненным зарядом, зарядной полостью и плотностью ВВ при применении зарядов с различной энергетической насыщенностью щадящего и дробящего действия [14, 15, 16, 17].

Изменение выхода фракций менее 1 мм в относительных единицах в результате увеличения осевого зазора между зарядом и стенкой зарядной полости характеризуется полиномиальной функцией второго порядка (см. рис. 3). Результаты расчетов влияния плотности аммиачноселитренных эмульсионного и гранулированного ПВВ на выход в относительных единицах мелких фракций методом SPH откалиброванных моделей, с учетом влияния изменения скорости детонации и теплоты взрыва, представлены на рис. 4.

Результаты применения специальных эмульсий топливных смесей взамен дизельного топлива, обеспечивающих многократное увеличение площади соприкосновения топлива и окислителя рассмотрены нами ранее в работе [18]. Разработана методика комбинированного физико-химического воздействия на твердые и жидкие компоненты ПВВ, обеспечивающая изменение морфологии компонентов ПВВ и увеличение площади соприкосновения гранул аммиачной селитры и топливной смеси в 125-328 раз. В результате существенно возрастают устойчивость и скорость детонации удлиненных зарядов, кинетика выделения энергии, дробящая способность скважинных и шпуровых зарядов.

Проводимые ИПКОН РАН исследования эффективности инновационных решений в области буровзрывных работ при проведении массовых взрывов в условиях горного производства на предприятиях АО «УК «Кузбассразрезуголь» предполагают: инструментальные замеры скорости дето-

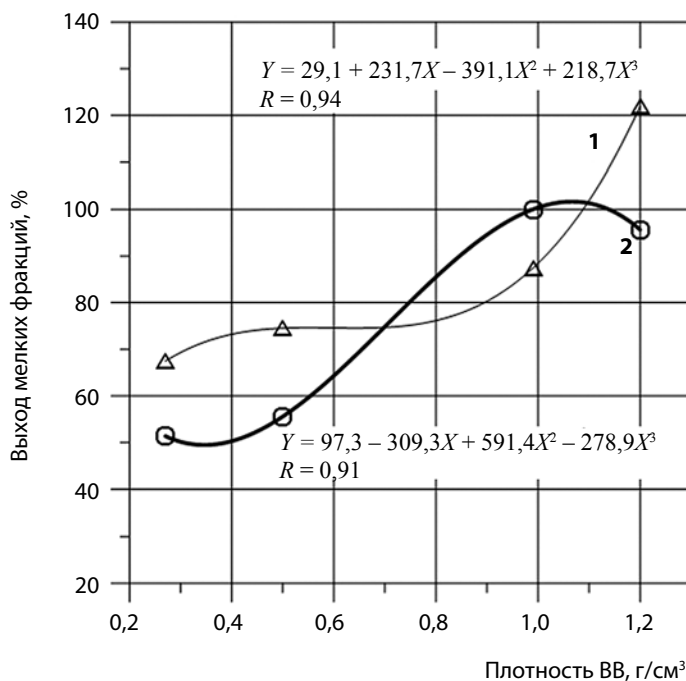


Рис. 4. Влияние плотности аммиачноселитренных эмульсионного (1) и гранулированного (2) ПВВ на выход мелких фракций

Fig. 4. Effect of the density of ammonium nitrate emulsion (1) and granulated (2) industrial explosives on the yield of fines

нации взрывчатых веществ в скважинах; сейсмических колебаний в ближней и дальней зонах; ударной воздушной волны; фракционного состава взорванной горной массы; изменения во времени и пространстве вещественного состава пылегазового облака и их компьютерное моделирование, а также отработку элементов системы удаленного мониторинга буровзрывных работ. С этой целью сформирована методика комплексной оценки дробящего и техногенного воздействия взрывных работ в производственных условиях на открытых горных работах при применении различных составов ПВВ и конструкций скважинных зарядов.

Методика позволяет в производственных условиях для каждого варианта технологических решений, конструкций скважинных зарядов и забойки, объемов применяемых ВВ, схем инициирования и применяемых ПВВ в одинаковых горнотехнических условиях производить системный анализ следующих результатов исследований:

- показателей развития фронта детонации с применением рефлектометрических измерителей скорости детонации, а также времени раскрытия устья скважин;
- параметров зоны контролируемого дробления, сейсмического действия взрыва и ударной воздушной волны группы скважинных зарядов в ближней и дальней зонах;
- granulометрического состава взорванной горной массы, качества взрыва и радиуса разлета фрагментов взорванной горной массы;
- содержания на различной высоте и удалении от эпицентра взрыва в пылегазовом облаке различных фракций пыли и вредных газов, кинетики их изменения во времени и пространстве, установленных с учетом требований следующих нормативных документов [19, 20, 21, 22, 23, 24].

Для оценки последовательности срабатывания средств инициирования зарядов, кинетики выброса фрагментов материала забойки и разрушенной взрывом горной массы, продуктов детонации скважинных зарядов и оценки параметров развала производится видеосъемка. Экспертная оценка относительного изменения во времени содержания пыли в пылегазовом облаке, размеров пылегазового облака и цвета продуктов детонации производится по результатам анализа плотности фото- и видеозаписей. Может быть использована камера высокоскоростной съемки Canon Exilim F1 со скоростью съемки 60-1200 кадров/с, которая устанавливается на штативе на безопасном расстоянии по разлету осколков породы.

Для измерения режима детонации скважинных зарядов может быть использован рефлектометрический измеритель скорости детонации марки TLC SpeedVOD производства компании Vibronics Inc., США. Этот измеритель использует датчик в виде радиочастотного коаксиального кабеля. Общая длина кабеля может достигать до 700-1000 м, что позволяет проводить измерения во многих скважинах за один взрыв.

Для регистрации сейсмических колебаний и ударной воздушной волны при производстве экспериментальных массовых взрывов применяется автономный микропроцессорный прибор – сейсмограф Instantel Micromate в комплекте с сейсмоприемником и микрофоном для регистрации УВВ. Прибор Instantel Micromate при подключении линейного микрофона позволяет определять уровень избыточного давления воздуха ударной воздушной волны (УВВ), (рабочий диапазон – до 148 дБ, максимум – 500 МПа). Сейсмоприемник Geophone в составе сейсмографа Instantel Micromate используется для регистрации колебаний грунта. Данные, полученные от сейсмоприемника, передаются в блок Instantel Micromate через кабель. Программное обеспечение THOR или Blastware, поставляемое совместно с приборами, позволяет вычислять все необходимые характеристики сейсмического действия взрыва.

Гранулометрический состав взорванной горной массы после каждого взрыва определяется с применением фото-планометрического метода или приборного и программного обеспечения PortaMetrics.

## ВЫВОДЫ

Современные условия развития промышленности характеризуются необходимостью увеличения объемов исследований, направленных на цифровизацию процессов горного производства и все более широкое применение методов численного моделирования разрушения горного массива, в том числе техногенного воздействия взрывных работ при открытой разработке месторождений угля. Условия развития горных работ на предприятиях АО «УК «Кузбассразрезголь» характеризуются увеличением объемов горных работ вблизи производственной инфраструктуры и населенных пунктов, интенсивным ростом единичной мощности выемочного оборудования и объемов единовременно взрываваемой и подготовленной к выемке горной массы. Методология формирования рациональной стратегии снижения техногенной

нагрузки на окружающую среду при разработке полезных ископаемых требует системного подхода на основе классификаций методов управления экологической нагрузкой и связана прежде всего с вопросами совершенствования и разработкой новых составов промышленных взрывчатых веществ (ПВВ), технологий их применения, оптимизацией параметров кинетики выделения энергии и последовательности во времени и пространстве их инициирования, конструкций забойки и других элементов детонационных систем, масштабами и режимом взрывных работ.

Из проведенных в ИПКОН РАН исследований установлено, что одним из способов безопасного увеличения объемов единовременного взрывания для окружающей среды и объектов жилого и промышленного назначения является применение инновационных составов взрывчатых веществ на основе поризующих эмульсий топливных смесей, а также специальных конструкций зарядов, обеспечивающих многократное увеличение площади соприкосновения топлива и окислителя, а также увеличение числа импульсов и времени разрушающего массив нагружения [25].

Изучены закономерности влияния масштабов взрывных работ, расстояния от эпицентра взрыва на относительное изменение нагрузки на окружающую среду. Установлено, что зависимость изменения нагрузки на атмосферу от расстояния до эпицентра взрыва нелинейно убывающая и может быть описана полиномиальной функцией третьего порядка с коэффициентом корреляции 0,98. Влияние веса единовременно взрываваемого на блоке ПВВ на изменение нагрузки на атмосферу в относительных единицах в ближней зоне на расстоянии 250 м и дальней зоне (2000 м) характеризуется полиномиальными функциями второго порядка. Выход фракций менее 1 мм в относительных единицах в результате увеличения осевого зазора между зарядом и стенкой зарядной полости снижается. При этом изменение в относительных величинах характеризуется полиномиальной функцией второго порядка. Установлено, что характер изменения концентрации пыли с увеличением расстояния от источника может быть описан полиномиальными функциями второго и третьего порядка в зависимости от времени с момента взрыва. Полученные зависимости могут быть использованы для формирования цифровой многофакторной модели управления техногенным воздействием взрывных работ на окружающую среду для корректировки параметров буровзрывных работ в карьерах.

Сформирована методика комплексной оценки дробящего и техногенного воздействия взрывных работ в производственных условиях на открытых горных работах при применении различных составов ПВВ и конструкций скважинных зарядов, позволяющая определять и прогнозировать фракционный состав взорванной горной массы, производительность выемочно-транспортного оборудования, размеры опасных зон, концентрацию пыли на различной высоте от поверхности уступа и расстоянии от эпицентра взрыва во взаимосвязи с технологическими решениями и масштабами взрывных работ и физико-механическими свойствами взрывааемых пород.

## Список литературы

1. Совершенствование способов буровзрывной подготовки пород на предприятиях ОАО «УК «Кузбассразрезуголь» / С.В. Матва, С.В. Кокин, Ю.И. Литвин и др. // Уголь. 2015. № 12. С. 24-32. URL: <http://www.ugolinfo.ru/Free/042013pdf> (дата обращения: 15.11.2023).
2. Экологические проблемы геотехнологий: новые идеи, методы и решения / Н.Н. Чаплыгин, Ю.П. Галченко, В.И. Папичев и др. М.: Научтехлитиздат, 2009. 320 с.
3. Новые методы оценки воздействия горного производства на окружающую среду / Н.Н. Чаплыгин, В.И. Папичев, Г.И. Бризняк и др. / Горные науки на рубеже XXI века: материалы Международной конференции 1997 г. Екатеринбург: Горный ин-т, 1998. С. 468-477.4. Папичев В.И. Методология комплексной оценки техногенного воздействия горного производства на окружающую среду: автореф. дис. ... д-ра техн. наук. М., 2004. 41 с.
5. Папичев В.И., Прошняков А.Н. Об оценке техногенной нагрузки горного производства на породный массив в результате производства взрывных работ в карьере // Экологические системы и приборы. 2002. № 9. С. 24-28.
6. Трубецкой К.Н., Галченко Ю.П., Бурцев Л.И. Экологические проблемы освоения недр при устойчивом развитии природы и общества. М.: Научтехлитиздат, 2003. 261 с.
7. Викторов С.Д., Буслевич В.С. Образование и распространение пылегазового облака при массовом взрыве на карьере // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 1996. № 6. С. 119-123.
8. Катанов И.Б., Федотенко В.С. Низкоплотные материалы в конструкции скважинных зарядов на карьерах. Кемерово: Кузбассвузиздат, 2012. 124 с.
9. Борьба с пылью в рудных карьерах / В.А. Михайлов, А.И. Лобода, П.В. Бересневич и др. М.: Недра, 1981. 262 с.
10. Гурин А.А., Яценко С.С. Применение гидрогелевой забойки взрывных скважин // Безопасность труда в промышленности. 1986. № 7. С. 38-40.
11. Пат. 2401416 Российская Федерация. Подвесная скважинная забойка / Федотенко С.М., Федотенко В.С., Федотенко Н.А.; заявл. 22.07.09; опубл. 20.01.2010, Бюл. № 28. URL: <https://patents.google.com/patent/RU2401416C1/ru> (дата обращения: 15.11.2023).
12. Пат. 2379621 Российская Федерация. Способ рассредоточения заряда в скважине / Федотенко С.М., Федотенко В.С., Федотенко Н.А.; заявл. 28.07.08; опубл. 20.01.2010, Бюл. № 25.; ил. 2. URL: <https://patents.google.com/patent/RU2379621C1/> (дата обращения: 15.11.2023).
13. Берсеневич П.В., Михайлов В.А., Филатов С.С. Аэрология карьеров: Справочник. М.: Недра, 1990. 280 с.
14. Ефремовцев Н.Н., Ефремовцев П.Н. Результаты исследования в производственных условиях влияния кинетики выделения энергии взрыва на дробимость горных пород // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2015. № 558. С. 17–25.
15. Ефремовцев Н.Н., Трофимов В.А., Шиповский И.Е. Локализация деформаций в волновом поле, наведенном взрывом удлиненного заряда // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2020. № 8. С. 73-85.
16. Ефремовцев Н.Н., Шиповский И.Е. Исследование закономерностей дробления удлиненными зарядами с применением композиционных моделей и численного моделирования методом сглаженных частиц // Взрывное дело. 2020. № 128/85. С. 20-37.
17. Результаты численных исследований фрагментации горных пород в пределах взрывающегося блока с применением бессеточного метода сглаженных частиц / Н.Н. Ефремовцев, П.Н. Ефремовцев, В.А. Трофимов и др. // Взрывное дело. 2021. № 130/87. С. 29-45.
18. Захаров В.Н., Ефремовцев Н.Н., Федотенко В.С. Исследование техногенного воздействия взрывного разрушения горных пород при освоении месторождений полезных ископаемых открытым способом // Горная промышленность. 2022. № 6. С. 61-68.
19. ГОСТ 59667-2021 Качество атмосферного воздуха. Методика определения фракционного состава пыли оптическим методом. Расчет концентрации взвешенных частиц PM2.5, PM10 в атмосферном воздухе на основе фракционного состава.
20. ГОСТ Р 58196-2018. Национальный стандарт Российской Федерации. Горное дело. Борьба с пылью на угольных предприятиях. Термины и определения. 2019-01-01.
21. ГОСТ Р 70230-2022. Национальный стандарт Российской Федерации. Качество воздуха. Методика определения массовой концентрации взвешенных частиц PM2.5, PM10 в воздухе рабочей зоны на основе анализа фракционного состава пыли.
22. ГОСТ 12.1.018 Система стандартов безопасности труда. Пожаровзрывобезопасность статического электричества. Общие требования.
23. ГОСТ 12.1.019 Система стандартов безопасности труда. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты.
24. ГОСТ 17.2.3.01-86. Охрана природы. Атмосфера. Правила контроля качества воздуха населенных пунктов.
25. Использование многокомпонентных смесей для забойки скважин / А.А. Силкин, П.А. Шеметов, И.П. Бибики и др. // Горный вестник Узбекистана. 2005. № 1. С. 23–25.

Original Paper

SURFACE MINING

UDC 622.85:622.235 © V.N. Zakharov, V.S. Fedotenko, N.N. Efremovtsev, 2023  
 ISSN 0041-5790 (Print) • ISSN 2412-8333 (Online) • Ugol' – Russian Coal Journal, 2023, № 12, pp. 73-79  
 DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2023-12-73-79>

**Title**  
**RESEARCH OF TECHNOGENIC IMPACT OF EXPLOSIVE WORKS DURING OPEN-PIT MINING OF COAL DEPOSITS**

**Authors**Zakharov V.N.<sup>1</sup>, Fedotenko V.S.<sup>1</sup>, Efremovtsev N.N.<sup>1</sup><sup>1</sup> N.V. Melnikov Institute of Comprehensive Exploitation of Mineral Resources of the Russian Academy of Sciences, Moscow, 111020, Russian Federation



**Authors Information**

**Zakharov V.N.**, Doctor of Engineering Sciences,

Academician of the Russian Academy of Sciences, Professor, Director,  
e-mail: ipkon-dir@ipkonran.ru

**Fedotenko V.S.**, Doctor of Engineering Sciences, Deputy director for research,  
e-mail: victorfedotenko@gmail.com

**Efremovtsev N.N.**, PhD (Engineering), a Full-Fledged Member  
of the Academy of Mining Sciences, Senior Research Associate  
at Department No. 5 of Geomechanics and Rock Disintegration,  
e-mail: noee7@mail.ru

**Abstract**

The paper briefly characterizes mining conditions at open-pit mining operations of UK Kuzbassrazrezugol JSC, as well as dependences of the man-made impact of blasting operations depending on the influencing factors. The obtained dependencies can be used in formation of a digital multifactor model of man-made environmental impact of blasting operations. The ways are considered to safely increase the volume of simultaneously blasted rock mass. The article shows the dependence of changes in the load on the atmosphere with from the blast center, the weight of simultaneously blasted explosives in surface mining operations, as well as the dependence between the yield of fines and the size of the gap between the charge and the charging chamber. Reducing the specific consumption of explosives, energy intensity of mining, the man-made impact of blasting operations on the environment, as well as increasing the hazardous zone range – all of this can be achieved by using charges placed in hoses of variable diameter that would ensure a gap between the charge the the borehole wall when blasting wet and dry rock masses. It was established that one of the ways to safely increase the volume of simultaneously blasted rock mass is the introduction of energy-saving environmentally friendly technologies in production and use of industrial explosives, which would ensure higher completeness of chemical transformations and the efficiency of the blast through the use of special fuel mixtures containing surfactants instead of diesel fuel in the compositions of granular industrial explosives, as well as changing the rheological properties, morphology of the industrial explosive components, stability and energy intensity of explosive charges at zero oxygen balance due to increasing the contact area of the fuel and oxidizer by several orders of magnitude.

**Keywords**

Drilling and blasting operations, Energy release modes, Formation and propagation of dust and gas clouds, Yield of fines, Open pit mining, Equipment performance, Anthropogenic effects of blast breaking, Rocks, Charge and stemming design.

**References**

1. Matva S.V., Kokin S.V., Litvin Yu.I. et al. Enhancement of drilling and blasting methods of rock preparation at the operations of UK Kuzbassrazrezugol JSC. *Ugol'*, 2015, (12), P. 24-32. Available at: <http://www.ugolino.ru/Free/042013pdf> (accessed 15.11.2023). (In Russ.).
2. Chaplygin N.N., Galchenko Yu.P., Papichev V.I. et al. Environmental challenges of geotechnologies: new insights, methods and solutions. Moscow, Nauchtekhizdat Publ., 2009, 320 p. (In Russ.).
3. Chaplygin N.N., Papichev V.I., Briznyuk G.I. et al. New methods to assess the impact of mining operations on the environment. Mining Sciences at the Turn of the XXI Century: Proceedings of the International Conference, 1997, Yekaterinburg, Gorniy Institute Publ., 1998, pp. 468-477. (In Russ.).
4. Papichev V.I. Methodology of integrated assessment of man-made impact of mining operations on the environment: Dr. Sci. (Eng.) diss. Moscow, 2004. 41 p. (In Russ.).
5. Papichev V.I. & Proshnyakov A.N. On assessment of the man-made load of mining operations on the rock mass as the result of blasting activities in the open pit. *Ekologicheskie sistemy i pribory*, 2002, (9), pp. 24-28. (In Russ.).
6. Trubetskoy K.N., Galchenko Yu.P. & Burtsev L.I. Environmental challenges of mining in conditions of sustainable development of the nature and society. Moscow, Nauchtekhizdat Publ., 2003, 261 p. (In Russ.).
7. Viktorov S.D. & Buslovich V.S. Formation and propagation of a dust and gas cloud during large-scale blasts in a coal open-cast mine. *Gornyy informatsionno-analiticheskij byulleten'*, 1996, (6), pp. 119-123. (In Russ.).
8. Katanov I.B. & Fedotenko V.S. Low-density materials in design of blasthole charges in surface mines. Kemerovo, Kuzbassvuzizdat Publ., 2012, 124 p. (In Russ.).

9. Mikhailov V.A., Loboda A.I., Beresnevich P.V. et al. Dust control in surface ore mines. Moscow, Nedra Publ., 1981, 262 p. (In Russ.).
10. Gurin A.A. & Yashchenko S.S. Application of blasthole plugging with hydrogel. *Bezopasnost' truda v promyshlennosti*, 1986, (7), pp. 38-40. (In Russ.).
11. Fedotenko S.M., Fedotenko V.S., Fedotenko N.A. Suspended borehole tamping. 2401416 Russian Federation, claim 22.07.09, publ. 20.01.2010, Bulletin No. 28. Available at: <https://patents.google.com/patent/RU2401416C1/ru> (accessed 15.11.2023).
12. Fedotenko S.M., Fedotenko V.S. & Fedotenko N.A. Method for charge dispersal in hole. 2379621 Russian Federation, claim 28.07.08, publ. 20.01.2010, Bulletin No. 25.: Fig. 2. Available at: <https://patents.google.com/patent/RU2379621C1/> (accessed 15.11.2023).
13. Bersenevich P.V., Mikhailov V.A. & Filatov S.S. Aerology of open-pit mines. Reference Book. Moscow, Nedra Publ., 1990, 280 p. (In Russ.).
14. Efremovtsev N.N. & Efremovtsev P.N. The results of the study in production conditions of the influence of the kinetics of the release of explosive energy on the crushability of rocks. *Gornyy informatsionno-analiticheskij byulleten'*, 2015, (558), pp. 17-25. (In Russ.).
15. Efremovtsev N.N., Trofimov V.A. & Shipovskii I.E. Strain concentration in wave field generated by blasting in elongated boreholes. *Gornyy informatsionno-analiticheskij byulleten'*, 2020, No. 8. pp. 73-85. (In Russ.).
16. Efremovtsev N.N. & Shipovskii I.E. Investigation of the dynamic working of long charges by composition models coupling with computer simulation by the smoothed particle hydrodynamics method. *Vzryvnoe delo*, 2020, (128/85), pp. 20-37. (In Russ.).
17. Efremovtsev N.N., Efremovtsev P.N., Trofimov V.A. et al. Investigation of the dynamic working of long charges by composition models coupling with computer simulation by the smoothed particle hydrodynamics method. *Vzryvnoe delo*, 2021, (130/87), pp. 29-45. (In Russ.).
18. Zakharov V.N., Yefremovtsev N.N. & Fedotenko V.S. Research into man-made impact of rock blasting in surface mining of mineral deposits. *Gornaya promyshlennost'*, 2022, No. 6. pp. 61-68. (In Russ.).
19. GOST 59667-2021 Atmospheric air quality. Methods for determining the fractional composition of dust by optical method. Calculation of suspended particle concentrations PM2.5. PM10 in atmospheric air based on fractional composition.
20. GOST R 58196-2018. National Standard of the Russian Federation. Mining. Fight against dust at the coal-mining enterprises. Terms and definitions. 1/1/2019.
21. GOST R 70230-2022. National Standard of the Russian Federation. Air quality. Method for determining mass concentration suspended particles PM2.5, PM10 in the air of the working area based on analysis of fractional dust composition
22. GOST 12.1.018 Occupational safety standards system. Fire and explosion safety of static electricity. General requirements.
23. GOST 12.1.019 Occupational safety standards system. Electrical safety. General requirements and nomenclature of types of protection.
24. GOST 17.2.3.01-86. Nature protection. Atmosphere. Gravimetric method for determination of suspended dust particles.
25. Silkin A.A., Shemetov P.A., Bibik I.P. et al. Use of multicomponent mixtures for borehole plugging. *O'zbekiston konchilik xabarnomasi*, 2005, (1), pp. 23-25. (In Russ.).

**Acknowledgements**

The research was performed with the financial support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation as part of Activity No.1 of the Integrated Scientific and Technical Programme of the Full Innovation Cycle, approved by Order No 1144-p of the Government of the Russian Federation as of May 11, 2022 and Agreement No 075-15-2022-1185 as of September 28, 2022, on providing grants from the federal budget in the form of subsidies in accordance with Item 4 of Article 78.1 of the Budget Code of the Russian Federation.

**For citation**

Zakharov V.N., Fedotenko V.S. & Efremovtsev N.N. Research of technogenic impact of explosive works during open-pit mining of coal deposits. *Ugol'*, 2023, (12), pp. 73-79. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2023-12-73-79.

**Paper info**

Received October 2, 2023

Reviewed November 10, 2023

Accepted November 27, 2023

# Сравнение картины течения в прудах-отстойниках разной геометрии\*

DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2023-12-80-84>

## ВЫЛЕГЖАНИНА А.В.

Канд. техн. наук, доцент кафедры  
цифровых технологий ФГБОУ ВО «КемГУ»,  
650000, г. Кемерово, Россия,  
e-mail: [alina\\_com@rambler.ru](mailto:alina_com@rambler.ru)

## ЗИМИН А.И.

Канд. физ.-мат. наук, доцент кафедры  
цифровых технологий ФГБОУ ВО «КемГУ»,  
650000, г. Кемерово, Россия,  
e-mail: [sliii@mail.ru](mailto:sliii@mail.ru)

Загрязненные сточные воды угольных предприятий требуют очистки даже для использования в качестве технических вод и для утилизации их в природных водоемах. Одним из распространенных способов очистки является отстаивание вод в специальных прудах-отстойниках, в которые постоянно закачиваются загрязненные воды и выкачиваются уже очищенные для поддержания уровня воды в пруду. В работе рассмотрены различные конфигурации системы закачивания воды в отстойник с целью исследования характера течения и его влияния на результат очистки. Установлено, что оптимальным является расположение входных труб вблизи поверхности водоема. В водоемах образуются сложные вихревые течения, при этом конфигурация входных труб влияет лишь на незначительной протяженности длины пруда-отстойника.

**Ключевые слова:** течение, идеальная жидкость, вязкая несжимаемая жидкость, очистка сточных вод, мелкодисперсные примеси.

**Для цитирования:** Вылегжанина А.В., Зимин А.И. Сравнение картины течения в прудах-отстойниках разной геометрии // Уголь. 2023. № 12. С. 80-84. DOI: 10.18796/0041-5790-2023-12-80-84.

## ВВЕДЕНИЕ

Загрязненные сточные воды угольных предприятий неизбежно появляются в процессе производства. Есть много видов загрязняющих веществ, среди которых можно выделить растворенные химические соединения и твердые частицы. Для очистки сточных вод от твердых взвешенных глинистых частиц сегодня используется несколько технологий, выделяют химические [1, 2] и биологические методы (химические вещества и живые организмы, водоросли, рыбы и другие) [3], фильтрацию через специально создаваемые фильтры [4], а также пруды-отстойники. Пруды-отстойники являются хорошо показавшим себя методом для очистки сточных вод от крупных частиц, но за счет физических свойств мелкодисперсных глиняных частиц, взвешенных в воде, оседание их происходит медленно, и даже спустя продолжительное время (1-2 года) концентрация частиц в воде может составлять до 40% от начальной. Это создает постоянную потребность в сооружении прудов-отстойников, а оптимизация их использования значительно снизила бы потребность в строительстве и упростила обслуживание очистных сооружений [5].



\* Исследование выполнено в рамках комплексной научно-технической программы полного инновационного цикла «Разработка и внедрение комплекса технологий в областях разведки и добычи полезных ископаемых, обеспечения промышленной безопасности, биоремедиации, создания новых продуктов глубокой переработки из угольного сырья при последовательном снижении экологической нагрузки на окружающую среду и рисков для жизни населения», утвержденной Распоряжением Правительства Российской Федерации от 11.05.2022 г. № 1144-р, № соглашения 075-15-2022-1201 от 30.09.2022 г., при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Одним из методов оптимизации работы отстойников для очистки от нерастворимых органических примесей может являться изменение расположения входных труб, по которым закачиваются загрязненные сточные воды. Зарекомендовали себя методы организации входного потока в виде разветвленной структуры труб и труб со щелевидным протяженным отверстием на всю глубину погружения входной трубы [6]. Исследуем влияние расположения входных труб на эффективность очистки сточных вод с использованием прудов-отстойников.

### МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В условиях доступности методов машинного обучения все чаще моделирование оценки качества очистки сточных вод осуществляют на основе обработки исторических данных. Однако у этого подхода есть определенные недостатки, например можно с достаточной точностью прогнозировать уровень загрязнения, однако эти методы не могут помочь прогнозировать качество очистки вод за счет изменения конфигурации прудов-отстойников, поэтому применение традиционных подходов математического моделирования не утрачивает актуальности.

Математическое моделирование течения жидкости в водоемах осуществим с использованием модели идеальной стратифицированной жидкости. При существующей глубине прудов-отстойников плотность пренебрежимо мало отличается от среднего значения, поэтому классическая система уравнений для описания динамики стратифицированных течений сводится к решению одного уравнения Гельмгольца [7]:

$$\frac{\partial \psi^2}{\partial x^2} + \frac{\partial \psi}{\partial y^2} = \mu^2 (y - \psi), \quad (1)$$

где  $\psi$  – функция тока, связанная с компонентами вектора

скорости жидкости  $(u, v)$  соотношениями  $u = \frac{\partial \psi}{\partial y}, v = \frac{\partial \psi}{\partial x}$ ;

$\mu^2 = \frac{a}{fr^2}, a = \frac{\partial \rho}{\partial y}, Fr = \frac{u_0}{\sqrt{gL\Delta\rho/\rho_0}}$  – плотностное число Фруда

да,  $g$  – ускорение свободного падения,  $u_0$  – характерная скорость,  $L$  – характерная длина водоема,  $\rho$  – плотность,  $\Delta\rho$  – отклонение плотности от среднего значения  $\rho_0$ .

Для прудов-отстойников после цикла отстаивания разность в плотности жидкости у поверхности и возле дна за счет большей концентрации глинистых частиц у дна может составлять до 40 гр/м<sup>3</sup> при глубине водоема 30-50 м. Таким образом, можно ожидать наличие в водоемах различного рода вихревых течений. Плотностное число Фруда будет зависеть от конфигурации водоема, для рассматриваемой модели водоема глубиной 50 м и длиной 1400 м значение  $Fr = 0,000005$ , но даже при таких параметрах течение не будет ламинарным.

Рассмотрим три варианта водоемов, отличающиеся между собой расположением входных труб. В первом случае жидкость втекает по трубе, расположенной в верхней части водоема, – это моделирует ситуацию, когда жидкость просто закачивается в водоем по трубе, которая не имеет значительного заглубления и расположена у поверхности. Второй вариант – это расположение входной трубы в придонной ча-

сти водоема. Эта ситуация смоделирована исходя из предположения, что при наличии вихревых течений такая конфигурация труб повлияет на расположение вихрей и, следовательно, на процесс распространения примесей. Третий вариант – это закачивание в водоем жидкости через трубу, расположенную у входной стенки водоема и имеющую щелевое отверстие вдоль всей погруженной части трубы. Большая эффективность подобных отстойников для очистки от биологических примесей показана, например, в [6]. Поэтому представляется интересным исследовать гипотезу о большей эффективности такого метода заполнения водоема для прудов-отстойников для глинистых частиц, которые имеют гораздо большую линейную протяженность.

Для задачи в постановке через функцию тока можно поставить следующие граничные условия:

$\frac{\partial \psi}{\partial \bar{n}} = 0$  на тех границах, через которые нет течения жидкости;  
 $\frac{\partial \psi}{\partial \bar{n}} = u$ , где  $u = const$  – скорость течения жидкости через границу.

Решение осуществляется методом неполной аппроксимации минимальных невязок [8] с использованием сеточных уравнений на равномерной прямоугольной сетке.

В качестве второй модели мы рассматриваем модель двухкомпонентной (вода – примесь) неоднородной вязкой несжимаемой жидкости. Движение такой среды описывается нестационарной системой уравнений Навье-Стокса с переменной плотностью и вязкостью, а перенос примеси – уравнением конвективной диффузии. Вязкости и плотности среды определяются уравнениями, зависящими от концентрации компонент. В целом система принимает следующий вид:

$$\begin{cases} \frac{d(\rho \bar{V})}{dt} = -\nabla p + \text{div}(\mu \mathbf{D}) + \rho \bar{f}, \\ \text{div} \bar{V} = 0, \\ \frac{dC_1}{dt} = D \Delta C_1, \\ C_2 = 1 - C_1, \\ \mu = \frac{\mu_1 \mu_2}{\mu_2 C_1 + \mu_1 C_2}, \\ \rho = \rho_1 C_1 + \rho_2 C_2, \end{cases} \quad (2)$$

где  $\bar{V}(\bar{x}, t) = (v_1, v_2, v_3)$  – вектор скорости среды в точке  $\bar{x} = (x_1, x_2, x_3)$  и момент времени  $t$ ,  $\mu(\bar{x}, t)$  – динамическая вязкость,  $\rho(\bar{x}, t)$  – плотность,  $C_1(\bar{x}, t), C_2(\bar{x}, t)$  – объемные концентрации компонент с постоянными плотностями  $\rho_1, \rho_2$  и вязкостями  $\mu_1, \mu_2$ ,  $\bar{f} = (f_1, f_2, f_3)$  – вектор массовых сил,  $p$  – давление,  $\mathbf{D}$  – тензор скоростей деформаций, компоненты которого равны  $\tau_{ij} = \left( \frac{\partial v_i}{\partial x_j} + \frac{\partial v_j}{\partial x_i} \right)$ ,  $D = const$  – коэффициент диффузии примеси в воде.

Для численного решения используется метод конечных разностей на прямоугольной неравномерной сетке с шахматным расположением узлов. Система уравнений Навье-Стокса (2) аппроксимируется схемой расще-

пления по физическим факторам с учетом переменной плотности, а для решения уравнений конвективной диффузии применяется схема предиктор-корректор. Подробное описание этого численного алгоритма представлено в статье [9]. Примеры применения модели к задачам размыва и переноса связного грунта в воде представлены в работах [10, 11].

**РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ИНТЕРПРЕТАЦИЯ**

Рассматриваемые водоемы имеют глубину 50 м и протяженность 1400 м, что за счет диспропорции размеров создает определенные сложности при визуализации по-

лученных картин течения. Однако же в средней части водоема вихревые и линейные компоненты картины течения не меняются и остаются параллельными, картина течения имеет различия в начальной и конечных частях водоема (рис. 1, 2, 3).

Из анализа картин течения можно заметить, что форма вихрей возле входной части водоема различается, однако на отметке не более 60-80 м от входных труб характер течения стабилизируется, и далее по длине водоема профиль и ламинарной, и вихревой частей картин течения совпадает. Наложение расчета динамики концентрации взвешенных частиц на картину течения показывает, что раз-

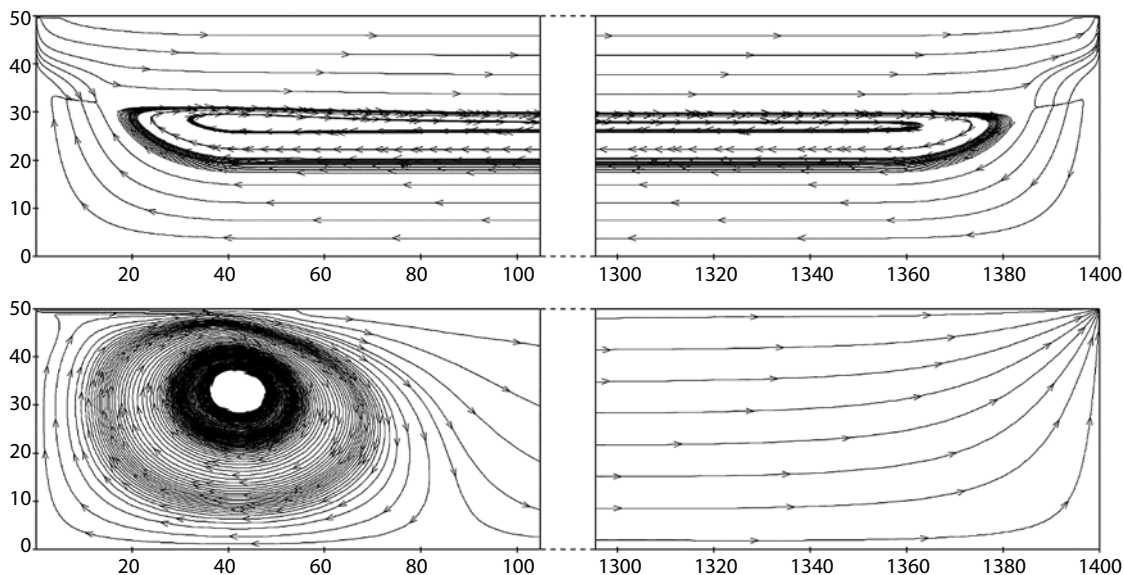


Рис. 1. Картина течения в отстойнике при расположении входной трубы в верхней части водоема, модель идеальной жидкости (сверху) и вязкой несжимаемой жидкости (снизу)

Fig. 1. Flow pattern in the tailings pond when the inlet pipe is located in the upper part of the pond, ideal fluid model (top) and viscous incompressible fluid model (bottom)

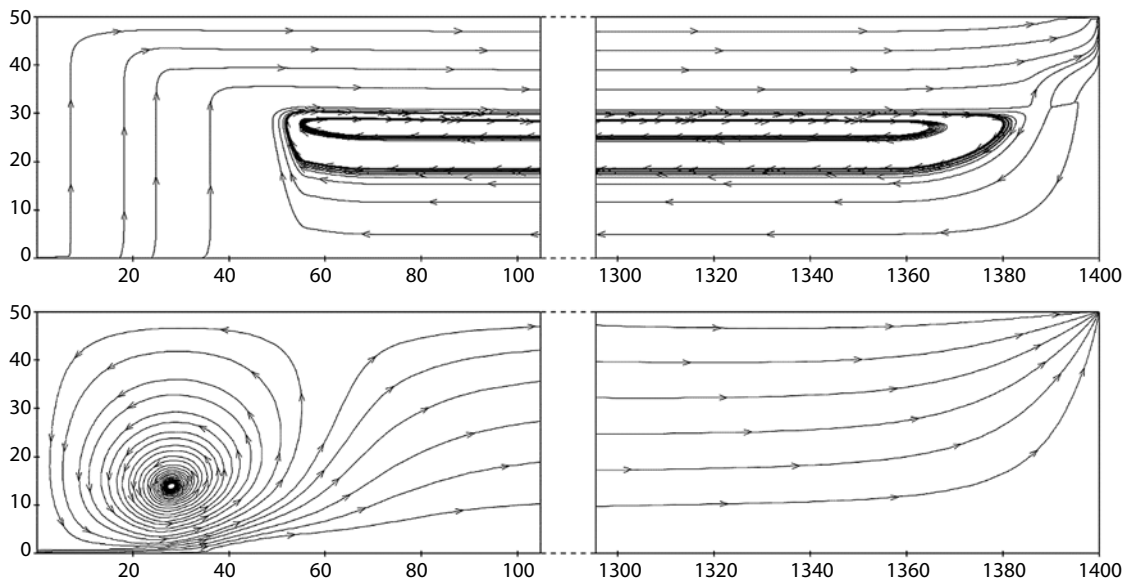


Рис. 2. Картина течения в отстойнике при расположении входной трубы в придонной области, модель идеальной жидкости (сверху) и вязкой несжимаемой жидкости (снизу)

Fig. 2. Flow pattern in the tailings pond when the inlet pipe is located in the bottom part of the pond, ideal fluid model (top) and viscous incompressible fluid model (bottom)

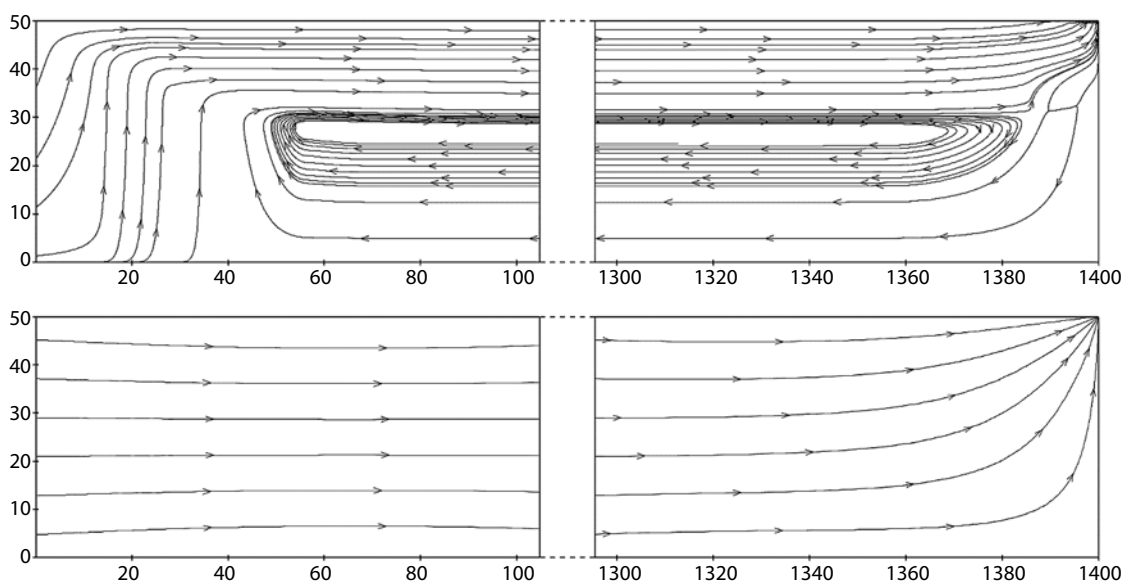


Рис. 3. Картина течения в отстойнике в случае использования трубы со щелевым отверстием на всей протяженности погруженного участка, модель идеальной жидкости (сверху) и вязкой несжимаемой жидкости (снизу)

Fig. 3. Flow pattern in the tailings pond when a slotted pipe is used throughout the submerged section, ideal fluid model (top) and viscous incompressible fluid model (bottom)

личие течений на такой малой части протяженности водоема не оказывает существенного влияния на механизм очистки сточных вод от взвешенных частиц. Определенные ограничения на интерпретацию результатов накладывают использование двумерной модели. Однако же существенное различие в глубине и длине водоема из имеющегося опыта [12] позволяет говорить о достаточно хорошем качестве двумерных моделей в подобных водоемах.

С точки зрения практического применения исследования можно говорить об оптимальном выборе размещения входных труб вблизи поверхности водоема, так как это технически наиболее простой вариант, и никакой другой вариант из исследованных не позволил получить лучших результатов функционирования очистного сооружения.

Лучшие результаты очистки при использовании щелевых отверстий в трубах или распределенной сети горизонтальных отводов от главной трубы для органических отходов по сравнению с очисткой сточных вод от взвешенных глинистых частиц могут быть объяснены не только различиями в пропорциях водоемов, но и физическими свойствами примесей – мелкодисперсные глинистые загрязнения имеют очень малую скорость оседания.

## Выводы

На основании исследований в работе зависимости эффективности работы прудов-отстойников для очистки сточных вод от взвешенных глинистых частиц установлено, что характер расположения входных труб несущественно влияет на течение и распространение примесей, картина течения отличается в начальной части водоема, что не оказывает существенного влияния на эффективность работы отстойника.

Из этого следует, что обосновано оптимальное размещение входных труб для закачки жидкости в верхней ча-

сти водоема, так как это является технически более простым решением.

Дополнительного исследования требует изучение других факторов, способных оказать влияние на течение и перенос примесей, например наличие источников грунтовых вод, осадков и других факторов.

## Список литературы

1. Green strategies in formulating, stabilizing and pipeline transportation of coal water slurry in the framework of WATER-ENERGY NEXUS: A state of the art review / D. Das, S.K. Das, P.K. Parhi et al. // Energy Nexus. 2021. Vol. 4. 30 December. 100025.
2. Provin T.L., Pitt J.L. Water Management: Clearing Cloudy and Muddy Water in Ponds and Lakes. Texas A&M Agrilife Extension article.
3. Automatic control of sewage treatment process using biological reaction (iSPEC 2021) / Z. Ruhua, Y. Niansheng, W. Yuqing et al. / 2021 IEEE Sustainable Power and Energy Conference (iSPEC), Nanjing, China. 2021. P. 737-742. DOI: 10.1109/iSPEC53008.2021.9735824.
4. Макридин Е.В., Тюленев М.А., Марков С.О. Экспериментальные исследования фильтрования карьерных сточных вод в крупнокусковых массивах из разрушенных горных пород в условиях разреза «Камышанский» // Техника и технология горного дела. 2020. № 2. С. 4-25.
5. Зиборов А.П., Бордий А.П., Денисенко А.И., Франчук В.П., Шломин А.Н. Разработка рациональной и экологически безопасной технологии очистки шламовых отстойников угольных шахт // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 1996. № 1.
6. Пат. RU 107962 U1 Российская Федерация, МПК B01D 21/24 Горизонтальный отстойник / Голованчиков А.Б., Милова Д.А., Балашов В.А., Кузнецов Н.А., Чурикова В.И.; заявитель и патентообладатель – ВолгГТУ – № 2011109533/05; заявл. 14.03.2011; опубл. 2011.09.10.

7. Белолипецкий В.М., Шокин Ю.Н., Математическое моделирование в задачах охраны окружающей среды. Новосибирск: Издательство «ИНФОЛИО-пресс», 1997. 240 с.
8. Захаров Ю. Н. Градиентные итерационные методы решения задач гидродинамики. Новосибирск: Наука, 2004. 240 с.
9. Zakharov Y., Zimin A., Ragulin V. Two-component incompressible fluid model for simulating surface wave propagation // *Communications in Computer and Information Science*. 2015. No 549. P.201-210.
10. Modeling cohesionless and cohesive soils erosion near oil platforms of gravity type / N.D. Belyaev, N.A. Geydarov, K.S. Ivanov et al. / International Conference «Stability and Control Processes» in Memory of V.I. Zubov (SCP). St. Petersburg, Russia. IEEE, 2015. P. 5-8.
11. Mathematical modeling of a hydraulic flume for carrying out numerical experiments on coastal waves and erosion of cohesive soil / Y.N. Zakharov, A.I. Zimin, I.S. Nudner et al. // *Journal of Physics: Conference Series*. 2020. Vol. 1441. No. 1. P. 012182.
12. Захаров Ю.Н., Потапов В.П., Счастливцев Е.Л., Чирюкина А.В., Моделирование распространения загрязняющих веществ в затопленных горных выработках // *Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал)*. 2009. № S18. С. 34-38.

## Original Paper

UDC 622.85:622.015 © A.V. Vylegzhanina, A.I. Zimin, 2023  
 ISSN 0041-5790 (Print) • ISSN 2412-8333 (Online) • Ugol' – Russian Coal Journal, 2023, № 12, pp. 80-84  
 DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2023-12-80-84>

## Title

## COMPARISON OF FLOW PATTERNS IN TAILINGS PONDS OF DIFFERENT GEOMETRIES

## Authors

Vylegzhanina A.V.<sup>1</sup>, Zimin A.I.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Kemerovo State University, Kemerovo, 650000, Russian Federation

## Authors Information

**Vylegzhanina A.V.**, PhD (Engineering), Associated Professor, Department of Digital Technologies, e-mail: [alina\\_com@rambler.ru](mailto:alina_com@rambler.ru)

**Zimin A.I.**, PhD (Physics and Mathematics), Associated Professor, Department of Digital Technologies, e-mail: [sliii@mail.ru](mailto:sliii@mail.ru)

## Abstract

Dirty wastewater from coal mining and processing enterprises requires treatment even to be used as process water and to be discharged into natural water bodies. One of the common treatment methods is water settling in special tailings ponds, which continuously receive contaminated water and from where the already treated water is pumped out to maintain the water level in the pond. This paper examines various configurations of the water injection system into the tailings ponds in order to study the flow patterns and their effect on the treatment result. It is found that the optimal location of the inlet pipes is near the surface of the pond. Complex vortex-type flows are formed in the ponds, and the configuration of the inlet pipes affects only a small extent of the tailings pond length.

## Keywords

Flow, Ideal fluid, Viscous incompressible fluid, Wastewater treatment, Fine impurities.

## References

1. Das D., Das S.K., Parhi P.K., Dand A.K., Mishra S. & Misra P.K. Green strategies in formulating, stabilizing and pipeline transportation of coal water slurry in the framework of WATER-ENERGY NEXUS: A state of the art review. *Energy Nexus*, 2021, Vol. 4, 30 December, 100025.
2. Provin T.L. & Pitt J.L. Water Management: Clearing Cloudy and Muddy Water in Ponds and Lakes. Texas A&M Agrilife Extension article.
3. Ruhua Z., Niansheng Y., Yuqing W., Dongliang X. & Jiahao S. Automatic control of sewage treatment process using biological reaction (iSPEC 2021), 2021. IEEE Sustainable Power and Energy Conference (iSPEC), Nanjing, China, 2021, pp. 737-742. DOI: [10.1109/iSPEC53008.2021.9735824](https://doi.org/10.1109/iSPEC53008.2021.9735824).
4. Makridin E.V., Tyulenev M.A. & Markov S.O. Experimental studies of the in-pit run-off water filtration in lumpy masses of broken rocks in conditions of the Kamyshtanskiy strip mine. *Tehnika i tehnologiya gornogo dela*, 2020, (2), pp. 4-25. (In Russ.).
5. Ziborov A.P., Bordiy A.P., Denisenko A.I., Franchuk V.P. & Shlomin A.N. Development of a rational and environmentally safe technology to clean tailings ponds of coal mines. *Gornyy informatsionno-analiticheskij byulleten'*, 1996, (1), 6. Golovanchikov A.B., Milova D.A., Balashov V.A., Kuznetsov N.A. & Churikova V.I. Horizontal settling tank. Pat. RU 107962 U1 Russian Federation, Interna-

tional Patent Classification: B01D 21/24, applicant and patentee: Volgograd State Technical University, Applic. No. 2011109533/05, claim 14.03.2011, publ. 10.09.2011.

7. Belolipetsky V.M. & Shokin Y.N. Mathematical modeling in environmental protection tasks. Novosibirsk, INFOLIO-press Publ., 1997, 240 p. (In Russ.).
8. Zakharov Yu.N. Gradient iterative methods for solving fluid dynamics problems. Novosibirsk, Nauka Publ., 2004, 240 p. (In Russ.).
9. Zakharov Y., Zimin A. & Ragulin V. Two-component incompressible fluid model for simulating surface wave propagation. *Communications in Computer and Information Science*, 2015, (549), pp. 201-210.
10. Belyaev N.D., Geydarov N.A., Ivanov K.S., Lebedev V.V., Nudner I.S., Ragulin V.V., Zakharov Y.N. & Zimin A.I. Modeling cohesionless and cohesive soils erosion near oil platforms of gravity type. International Conference «Stability and Control Processes» in Memory of V.I. Zubov (SCP). St. Petersburg, Russia, IEEE, 2015, pp. 5-8.
11. Zakharov Y.N., Zimin A.I., Nudner I.S. & Yashin M.E. Mathematical modeling of a hydraulic flume for carrying out numerical experiments on coastal waves and erosion of cohesive soil. *Journal of Physics: Conference Series*, 2020, Vol. 1441, (1), 012182.
12. Zakharov Yu.N., Potapov V.P., Schastlyvtsev E.L. & Chiryukina A.V. Modeling of pollutants distribution in flooded mine workings. *Gornyy informatsionno-analiticheskij byulleten'*, 2009, (S18), pp. 34-38. (In Russ.).

## Acknowledgements

The research was carried out within the framework of a comprehensive scientific and technical program of a full innovation cycle "Development and implementation of a complex of technologies in the fields of exploration and extraction of minerals, industrial safety, bioremediation, creation of new products of deep processing from coal raw materials with a consistent reduction of the environmental burden on the environment and risks to the life of the population", approved by the Decree of the Government of the Russian Federation dated 05/11/2022, No. 1144-r, Agreement No. 075-15-2022-1201 dated 30.09.2022, with financial support from the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation.

## For citation

Vylegzhanina A.V. & Zimin A.I. Comparison of flow patterns in tailings ponds of different geometries. *Ugol'*, 2023, (12), pp. 80-84. (In Russ.). DOI: [10.18796/0041-5790-2023-12-80-84](https://doi.org/10.18796/0041-5790-2023-12-80-84).

## Paper info

Received July 12, 2023

Reviewed November 10, 2023

Accepted November 27, 2023

# Анализ микроэлементного состава почв рекультивированных отвалов Кизеловского угольного бассейна\*

DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2023-12-85-91>

В результате горнодобывающей деятельности сформировалось большое количество заброшенных шахт и хвостохранилищ. Заброшенные шахты, изливы кислых шахтных вод и отвалы вскрышных пород являются основными источниками загрязнения окружающей среды в Кизеловском угольном бассейне (КУБ), расположенном на территории Пермского края (Россия). Важным аспектом сохранения экосистем в КУБе являются рекультивация угольных отвалов и создание или восстановление почвенного покрова. Объектом исследования являются почвы отвалов КУБа, расположенных в поселках Углеуральский, Шумихинский и Шахты. Для исследования почв отвалов использованы стандартные методики химического анализа, в том числе проведена оценка загрязнения почв с помощью расчетных коэффициентов – индекс геологического накопления элементов в почвах ( $I_{geo}$ ) и фактор загрязнения ( $CF$ ). Полученные результаты свидетельствуют о том, что относительно кларка по Виноградову (1962) в почвах отвалов по всему профилю присутствует превышение по  $Li$ ,  $B$ ,  $V$ ,  $Cu$ ,  $Cd$ ,  $Pb$ ,  $As$ ,  $Hg$  и  $Cr$ . Относительно фоновой пробы также имеются превышения по всему профилю в почвах отвалов по  $Li$ ,  $B$ ,  $Pb$ ,  $As$  и  $Se$ . Согласно коэффициенту геологического накопления элементов в почвах ( $I_{geo}$ ) выделено умеренное загрязнение по  $Li$  для почвы отвала шахты Северная, расположенного в пос. Шахты. Высокий фактор загрязнения ( $CF$ ) наблюдается по  $Li$ ,  $B$ ,  $V$  и  $Co$  во всех почвах отвалов. Полученные данные показали, что даже после рекультивации в почвах отвалов происходит аккумуляция таких элементов, как  $Li$ ,  $B$ ,  $V$ . Исследование дает важную информацию для дальнейшей разработки рекультивационных мероприятий по восстановлению районов, подверженных влиянию угольных отвалов.

**Ключевые слова:** горнодобывающая деятельность, угольная промышленность, потенциально токсичные элементы, почвы, отвалы, рекультивация, восстановление, коэффициенты загрязнения.

**Для цитирования:** Перевощикова А.А., Малышкина Е.Е., Митракова Н.В. Анализ микроэлементного состава почв рекультивированных отвалов Кизеловского угольного бассейна // Уголь. 2023. №. 12 С. 85-91. DOI: 10.18796/0041-5790-2023-12-85-91.

## ПЕРЕВОЩИКОВА А.А.

Младший научный сотрудник  
Естественнонаучного института  
Пермского государственного национального  
исследовательского университета,  
аспирант Пермского национального  
исследовательского  
политехнического университета,  
614990, г. Пермь, Россия,  
e-mail: aaperevoshchikova@yandex.ru

## МАЛЫШКИНА Е.Е.

Инженер-исследователь  
Естественнонаучного института  
Пермского государственного национального  
исследовательского университета,  
614990, г. Пермь, Россия,  
e-mail: thelionofcintra@gmail.com

## МИТРАКОВА Н.В.

Канд. биол. наук,  
старший научный сотрудник  
Естественнонаучного института  
Пермского государственного национального  
исследовательского университета,  
614990, г. Пермь, Россия,  
e-mail: mitrakovanatalya@mail.ru

## ВВЕДЕНИЕ

В результате добычи угля сформировалось большое количество заброшенных шахт и хвостохранилищ. В частности, они могут служить источником поступления большого количества загрязняющих веществ в окружающую среду. В процессе подземной разработки уголь-

\* Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки РФ проект FSNF-2020-0021.

ного месторождения происходят изменения в ландшафтной структуре территории [1, 2, 3, 4], и расширяется ассоциация многих элементов во всех природных средах. В биосферу поступает большое количество As, Al, Cd, Ti, Mn, Mo, Co, Li, Pb, F, Br, а также радиоизотопы Th и Sr [5, 6]. Многие из этих элементов являются токсичными для биоты и здоровья человека даже в небольших концентрациях поскольку могут иммигрировать в ближайшие водоемы со стоками [6, 7].

Основные минералы, находящиеся в угле, включают кварц, глину, серосодержащие минералы (пирит) и в меньшем количестве полевые шпаты и карбонаты [8]. Установлено, что уголь обогащен Cr, Pb, Hg, Mo, Zn и Sb по сравнению с континентальной корой, а пустая (вскрышная) порода, которая складывается в отвалы может выделять до 10 раз больше токсичных элементов в более высоких концентрациях [3]. В Китае насчитывается около 1500 угольных отвалов, в которых содержатся тяжелые металлы и сульфиды [9, 10]. Различные тяжелые металлы, такие как Pb, Cd, Cr, Cu и Zn, накапливаются в почвах вблизи шахт в результате горнодобывающих процессов и/или дренажа шахт и отходов [11]. По данным [12], содержание Zn, Cu, Cd, Pb и Ni в отвалах угольных отходов в Польше превышает среднее содержание в польских почвах.

Присутствие серосодержащих минералов в отвальной породе вызывает загрязнение водных объектов и почв, кроме этого, климатические условия, размер частиц и степень уплотнения отходов могут ускорять или снижать скорость и масштаб загрязнения [13]. При действии атмосферных осадков (выветривание, вымывание вещества отвалами дождевой или талой водой) образуются стоки с угольных отвалов. Состав стоков близок по составу шахтным водам из-за развивающихся сернокислотных процессов, что обеспечивает изменение pH в сторону сильного подкисления (pH 2-3) [8]. Окисление сульфидных минералов в отвалах является первопричиной понижения pH, что приводит к многочисленным процессам, высвобождающим железо, сульфаты и токсичные элементы в составе кислых шахтных стоков. Эти процессы приводят к повышению кислотности почвы [14] и замедлению роста и развития растений [15].

Вследствие этого, стоки с породных отвалов и изливы шахтных вод являются источниками загрязнения и повышенного содержания микроэлементов (As, Co, Ni, Pb и Zn) в почвах, донных отложениях и водах [1, 16, 17].

Отвалы пустой породы и изливы кислых шахтных вод являются одними из основных источников воздействия на ландшафты Кизеловского угольного бассейна (КУБа), расположенного на территории Пермского края (Россия). В настоящее время шахты законсервированы, однако отвалы, стоки с отвалов и изливы кислых шахтных вод воздействуют на окружающую среду уже на протяжении 20 лет, что приводит к масштабному рассеиванию загрязняющих веществ. Согласно исследованиям [18], некоторые угольные отвалы КУБа, в сравнении со средним мировым содержанием, значительно обогащены Hg и Cd (в среднем более чем в 10 раз), а также V и Sb (5, 6 раз). Более чем в 3 раза в них выше среднее содержание Cu, Zn, As, Pb.

Основной целью данного исследования является оценка загрязнения почв рекультивированных отвалов с использованием эколого-геохимических коэффициентов загрязнения. Исследование проводилось в отдельных районах КУБа, где хранятся отходы от угледобычи. Оценка загрязнения почвы дает важную информацию об экологических рисках в районах разработки угольных месторождений и способности восстановления почвенного покрова после проведенной рекультивации на отвалах.

### ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

**Территория исследования.** КУБ расположен в восточной части Пермского края и занимает площадь около 1500 км<sup>2</sup> [8] (см. рисунок).

Согласно ландшафтному районированию, территория КУБа относится к Уральской геохимической провинции элювиально-трансэлювиальной области остаточных горных массивов западного склона Среднего Урала и к Верхнеяйвинскому ландшафту высоких грядово-увалистых предгорий на палеозойских карбонатных и частично терригенных породах [19].

Добыча угля в КУБе велась с конца XVIII в. до конца XX в. подземным способом, в начале 2000-х годов шахты были ликвидированы. Разработка месторождений угля сопровождалась образованием породных отвалов, которых на территории КУБа около 100 разного размера, некоторые из них в разные годы были рекультивированы [8].



*Территория исследования и опробования  
Survey and sampling area*



Многолетняя эксплуатация шахт и их ликвидация ненадлежащим способом повлекли за собой негативные последствия для природной среды. На незадернованных склонах отвалов идут процессы физического выветривания и водной эрозии в результате поверхностного стока талых и дождевых вод. Стоки с отвала имеют сильноокислую реакцию – pH 2-3.

В результате действия атмосферных осадков выщелачиваются такие элементы как Be, Li, Mg, Al, их содержание в сточных водах с отвалов превышает ПДК в сотни и тысячи раз, в меньшем количестве, но также повсеместно, обнаруживаются Cd, Co, Ni, Si [1, 2, 8].

Объектами исследования являлись почвы отвалов вскрышных пород от угледобычи. Пробы отобраны в летний период 2021–2022 года. Исследовано 3 разреза глубиной 30 см, ниже наблюдается плотный каменистый материал, что затруднило дальнейший отбор проб. В связи с отсутствием генетических горизонтов пробы отобраны с шагом 10 см на каждом разрезе. Разрез № 1 выполнен на отвале шахты Центральная, пос. Углеуральский. Разрез № 2 выполнен на отвале шахты Северная, пос. Шахты. Разрез №3 выполнен на отвале шахты Гореловская, пос. Шумихинский. Все отвалы представляют собой холмы с плоской вершиной, на которых проведена рекультивация [14]. В качестве фоновых отобраны пробы дерново-элювозема во вторичном мелколиственном лесу.

**Методы исследования.** В почвенных образцах определяли pH водной и солевой (KCl) вытяжках потенциометрическим методом по ГОСТ 26423-85 и ГОСТ 26483-85 соответственно. В лабораторных условиях почвенные пробы высушивались при комнатной температуре, затем их измельчали. Определение микроэлементов (Li, Be, B, Mg, Al, V, Cr, Mn, Co, Ni, Cu, Zn, As, Se, Rb, Cd, Sn, Cs, Hg, Pb) в почвах отвалов проводилось методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой на ELAN 9000 после микроволнового кислотного разложения.

С помощью коэффициентов – индекса геологического накопления элементов в почвах (*Igeo*) и фактора загрязнения (CF) произведена оценка риска загрязнения окружающей среды потенциально токсичными элементами. Индексы дают комплексную геохимическую оценку состояния почвенной среды. Полученные значения элементов в почвах отвалов сравнивались с фоновыми значениями в дерново-элювоземе и с кларками по Виноградову (1962).

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В районе исследования широко распространены почвы подзолистого типа (горные подзолистые, дерново-подзолистые), которые характеризуются кислой реакцией среды, что подтверждается pH 4,5-4,7 в фоновой пробе почв.

Реакция среды почвы отвала шахты Центральная (литострат) с глубиной меняется от нейтральной до кислой (pH 6,8-3,3); реакция почвы отвала шахты Северная (эмбриозем) с глубиной меняется от слабощелочной до слабокислой (pH 7,9-5,0); реакция почвы отвала шахты Гореловская (литострат) также меняется с глубиной, но остается в пределах кислой (pH 6,1-4,5). Для литостратов такое распределение кислотности связано с внесением глинистого материала. Для эмбриозема слабощелочная реакция обусловлена внесением извести в верхний слой отвала при рекультивации.

Вещество отвалов, климатические условия и экологические особенности территории непосредственно влияют на содержание и распределение микроэлементов за счет мобилизации и привноса элементов с поверхностным стоком и атмосферным переносом, в частности в поверхностные слои почв. В зависимости от положения в ландшафте микроэлементы могут аккумулироваться или мигрировать в ближайшие водоемы, грунтовые воды и потребляться растениями. Согласно таблице 1 отмечено наибольшее количество проб, превышающих фоновое и кларковое содержание элементов в разных слоях почв исследуемой территории, что также подтверждается расчетными коэффициентами *Igeo*, CF. Относительно кларка по Виноградову (1962), в почвах отвалов по всему профилю присутствует превышение (табл. 1) по Li (в 2-10 раз), B (в 39-65 раз), V (в 1,5-4 раза), Cu (в 1,3-4 раза), Cd (в 34-154 раза), Pb (в 2-4 раза), As (7-15 раз), Hg (8-10 раз), Cr (1-4 раза). Относительно фоновой пробы также имеются превышения по всему профилю в почвах отвалов по Li, B, Fe, Pb, As и Se (табл. 1).

Повышенное содержание Li (в 4-9 раз) в литостратах относительно фона и кларка с глубиной связано с тем, что Li сравнительно легко высвобождается из первичных почвенных минералов при окислении и в кислой среде, а затем захватывается глинистыми минералами. В литостратах при понижении pH до кислой, содержание Li увеличивается именно в глубинных горизонтах. Повышенное содержание B в почвах отвалов по сравнению с фоном и

Таблица 1

### Содержание микроэлементов в почвах отвалов и фоновой пробе, мг/кг

Content of trace elements in soils of waste dumps and baseline sample, mg/kg

Элемент	Слой, см	Литострат, шахта	Эмбриозем, шахта	Литострат, шахта	Дерново-элювозем	Кларк по Виноградову (1962)
		Центральная	Северная	Гореловская		
Li	0-10	139,26±6,96	302,64±15,13	126,51±6,33	48,09±2,40	32
	10-20	172,08±8,60	339,37±16,97	121,00±6,05	44,66±2,23	
	20-30	262,27±13,11	85,73±4,29	194,06±9,70	38,69±1,93	
Be	0-10	4,70±0,24	6,11±0,31	2,92±0,15	2,79±0,14	3,8
	10-20	5,33±0,27	5,36±0,27	2,76±0,14	2,54±0,13	
	20-30	4,39±0,22	1,91±0,10	4,46±0,22	1,93±0,10	

Элемент	Слой, см	Литострат, шахта Центральная	Эмбриозем, шахта Северная	Литострат, шахта Гореловская	Дерново-элювозем	Кларк по Виноградову (1962)
<b>B</b>	0-10	<b>680,88±34,04</b>	<b>679,27±33,96</b>	<b>488,64±24,43</b>	225,16±11,26	12
	10-20	<b>704,72±35,24</b>	<b>776,79±38,84</b>	<b>468,10±23,41</b>	221,45±11,07	
	20-30	<b>543,48±27,17</b>	<b>514,12±25,71</b>	<b>598,86±29,94</b>	204,41±10,22	
<b>Mg</b>	0-10	<b>1901,52±95,08</b>	<b>1657,07±82,85</b>	178,24±8,91	1206,18±60,31	18700
	10-20	<b>1875,77±93,79</b>	<b>681,17±34,06</b>	145,17±7,26	561,71±28,09	
	20-30	<b>764,54±38,23</b>	<b>4231,03±211,55</b>	140,49±7,02	718,62±35,93	
<b>Al</b>	0-10	238,82±11,94	158,28±7,91	82,88±4,14	240,00±12,00	80500
	10-20	<b>232,51±11,63</b>	222,72±11,14	84,19±4,21	226,94±11,35	
	20-30	210,87±10,54	<b>277,71±13,89</b>	139,35±6,97	225,02±11,25	
<b>V</b>	0-10	<b>306,94±15,35</b>	<b>283,35±14,17</b>	<b>345,20±17,26</b>	174,69±8,73	90
	10-20	<b>332,20±16,61</b>	<b>298,06±14,90</b>	<b>330,54±16,53</b>	176,53±8,83	
	20-30	<b>296,28±14,81</b>	139,13±6,96	<b>300,85±15,04</b>	160,29±8,01	
<b>Mn</b>	0-10	<b>751,42±37,57</b>	334,44±16,72	211,95±10,60	496,00±24,80	1000
	10-20	<b>821,98±41,10</b>	104,86±5,24	204,39±10,22	511,51±25,58	
	20-30	239,09±11,95	46,47±2,32	120,38±6,02	508,85±25,44	
<b>Co</b>	0-10	<b>40,49±2,02</b>	<b>31,04±1,55</b>	8,20±0,41	15,91±0,80	18
	10-20	<b>39,21±1,96</b>	13,81±0,69	7,98±0,40	15,88±0,79	
	20-30	10,52±0,53	4,18±0,21	7,57±0,38	14,83±0,74	
<b>Ni</b>	0-10	<b>107,97±5,40</b>	<b>75,79±3,79</b>	27,47±1,37	53,11±2,66	58
	10-20	<b>119,46±5,97</b>	47,13±2,36	26,57±1,33	53,13±2,66	
	20-30	43,62±2,18	16,66±0,83	30,72±1,54	48,65±2,43	
<b>Cu</b>	0-10	<b>144,53±7,23</b>	<b>93,86±4,69</b>	<b>88,17±4,41</b>	85,23±4,26	47
	10-20	<b>185,96±9,30</b>	61,28±3,06	<b>85,60±4,28</b>	79,25±3,96	
	20-30	<b>110,81±5,54</b>	<b>74,30±3,72</b>	62,46±3,12	70,43±3,52	
<b>Zn</b>	0-10	<b>149,42±7,47</b>	<b>218,95±10,95</b>	64,59±3,23	128,57±6,43	83
	10-20	<b>172,40±8,62</b>	74,27±3,71	61,89±3,09	126,99±6,35	
	20-30	61,92±3,10	26,24±1,31	49,41±2,47	97,08±4,85	
<b>As</b>	0-10	<b>19,89±0,99</b>	<b>14,54±0,73</b>	<b>21,54±1,08</b>	9,18±0,46	1,7
	10-20	<b>22,05±1,10</b>	<b>12,25±0,61</b>	<b>23,09±1,15</b>	8,31±0,42	
	20-30	<b>18,85±0,94</b>	<b>13,37±0,67</b>	<b>26,18±1,31</b>	8,90±0,45	
<b>Rb</b>	0-10	14,96±0,75	<b>27,47±1,37</b>	7,21±0,36	26,68±1,33	150
	10-20	<b>16,40±0,82</b>	<b>12,50±0,63</b>	6,61±0,33	9,41±0,47	
	20-30	<b>41,93±2,10</b>	<b>82,84±4,14</b>	10,34±0,52	17,29±0,86	
<b>Cd</b>	0-10	11,08±0,55	<b>13,10±0,66</b>	5,02±0,25	11,12±0,56	0,13
	10-20	<b>12,45±0,62</b>	<b>20,34±1,02</b>	4,98±0,25	11,21±0,56	
	20-30	<b>13,35±0,67</b>	7,96±0,40	10,19±0,51	12,58±0,63	
<b>Sn</b>	0-10	<b>5,53±0,28</b>	<b>11,11±0,56</b>	<b>4,78±0,24</b>	4,39±0,22	2,5
	10-20	<b>8,43±0,42</b>	<b>8,44±0,42</b>	<b>4,45±0,22</b>	4,18±0,21	
	20-30	<b>7,02±0,35</b>	2,28±0,11	<b>12,19±0,61</b>	3,16±0,16	
<b>Cs</b>	0-10	<b>4,39±0,22</b>	<b>5,40±0,27</b>	1,41±0,07	2,39±0,12	3,7
	10-20	<b>4,09±0,20</b>	<b>3,11±0,16</b>	1,34±0,07	1,78±0,09	
	20-30	<b>6,25±0,31</b>	<b>2,69±0,13</b>	<b>2,23±0,11</b>	1,92±0,10	
<b>Hg</b>	0-10	4,00±0,20	0,68±0,03	4,53±0,23	6,55±0,33	0,083
	10-20	<b>13,14±0,66</b>	2,87±0,14	5,14±0,26	6,91±0,35	
	20-30	2,31±0,12	3,84±0,19	0,94±0,05	6,21±0,31	
<b>Pb</b>	0-10	<b>64,04±3,20</b>	<b>86,02±4,30</b>	<b>49,92±2,50</b>	43,07±2,15	16
	10-20	<b>70,19±3,51</b>	<b>71,91±3,60</b>	<b>47,97±2,40</b>	33,53±1,68	
	20-30	<b>61,41±3,07</b>	<b>33,99±1,70</b>	<b>32,94±1,65</b>	23,28±1,16	
<b>Se</b>	0-10	<b>3,16±0,16</b>	<b>4,44±0,22</b>	<b>4,65±0,23</b>	3,13±0,16	-
	10-20	<b>4,58±0,23</b>	<b>3,57±0,18</b>	<b>4,25±0,21</b>	3,40±0,17	
	20-30	<b>5,59±0,28</b>	<b>7,43±0,37</b>	<b>6,07±0,30</b>	2,56±0,13	
<b>Cr</b>	0-10	<b>340,01±17,00</b>	<b>230,98±11,55</b>	133,78±6,69	196,93±9,85	83
	10-20	<b>371,94±18,60</b>	<b>280,41±14,02</b>	129,23±6,46	200,11±10,01	
	20-30	<b>265,49±13,27</b>	99,83±4,99	207,86±10,39	232,55±11,63	

\* жирным выделено превышение над фоновым содержанием

\*\* серым выделено превышение над кларком по Виноградову (1962)

кларком в верхних слоях эмбриозема обусловлено также реакцией среды (рН 7,9-7,4), причем максимум содержания всегда наблюдается при рН выше 7. Обнаружено превышение содержания V (в 1,5–2 раза) в почвах отвалов по сравнению с фоновым содержанием и кларком. V имеет свойства накапливаться в углеродсодержащих отложениях, также его превышение в отвалах КУБа отмечено в работе [18].

Отмечено высокое содержание S, Cu, Cd, Sn, Pb, As по сравнению с фоном в верхних слоях почв отвалов, что связано с процессами почвообразования на отвалах и высоким содержанием сульфидных минералов. В исследовании [6] установлено, что Cr, Se, Cd, Hg и As присутствуют в сульфидных минералах, что связано с почвообразующим процессам на отвалах; Be и V встречались в карбонатных минералах; Pb отмечен в основном в глинистых минералах в образцах горных пород. В то время как As и Hg в основном встречались в сульфидных минералах [6].

Исследования, проведенные на угольном месторождении в Турции [16], также показывают, что Cr, Ni и Hg в почвах шахт присутствуют в высоких концентрациях, что связано с загрязнением Cr вследствие деятельности угольной шахты. Первичные носители Cr в углях включают ор-

ганические соединения, которые связаны с Cr и хромсодержащими минералами (такие как пирит и глины) [20].

При оценке загрязнения почв отвалов с помощью коэффициентов  $I_{geo}$  и CF получены следующие результаты. При аккумуляции Mn, Rb, Cd, Hg и Se во всех почвах отвалов были зафиксированы значения  $I_{geo}$  ниже 1 (табл. 2), что свидетельствовало о том, что почвы отвалов не загрязнены данными элементами. В случае аккумуляции B, V и As уровень загрязнения варьируется от не загрязненного до умеренно загрязненного. Отмечено среднее загрязнение по Li для эмбриозема. По результатам расчета  $I_{geo}$  отмечено наименьшее загрязнение микроэлементами в верхнем слое почвы в литострате на шахте Гореловская. В целом, почвы отвала характеризуются умеренным загрязнением (табл. 2).

Фактор загрязнения (CF) использовали для оценки загрязнения почвы элементами, представляющими токсическую опасность для окружающей среды и здоровья человека. Высокий коэффициент загрязнения (CF) наблюдается от 3 до 6 по Li, от 2 до 3 по B, в пределах 2 по V, от 1 до 3 по Co во всех почвах отвалов. Расчет коэффициентов выявил одинаковые тенденции – умеренное загрязнение всех проб почв отвалов по B, V и As и средней степени загрязнения по Li.

Таблица 2

### Результаты расчета индекса геологической аккумуляции ( $I_{geo}$ ) в верхнем слое почв отвалов (0-10 см)

Results of calculated index of geological accumulation ( $I_{geo}$ ) in the top soil layer of waste dumps (0-10 cm)

Элемент	Расчетные данные по Литострат, шахта Центральная	Расчетные данные по Эмбриозем, шахта Северная	Расчетные данные по Литострат, шахта Гореловская	Степень загрязнения почв отвалов
Li	1,0	2,1	0,8	$I_{geo} < 0$ чистые почвы
Be	0,2	0,6	<0	$0 < I_{geo} < 1$ Не загрязнённые до умеренно загрязненные
B	1,0	1,0	0,5	$1 < I_{geo} < 2$ Умеренно загрязненные
Mg	0,1	<0	<0	$2 < I_{geo} < 3$ Средне загрязненные
Al	<0	<0	<0	$3 < I_{geo} < 4$ Сильно загрязненные
V	0,2	0,1	0,4	$4 < I_{geo} < 5$ Сильно загрязненные до чрезмерно загрязненные
Mn	<0	<0	<0	$I_{geo} > 5$ Чрезмерно загрязненные
Co	0,7	0,4	<0	
Ni	0,4	<0	<0	
Cu	0,2	<0	<0	
Zn	<0	0,2	<0	
As	0,5	0,1	0,6	
Rb	<0	<0	<0	
Cd	<0	<0	<0	
Sn	<0	0,8	<0	
Cs	0,3	0,6	<0	
Hg	<0	<0	<0	
Pb	<0	0,4	<0	
Se	<0	<0	<0	
Cr	0,2	<0	<0	

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Отвалы угольной промышленности становятся почвообразующей породой, которая совместно с проведенными рекультивационными мероприятиями определяет микроэлементный состав почв отвалов КУБа.

Относительно кларка по Виноградову (1962), в почвах отвалов по всему профилю присутствует превышение по Li, B, V, Cu, Cd, Pb, As, Hg и Cr. Относительно фоновой пробы также имеются превышения по всему профилю в почвах отвалов по Li, B, Pb, As и Se.

Результаты микроэлементного анализа показали, что даже после рекультивации в почвах отвалов происходит аккумуляция элементов. Кроме того, металлы не поддаются биологическому разложению из-за значительной абсорбции гумусом и коллоидами глины в почве, что позволяет им аккумулироваться в течение более длительного периода времени.

Исследование загрязнения почв отвалов КУБа оценивалось с использованием эколого-геохимических коэффициентов (индекс геоаккумуляции – *Igeo*, фактор загрязнения – CF). Результаты показали высокий фактор загрязнения (CF) по Li от 3 до 6, по B от 2 до 3, в пределах 2 по V, по Co от 1 до 3 во всех почвах отвалов КУБа. По расчетам коэффициентов отмечены одинаковые тенденции – умеренное загрязнение всех проб почв отвалов по B, V, As и средней степени загрязнение по Li.

Исследование дает важные результаты для разработки эффективных рекультивационных мероприятий по восстановлению районов, подверженных влиянию угольных отвалов.

## Список литературы

1. Environmental Assessment Impact of Acid Mine Drainage from Kizel Coal Basin on the Kosva Bay of the Kama Reservoir (Perm Krai, Russia) / E. Ushakova, E. Menshikova, S. Blinov et al. // *Water*. 2022. 14(5). 727.
2. Distribution of trace elements, rare earth elements and ecotoxicity in sediments of the Kosva bay, Perm region (Russia) / E. Ushakova, E. Menshikova, S. Blinov et al. // *Journal of Ecological Engineering*. 2022. 23(4). P. 1-16.
3. Leaching characteristic and environmental implication of rejection rocks from Huainan Coalfield, Anhui Province, China / C. Zhou, G. Liu, T. Fang et al. // *J. Geochem. Explor.* 2014. 143. P. 54-61.
4. Mineral and chemical composition and some trace element contents in coals and coal ashes from Huaibei coal field, China / G. Liu, S.V. Vassilev, L. Gao et al. // *Energy Convers. Manag.* 2005. No 46. P. 2001-2009.
5. Перельман А.И., Касимов Н.С. Геохимия ландшафтов. М: МГУ, 1999. 610 с.
6. Multivariate analysis of trace elements leaching from coal and host rock / Shan Yao, Wenfeng Wang, Yong Qin et al. // *Groundwater for Sustainable Development*. 2019. Vol. 8. P. 402-412.
7. Risk assessment of particle dispersion and trace element contamination from mine-waste dumps / A. Romero, I. González, J.M. Martín et al. // *Environ Geochem Health*. 2015. No 37. P. 273-286.
8. Максимович Н.Г., Пьянков С.В. Кизеловский угольный бассейн: экологические проблемы и пути решения. Пермь: Перм. гос. нац. исслед. ун-т., 2018. 288 с.
9. Trace element emissions from spontaneous combustion of gob piles in coal mines Shanxi, China / Y.C. Zhao, J.Y. Zhang, C.L. Chou et al. // *Int. J. Coal Geol.* 2008. No 73(1). P. 52-62.
10. Miler M., Gosar M. Characteristics and potential environmental influences of mine waste in the area of the closed Mežica Pb-Zn mine (Slovenia) // *J. Geochem Explor.* 2012. No 112. P. 152-160.
11. Nematodes as indicators of soil recovery in tailings of a lead/zinc mine / Y. Shao, W. Zhang, J. Shen et al. // *Soil Biol Biochem.* 2008. No 40. P. 2040-2046.
12. Selected ions and major and trace elements as contaminants in coal-waste dump water from the Lower and Upper Silesian Coal Basins (Poland) / L. Lewińska-Preis, E. Szram, M.J. Fabiańska et al. // *Int. J. Coal Sci. Technol.* 2021. No 8. P. 790-814.
13. Adibee N., Osanloo M., Rahmanpour M. Adverse effects of coal mine waste dumps on the environment and their management // *Environ Earth Sci.* 2013. No 70. P. 1581-1592.
14. Классификация и свойства почв, образовавшихся на рекультивированных угольных отвалах Кизеловского угольного бассейна / Н.В. Митракова, Е.А. Хайрулина, Н.В. Порошина и др. // *Теоретическая и прикладная экология*. 2022. № 4. С. 180-187.
15. Heavy metal pollution of coal mine-affected agricultural soils in the northern part of Bangladesh / Mohammad A.H. Bhuiyan, Lutfar Parvez, M.A. Islam et al. // *Journal of Hazardous Materials*. 2010. Vol. 173. Is. 1-3. P. 384-392.
16. Tozsın G. Hazardous elements in soil and coal from the Oltu coal mine district, Turkey // *International Journal of Coal Geology*. 2014. Vol. 131. P. 1-6.
17. Mineral Formation under the Influence of Mine Waters (The Kizel Coal Basin, Russia) / E. Menshikova, B. Osovetsky, S. Blinov et al. // *Minerals*. 2020. 10(4):364.
18. Leaching behavior of trace elements in coal spoils from Yangquan coal mine, Northern China / X. Gao, M. Xu, Q. Hu et al. // *J. Earth Sci.* 2016. 27. p. 891-900.
19. Белкин П.А., Меньшикова Е.А. Исследование токсичных микроэлементов в отвалах Кизеловского угольного бассейна / *Экологическая безопасность в условиях антропогенной трансформации природной среды: сборник материалов всероссийской школы-семинара, посвященной памяти Н.Ф. Реймерса и Ф.П. Штильмарка, (22-23 апреля 2021 г.)*. Пермь: Пермский государственный национальный исследовательский университет, 2021. С.168-172.
20. Атлас Пермского края. Пермь: ПГНИУ, 2012. 124 с.
21. The retention and speciation transformation mechanisms of chromium during bituminous coal combustion: Effects of inorganic minerals and combustion temperature / Quan Tang, Changqian Du, Jiaqi Liu et al. // *Fuel Processing Technology*. 2022. Vol. 232. 107273.

UDC 622.693.26:622.85 © A.A. Perevoshchikova, E.E. Malyshkina, N.V. Mitrakova, 2023  
 ISSN 0041-5790 (Print) • ISSN 2412-8333 (Online) • Ugol' – Russian Coal Journal, 2023, № 12, pp. 85-91  
 DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2023-12-85-91>

**Title****ANALYSIS OF THE MICROELEMENT COMPOSITION OF SOILS FROM RECULTIVATED COAL DUMPS OF THE KIZEL COAL BASIN****Authors**

Perevoshchikova A.A.<sup>1,2</sup>, Malyshkina E.E.<sup>1</sup>, Mitrakova N.V.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Natural Science Institute of Perm State Research University, Perm, 614990, Russian Federation

<sup>2</sup> Perm National Research Polytechnic University, Perm, 614990, Russian Federation

**Authors Information**

**Perevoshchikova A.A.**, Junior Researcher, Postgraduate student,  
 e-mail: aaperevoshchikova@yandex.ru

**Malyshkina E.E.**, Research Engineer, e-mail: thelionofcintra@gmail.com

**Mitrakova N.V.**, PhD (Biology), Senior Researcher,  
 e-mail: mitrakovanatalya@mail.ru

**Abstract**

Mining operations have resulted in the formation of numerous abandoned mines and tailings dams. Abandoned mines, acid mine water discharge, and overburden dumps are the primary causes of environmental pollution in the Kizel Coal Basin (KCB) in Perm Krai (Russia). Crucial factors in preserving KCB's ecosystems are the reclamation of coal dumps and the formation or restoration of soils. The research focuses on the soils of KCB dumps located in the Ugleuralsky, Shumikhinsky, and Shakhta villages. In order to examine these soils, standard chemical analysis methods were employed, including soil contamination assessment using calculated coefficients such as the geoaccumulation index (Igeo) for elements in soils and the contamination factor (CF). The obtained results suggest that the soils in the dumps contain an abundance of Li, B, V, Cu, Cd, Pb, As, Hg, and Cr throughout the entire profile, compared to Vinogradov's Clarke (1962). The dump soils also show excess amounts of Li, B, Pb, As, and Se throughout the entire profile when compared to the background sample. Based on the Igeo of elements in soils, the soil of the Severnaya Mine dump (Shakhta village) showed moderate Li contamination. All dump soils exhibit a high contamination factor (CF) for Li, B, V, and Co. The obtained data indicates that even after reclamation, the accumulation of elements like Li, B, and V persists in the dump soils. This research provides crucial insights for the advancement of effective reclamation strategies aimed at restoring areas affected by coal dumps.

**Keywords**

Mining activities, Coal industry, Potentially toxic elements, Soils, Dumps, Reclamation, Restoration, Remediation, Pollution coefficients.

**References**

1. Ushakova E., Menshikova E., Blinov S., Osovetsky B. & Belkin P. Environmental Assessment Impact of Acid Mine Drainage from Kizel Coal Basin on the Kosva Bay of the Kama Reservoir (Perm Krai, Russia). *Water*, 2022, 14(5), 727.
2. Ushakova E., Menshikova E., Blinov S., Vaganov S. & Perevoshchikov R. Distribution of trace elements, rare earth elements and ecotoxicity in sediments of the Kosva bay. Perm region (Russia). *Journal of Ecological Engineering*, 2022, 23(4), pp. 1-16.
3. Zhou C., Liu G., Fang T., Sun R. & Wu D. Leaching characteristic and environmental implication of rejection rocks from Huainan Coalfield. Anhui Province, China. *J. Geochem. Explor.*, 2014, (143), pp. 54-61.
4. Liu G., Vassilev S.V., Gao L., Zheng L. & Peng Z. Mineral and chemical composition and some trace element contents in coals and coal ashes from Huaibei coal field China. *Energy Convers. Manag.*, 2005, (46), pp. 2001-2009.
5. Perelman A.I. & Kasimov N.S. Geochemistry of landscape. Moscow, Moscow State University, 1999, 610 p. (In Russ.).
6. Shan Yao, Wenfeng Wang, Yong Qin & Linsheng Gao. Multivariate analysis of trace elements leaching from coal and host rock. *Groundwater for Sustainable Development*, 2019, (8), pp. 402-412.
7. Romero A., González I., Martín J.M., Vázquez M.A. & Ortiz P. Risk assessment of particle dispersion and trace element contamination from mine-waste dumps. *Environ Geochem Health*, 2015, (37), pp. 273-286.
8. Maksimovich N.G. & Pyankov S.V. Kizelovsky coal basin: environmental problems and solutions: monograph. Perm, Perm State National Research University Publ., 2018, 288 p. (In Russ.).

9. Zhao Y.C., Zhang J.Y., Chou C.L., Li Y., Wang Z.H., Ge Y.T. & Zheng C.G. Trace element emissions from spontaneous combustion of gob piles in coal mines Shanxi, China. *Int. J. Coal Geol.*, 2008, 73(1), pp. 52-62.

10. Miler M. & Gosar M. Characteristics and potential environmental influences of mine waste in the area of the closed Mežica Pb–Zn mine (Slovenia). *J. Geochem Explor.*, 2012, (112), pp.152-160.

11. Shao Y., Zhang W., Shen J., Zhou L., Xia H., Shu W., Ferris H. & Fu S. Nematodes as indicators of soil recovery in tailings of a lead/zinc mine. *Soil Biol Biochem.*, 2008, (40), pp. 2040-2046.

12. Lewińska-Preis L., Szram E., Fabiańska M.J., Nádudvari A., Misz-Kennan M., Abramowicz A., Kruszewski L. & Kita L. Selected ions and major and trace elements as contaminants in coal-waste dump water from the Lower and Upper Silesian Coal Basins (Poland). *Int. J. Coal Sci. Technol.*, 2021, (8), pp. 790-814.

13. Adibee N., Osanloo M. & Rahmanpour M. Adverse effects of coal mine waste dumps on the environment and their management. *Environ Earth Sci.*, 2013, (70), pp. 1581-1592.

14. Mitrakova N.V., Khayrulina E.A., Poroshina N.V., Perminova A.A. & Malyshkina E.E. Classification and properties of soils formed on recultivated coal dumps of Kizel Coal Basin. *Theoretical and applied ecology*, 2022, (4), pp. 180-187. (In Russ.).

15. Mohammad A.H. Bhuiyan, Lutfar Parvez, Islam M.A., Samuel B. Dampare, Shigeyuki Suzuki. Heavy metal pollution of coal mine-affected agricultural soils in the northern part of Bangladesh. *Journal of Hazardous Materials*, 2010, Vol. 173, (1-3), pp. 384-392.

16. Tozsin G. Hazardous elements in soil and coal from the Oltu coal mine district, Turkey. *International Journal of Coal Geology*, 2014, (131), pp. 1-6.

17. Menshikova E., Osovetsky B., Blinov S. & Belkin P. Mineral Formation under the Influence of Mine Waters (The Kizel Coal Basin, Russia). *Minerals*, 2020.10(4):364.

18. Gao X., Xu M., Hu Q. et al. Leaching behavior of trace elements in coal spoils from Yangquan coal mine, Northern China. *J. Earth Sci.*, 2016, (27), pp. 891-900.

19. Belkin P.A. & Menshikova E.A. Study of toxic trace elements in waste dumps of Kizel Coal Basin. Proceedings of All-Russian School-Seminar in Memory of N.F. Reimers and F.R. Stilmark. (22-23 April 2021). Perm, Perm State National Research University, 2021, pp.168-172. (In Russ.).

20. Atlas of Perm Territory. Perm, Perm. State National Research University Publ., 2012. 124 p. (In Russ.).

21. Quan Tang, Changqian Du, Jiaqi Liu, Lingrui Fan, Jialu Niu, Chunhui Miao, Wancai Li & Biao Fu. The retention and speciation transformation mechanisms of chromium during bituminous coal combustion: Effects of inorganic minerals and combustion temperature. *Fuel Processing Technology*, 2022, (232), 107273.

**Acknowledgements**

The work was carried out with the financial support of the Ministry of Education and Science of the Russian Federation FSNF-2020-0021 project.

**For citation**

Perevoshchikova A.A., Malyshkina E.E. & Mitrakova N.V. Analysis of the microelement composition of soils from recultivated coal dumps of the Kizel Coal Basin. *Ugol'*, 2023, (12), pp. 85-91. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2023-12-85-91.

**Paper info**

Received September 6, 2023

Reviewed November 10, 2023

Accepted November 27, 2023

# Прогнозная аналитика при управлении качеством на горнообогатительном производстве на примере добычи и обогащения угля\*

DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2023-12-92-97>

## КЛЕБАНОВ Д.А.

Канд. техн. наук,  
заведующий лабораторией  
интеллектуальных  
методов мониторинга  
ГТС ИПКОН РАН,  
111020, г. Москва, Россия,  
e-mail: [Klebanov\\_d@ipkonran.ru](mailto:Klebanov_d@ipkonran.ru)

## КНЯЗЬКИН Е.А.

Канд. техн. наук,  
заведующий лабораторией  
ЭКОН ИПКОН РАН,  
111020, г. Москва, Россия

## МАКЕЕВ М.А.

Управляющий директор ООО «Пиклема»,  
научный сотрудник ИПКОН РАН,  
107078, г. Москва, Россия,  
e-mail: [mm@piklema.com](mailto:mm@piklema.com)

В статье рассмотрена проблема управления шихтоподготовкой и обогащением угля при разработке месторождений полезных ископаемых. Отмечено, что контроль качества на разных технологических процессах горнотехнической системы влечет запаздывание или неучтенное качество от 1500 до 5000 т, что влияет на выходные параметры товарной продукции обогатительной фабрики. Сформулирована гипотеза оптимизации производства горнотехнической системы, которая заключается в том, что на базе аналитики данных о качестве угля, собранной в единую систему, возможно определить виды возможных потерь и их количественный показатель, а также разработать решения, направленные на гармонизацию процессов обогащения и технологических процессов горнотехнической системы. Проведена проверка сформулированной гипотезы и доказано, что своевременное определение видов потерь на базе анализа данных технологических процессов способно существенно повысить эффективность горных работ и обогащения при управлении горнотехнической системой. Предложен подход к приоритизации задач цифровизации горнотехнических систем и обогащения при добыче угля. Показана идея эволюционного становления бизнес-процессов на границе взаимодействия разреза и обогатительной фабрики на фоне развития IT-инструментов.

**Ключевые слова:** горнотехническая система, управление качеством, рудопотоки, большие данные, аналитика данных, оптимизация производства, обогащение угля, управление складами, советчик диспетчеру, виртуальный анализатор.

**Для цитирования:** Клебанов Д.А., Князькин Е.А., Макеев М.А. Прогнозная аналитика при управлении качеством на горнообогатительном производстве на примере добычи и обогащения угля // Уголь. 2023. № 12. С. 92-97. DOI: 10.18796/0041-5790-2023-12-92-97.

## ВВЕДЕНИЕ

В угледобывающей промышленности на современных горнообогатительных предприятиях процессы обогащения во многом зависят от качества шихтования и организации горнотехнических процессов. Целевой задачей обогатительных фабрик является выполнение коммерческих заказов по качеству и объему производимой продукции при поддержании проектной производительности фабрики. Главной проблемой на пути решения данной задачи является неточный процесс контроля качества рядового угля, который особо важен на предприятиях, занимающихся обогащением угля различных марок.

\* Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-17-00142, <https://rscf.ru/project/22-17-00142/>

### ПРИЧИНЫ, ИСТОЧНИКИ ПРОБЛЕМЫ

На большинстве угольных предприятий, ведущих открытую разработку месторождений, процесс контроля качества подаваемого на фабрику рядового угля базируется на основе результатов лабораторных анализов проб, отобранных отделом технического контроля (ОТК). Укрупненно, отбор проб ОТК ведется в контрольных точках разных технологических процессов:

- в забое – пластовая проба;
- на промежуточных складах рядового угля – складская проба;
- на складах рядового угля фабрики – проба склада фабрики;
- на конвейерных линиях фабрики – технологическая проба.

Однако существенным недостатком данного способа контроля качества в процессе управления шихтоподготовкой является время проведения анализа, которое составляет от трех часов. В связи с этим возникают запоздания при получении лабораторных результатов от 3 до 5 часов в зависимости от загруженности оборудования лаборатории или приоритизации тех или иных точек контроля. В свою очередь, за такой временной промежуток угольная фабрика обогащает от 1500 до 5000 т угля неопределенного качества.

Кроме этого, существенным недостатком данного способа опробования является его представительность, в частности, для точек опробования, находящихся на этапах добычи, транспортирования и складирования угля, где отбор проб осуществляется в ручном режиме в объеме до 0,05 м<sup>3</sup> при вместимости кузова одного самосвала грузоподъемностью 220 т около 170 м<sup>3</sup>.

Этап транспортирования угля также не до конца является прозрачным технологическим процессом с точки зрения отслеживания качества. Большинство используемых в России автоматизированных систем диспетчеризации (АСД) имеют модуль учета складов, но алгоритмы подсчета качественных характеристик сырья распределены на полный объем склада, что эквивалентно тысячам кубических метров. Такая реализация обусловлена техническими сложностями в позиционировании самосвалов, где накопленная погрешность может достигать диаметра в 30 м [1]. Данная погрешность складывается из точности позиционирования по GPS-антенне ( $\pm 3-5$  м) и факта установки этой антенны на кабине самосвала, что не позволяет точно установить место разгрузки ввиду его габаритов. Решением этой проблемы является установка дополнительной GPS-антенны на угол самосвала, что дает понимание о его положении в пространстве – высокоточное позиционирование. Однако это кратно увеличивает стоимость и обслуживание системы диспетчеризации, что выбивается из экономики угольного предприятия.

Фактически, судя по проведенному обследованию, обогатительные фабрики на угольных разрезах работают «вслепую», поскольку все описанные выше методы контроля качества не обладают сразу двумя важными для производства характеристиками: точность и оперативность. Угледобывающие предприятия выходят из сложившегося положения путем установки дорогостоящих комплексов –

поточных золомеров, которые по различным физическим свойствам способны оценить зольность и влажность потока угля на ленточном конвейере. Однако эффективность такого контроля качества крайне низка в условиях обогащения фабрикой различных марок угля в разрезе смены, что вызывает трудности с калибровкой оборудования.

И, наконец, негативное влияние на качество товарной продукции оказывает человеческий фактор, который влияет на режимы работы обогатительного технологического оборудования фабрики, ввиду отсутствия информации для принятия верных решений или слишком большого объема информации для мгновенного анализа и корректировки режимов.

### ГИПОТЕЗА И ПРЕДПОЛАГАЕМОЕ РЕШЕНИЕ ПРОБЛЕМЫ

На сегодняшний день один из главных трендов в развитии горнотехнических систем – цифровизация технологических процессов или установка аналогово-цифровых электронных и информационных систем для сбора достоверной информации о работе оборудования, процессов. Основным преимуществом цифровизации производства является получение достоверной информации о технологическом процессе, что может повысить эффективность управленческих решений, а также снизить издержки производства. Однако лишь малая часть автоматизированных систем, внедряемых для управления процессами горнотехнической системы, используется как информация для корректировки всей цепочки технологических процессов, начиная от забоя и до выхода готовой продукции [2].

На данный момент уже сложно найти на горных предприятиях обогатительные фабрики без внедренной автоматизированной системы управления технологическим процессом (АСУ ТП). Однако единицы горных предприятий используют данную информацию для комплексного анализа связанных технологических процессов.

В этой связи возникает гипотеза, предполагающая, что на основе показаний от автоматизированных систем (АСУ ТП, АСД, СУПР и пр.) возможно предсказывать качество входного сырья на фабрику с целью последующей корректировки режимов обогащения или схем транспортирования угля.

Гипотезу имеет смысл представлять в виде зависимости, по которой возможно отследить влияние различного рода параметров на выходное качество товарной продукции обогатительной фабрики. В контексте угледобывающего производства на качество выходного концентрата угля влияют:

- материнские качественные характеристики угля – теплота сгорания, выход летучих веществ, влажность, содержание серы;
- качественные характеристики, на которые может повлиять фабрика – зольность и в некоторой степени влажность.

Таким образом, для получения качественного концентрата необходимо выдержать в рамках коммерческого заказа все материнские характеристики через процесс шихтования, а зольность – через эффективность настройки

обогащительного оборудования согласно входящему потоку рядового угля.

Точное выполнения заказа по качеству и объему является ключевым показателем эффективности всего горного предприятия (*KPI*). Исходя из этого, можно сказать, что эффект оценивается следующей формулой:

$$\text{Инд. } KPI = \text{инд. } K \cdot \text{инд. } P,$$

где: инд. *K* – индекс качества товарной продукции, ее соответствие запросам потребителя; инд. *P* – индекс производительности, определяемый из эффективности функционирования технологических процессов и выполнения заказа в режимах, близких к номинальным.

При этом индекс качества и индекс производства в свою очередь декомпозируются на подмножество других зависимостей, включающих в себя показатели эффективности всех технологических процессов горнотехнической системы и системы обогащения.

### ПРИМЕР ЛОКАЛИЗИРОВАННОГО ПРЕДИКТИВНОГО АНАЛИЗА

Одной из характеристик рядового угля, определяющей его качество, является гранулометрический состав. Его зачастую пытаются измерить в забое через объем ковша экскаватора, с помощью видеоаналитики, через замер шапки в кузове самосвала на основе лидарных технологий и т.п. Применение данных методов эффективно лишь при движении самосвала непосредственно к решетке приемного бункера фабрики, а не на разгрузку в промежуточный склад, поскольку маршрут следования угля через промежуточный склад состоит из следующих итераций: разгрузка самосвала на склад; последующая планировка штабеля бульдозером; погрузка в самосвал (как правило, фронтальным погрузчиком); разгрузка на склад фабрики; планирование бульдозером штабеля; подача угля на фабрику фронтальным погрузчиком (*рис. 1*). Некоторые марки угля являются достаточно «мягкими», поэтому описанная выше технологическая последовательность крайне негативно сказывается на точности измерения гранулометрического состава в забое при условии точного позиционирования техники на всех этапах транспортирования и позволяет отследить перевозимую горную массу.

Поэтому целевой точкой контроля гранулированного состава является выход с дробильных комплексов после приемного бункера фабрики, куда уголь подается в большинстве случаев фронтальным погрузчиком или экскаватором со склада фабрики. Однако измерить грансостав на выходе из дробилки не представляется возможным, поскольку присутствуют сложные условия для работы измерительного оборудования – сильная запыленность.

Как известно, на обогащительных фабриках в голове технологического процесса устанавливаются комплексы дробления, после которых подготовленный для обогащения уголь по конвейерам попадает в бункер питания фабрики, откуда питателями выдается на ленточный конвейер к классификационным грохотам (*рис. 2*).

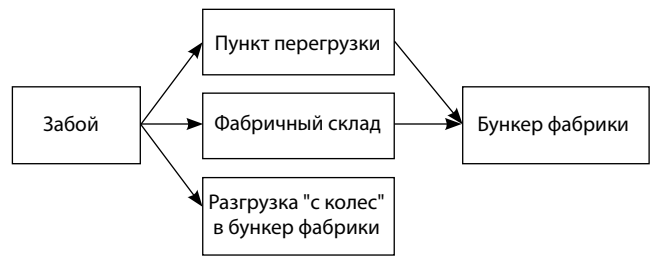


Рис. 1. Обобщенная схема перемещения сырья от забоя до фабрики

Fig. 1. Generalized layout of raw material flow from the mine face to the plant

Подобная структура углеподготовки дает возможность оперативно, через «виртуальный анализатор» (ВА), предварительно оценить общую крупность угля. По своей сути ВА – это анализатор сложноизмеряемых характеристик технологических процессов, основан на математической модели, показывающий зависимость динамики множества прямоизмеряемых параметров от изменения целевого показателя [3]. ВА обычно используют в нефтедобывающей отрасли, в горной промышленности они нашли свое применение в контуре АСУ ТП, где таким образом прогнозируют показатели качества сырья или продуктов.

Приведенная на *рис. 2* схема является частным примером использования ВА, где поток угля после дробления измеряется при помощи конвейерных весов. Затем он попадает в бункер известного объема с установленными в него бесконтактными уровнемерами. Выходной поток с бункера также фиксируется конвейерными весами. Таким образом, на основе перечисленных выше известных и измеряемых параметров и выбранного метода множественной линейной регрессии, метода группового учета аргументов или на основе использования гибридных нейронных сетей возможно предиктивно дать оценку выхода крупного класса угля с классификационных грохотов и оперативно оценить нагрузку на обогащительное

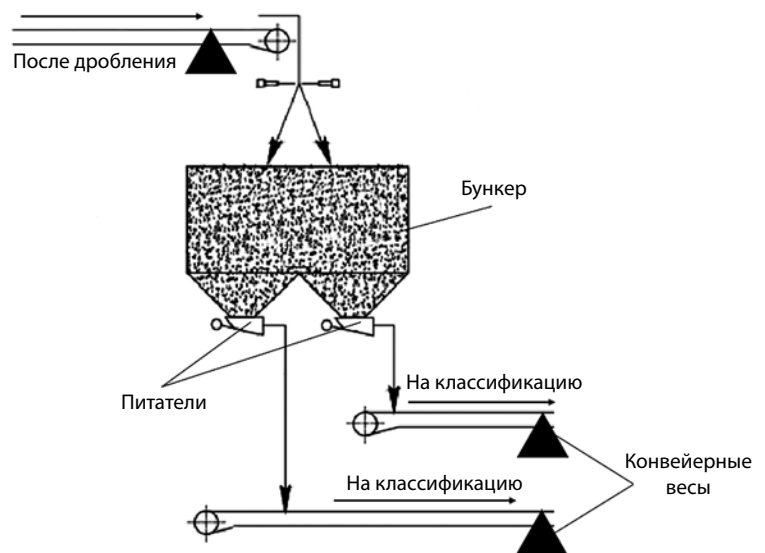


Рис. 2. Участок технологической схемы подготовки угля к обогащению

Fig. 2. A section of the technological flowchart of coal preparation



оборудование. Использование такого ВА позволит оперативному персоналу реагировать на изменяющиеся условия по качеству угля и соответствующим образом корректировать технологический процесс, например повышать или понижать нагрузку на фабрику при сигнализации ВА о крупности угля с целью распределения номинальной нагрузки между обогатительным оборудованием, отличным по обогащению классов угля.

Проверка построенного виртуального анализатора для предварительной оценки крупности угля на этапе дробления возможна только при реализации системы учета распределения продуктов на выходе обогатительного оборудования. Или, другими словами, необходимо внедрить автоматизированную систему контроля материального баланса, которая покажет распределение сырьевых потоков по технологическим процессам.

Пример результата такого сравнения представлен на рис. 3, где показания ВА сопоставляются с выходом надрешетного продукта с классифицирующих грохотов.

Таким образом, отслеживание выхода крупной фракции угля при помощи виртуального анализатора позволит косвенно оценить выход надрешетного продукта с классификационных грохотов, что в свою очередь дает возможность аналитическим способом преждевременно определить выход подрешетного продукта и тем самым предиктивно проанализировать нагрузку на обогатительное оборудование.

Однако стоит учитывать существенное ограничение при верификации подобных ВА на современных обогатительных фабриках – выход продуктов с обогатительного оборудования на всех технологических переделах измерить прямым методом невозможно или крайне проблематично. Причиной тому служит конструкция обогатительных фабрик, где зачастую один сборочный конвейер объединяет все стадии обогащения по каждому из продуктов. В результате выход концентрата, промпродукта и отходов на некоторых переделах технологической схемы приходится измерять аналитическими способами, что накладывает ряд дополнительных ограничений и погрешностей.

Приведенный пример использования ВА представляет собой решение локального характера, т.е. оптимизация, анализ и измерение осуществляются в рамках контура входных и выходных параметров конкретных типов оборудования, когда весь технологический процесс от забоя до получения конечной продукции остается без внимания.

### ВЫВОД И ОБСУЖДЕНИЕ

Для проверки выдвинутой ранее гипотезы в широком смысле, а именно на основе показаний автоматизированных систем предсказывать качество входного сырья на этапе подготовительных работ, необходимо рассматри-

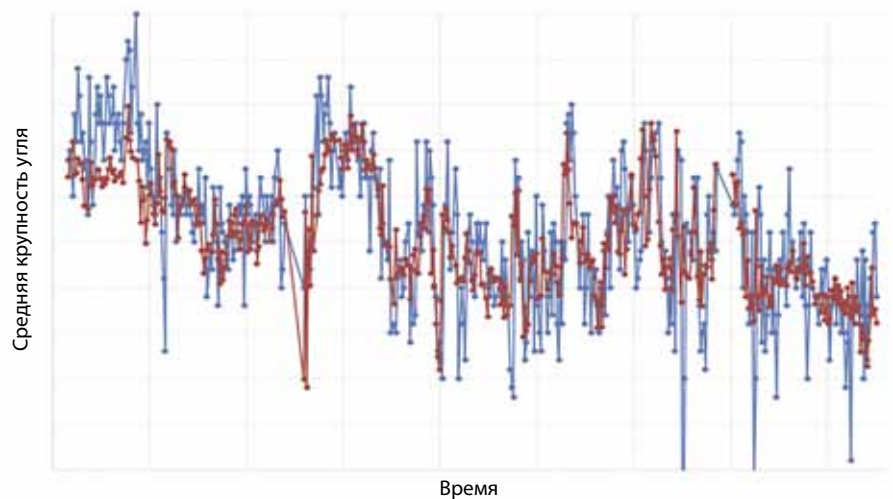


Рис. 3. Пример виртуального анализатора на крупность угля, синим цветом – показания анализатора; красным цветом – выход крупного класса на классифицирующем грохоте

Fig. 3. An example of virtual coal grade analyzer, where the blue color shows the analyzer readings, and the red color shows the output of the coarse-grade coal at the classifying screen

вать весь технологический процесс как единый комплекс. То есть автоматизированные системы должны быть увязаны в единое цифровое пространство, позволяющее отслеживать сырье не только по объему, но и по качественным характеристикам. Другими словами, различного рода построенные локальные модели, созданные на фабрике (например, ВА), или прямые показания с датчиков оборудования обогатительных фабрик, автосамосвалов, погрузчиков и пр. так или иначе необходимо «транслировать» на выемочные блоки массива.

Идея проводимого исследования заключается в том, чтобы найти различного рода зависимости между геологическими условиями, характеристиками работы технологического оборудования, результатами лабораторных исследований и т.д. Подход к управлению качеством на базе подобных аналитических цифровых продуктов полностью изменит устоявшиеся бизнес-процессы в управлении качеством. При установлении математических зависимостей и прозрачности потока сырья от забоя до обогатительной фабрики последняя будет глубоко интегрирована в горные работы, а не ограничиться с разрезом на перегрузочных складах или решетке приемного бункера.

Однако полноценно возможно провести подобное исследование только при наличии качественных данных по всем технологическим переделам, начиная от подготовительных работ, заканчивая отгрузкой готовой продукции.

Например, при открытом ведении горных работ уже существуют ИТ-продукты, способные отследить качество и степень его усреднения на перегрузочных складах и непосредственно в кузове самосвала. Так, на рис. 4 представлен фрагмент продукта российской компании «Pikleta», который виртуально производит деление складских площадей на секции и по позиционированию самосвалов определяет усредненное качество сырья в границах каждой секции [4].

В целом, контроль, отслеживание и анализ параметров всего технологического оборудования позволят собрать базу данных архивной информации, которая дает возможность проецировать все полученные в процессе обогащения параметры на выемочный блок, откуда был отгружен уголь, при условии сквозной интеграции систем для контроля качества угля от забоя до склада готовой продукции [5].

С учетом вышесказанного приоритизация в процессе автоматизации и цифровизации технологических процессов должна рассматриваться параллельно основным технологическим процессам. К примеру, автоматизированная система контроля расхода топлива на автосамосвалах не должна иметь приоритет над системой сквозного учета качества на складах, хоть и мгновенный экономический эффект от системы контроля топлива, несомненно, в моменте может быть выше. Однако реализованная система контроля и учета складов позволит развивать цифровые системы в контуре фабрики, что в комплексе даст гораздо больший экономический эффект, чем контроль расхода топлива на самосвалах.

К сожалению, на данный момент времени в угледобывающей промышленности внедрение систем цифровизации и автоматизации осуществляется, базируясь на локальных быстрых экономических эффектах без анализа всей структуры технологических процессов и без фундаментального понимания подходов к сбору, анализу данных при управлении горнотехническими системами.

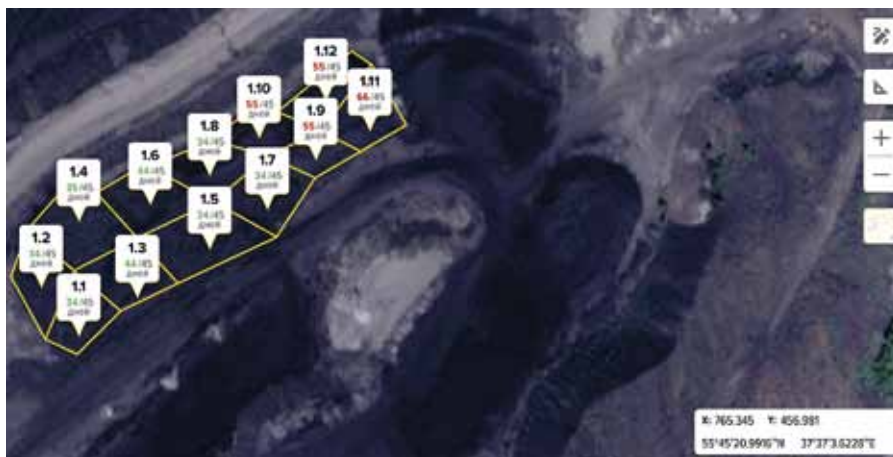


Рис. 4. Секционное складирование полезного ископаемого

Fig. 4. Sectional stockpiling of useful minerals

### Список литературы

1. Хазин М.Л. Роботизированные карьерные самосвалы // Известия Уральского государственного горного университета. 2020. № 3. С. 123-130.
2. Методические подходы к стандартизации сбора, хранения и анализа данных при управлении горнотехническими системами / В.Н. Захаров, Д.Р. Каплунов, Д.А. Клебанов и др. // Горный журнал. 2022. № 12. С. 23-43. DOI: 10.17580/gzh.2022.12.
3. Усовершенствованное управление ТП: от контура регулирования до общезаводской оптимизации / П.Л. Логунов, М.В. Шаманин, Д.В. Кнеллер и др. // Автоматизация в промышленности. 2015. № 4. С. 4-14.
4. Официальный сайт Piklema. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.piklema.ru/> (дата обращения: 15.11.2023).
5. Рыльникова М.В., Клебанов Д.А., Князькин Е.А. Анализ данных как основа повышения эффективности работы горнотранспортного оборудования при ведении открытых горных работ // Горная промышленность. 2023. № 1. С. 52-56. URL: <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2023-1-52-56> (дата обращения: 15.11.2023).

Original Paper

UDC 622.795.4:658.5 © D.A. Klebanov, E.A. Knyazkin, M.A. Makeev, 2021 ISSN 0041-5790 (Print) • ISSN 2412-8333 (Online) • Ugol' – Russian Coal Journal, 2023, № 12, pp. 92-97  
DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2023-12-92-97>

**Title**  
**PREDICTIVE ANALYTICS IN QUALITY MANAGEMENT AT MINING AND PROCESSING OPERATIONS AS EXEMPLIFIED BY COAL MINING AND PROCESSING**

#### Authors

Klebanov D.A.<sup>1</sup>, Knyazkin E.A.<sup>1</sup>, Makeev M.A.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Research Institute of Comprehensive Exploitation of Mineral Resources of Russian Academy of Sciences (IPKON RAS), Moscow, 111020, Russian Federation

<sup>2</sup> Piklema LLC, Moscow, 107078, Russian Federation

#### Authors Information

**Klebanov D.A.**, PhD (Engineering), Head of Laboratory of Intelligent Monitoring Methods of Hydraulic Engineering Installations, e-mail: [Klebanov\\_d@ipkonran.ru](mailto:Klebanov_d@ipkonran.ru)

**Knyazkin E.A.**, PhD (Engineering), Head of the Laboratory of Environmentally Balanced Subsoil Development

**Makeev M.A.**, Managing Director, Research Associate, e-mail: [mm@piklema.com](mailto:mm@piklema.com)

#### Abstract

The article discusses the challenges of controlling charge preparation and coal washing while mining mineral deposits. It is pointed out that quality control of different technological processes of the mining system leads to delays or unaccounted quality from 1500 to 5000 tons, which affects the output parameters of the commercial products of the preparation plant. A hypothesis of optimizing the mining system operation is formulated, which consists in the fact that based on the analytics of coal quality data

COAL PREPARATION

collected in a single system it is possible to determine the types of possible losses and their quantitative index, as well as to work out solutions aimed at harmonizing the coal preparation processes and technological processes of the mining system. The formulated hypothesis has been tested and it has been proved that timely determination of loss types based on analyzing the technological process data can significantly increase the efficiency of mining operations and preparation when managing the mining engineering system. An approach is proposed to prioritizing the tasks of digitalization of mining engineering systems and coal preparation in coal mining. The idea of evolutionary formation of business processes at the interface between the surface mine and the coal preparation plant is shown against the background of IT tools development.

**Keywords**

Mining engineering system, Quality management, Ore flows, Big data, Data analytics, Production optimization, Coal preparation, Warehouse management, Advisor to dispatcher, Virtual analyzer.

**References**

1. Khazin M.L. Robotic mining dump trucks. *Izvestiya Ural'skogo gosudarstvennogo gornogo universiteta*, 2020, (3), pp. 123-130. (In Russ.).  
 2. Zakharov V.N., Kaplunov D.R., Klebanov D.A. et al. Methodical approaches to the standardization of data collection, storage and analysis in the management of mining engineering systems. *Gornyj zhurnal*, 2022, (12), pp. 23-43. (In Russ.). DOI: 10.17580/gzh.2022.12.

3. Logunov P.L., Shamanin M.V., Kneller D.V. et al. Advanced technological process control: from control loop to plant-wide optimization. *Avtomatizaciya v promyshlennosti*, 2015, (4), pp. 4-14. (In Russ.).  
 4. Official website of Piklema. [Electronic resource]. Available at: <https://www.piklema.ru/> (accessed 15.11.2023).  
 5. Rylnikova M.V., Klebanov D.A. & Knyazkin E.A. Data analysis as a basis for improving the efficiency of mining equipment in open pit operations. *Gornaya promyshlennost'*, 2023, (1), pp. 52-56. (In Russ.). Available at: <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2023-1-52-56> (accessed 15.11.2023).

**Acknowledgements**

The research was supported by the Russian Science Foundation Grant No 22-17-00142, <https://rscf.ru/project/22-17-00142/>.

**For citation**

Klebanov D.A., Knyazkin E.A. & Makeev M.A. Predictive analytics in quality management at mining and processing operations as exemplified by coal mining and processing. *Ugol*, 2023, (12), pp. 92-97. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2023-12-92-97.

**Paper info**

Received September 18, 2023  
 Reviewed November 10, 2023  
 Accepted November 27, 2023

## Горняки шахты «Есаульская» добыли 1 млн тонн угля с начала 2023 г.



31 октября 2023 г. добычной участок № 1 шахты «Есаульская» Распадской угольной компании (РУК) под руководством начальника участка Дмитрия Волкова и бригадира Олега Басманова выдал на-гора 1 млн тонн угля с начала года. С производственным достижением горняков поздравил генеральный директор Распадской угольной компании Владимир Мельниченко.

Миллион тонн угля добыт из двух лав по пласту 29а. До апреля 2023 г. бригада Олега Басманова дорабатывала запасы лавы № 29-39. После перемонтажа оборудования, который занял более 3 месяцев, в июле горняки начали добывать уголь из новой лавы № 29-30. В настоящее время здесь ежемесячно выдают на-гора 180 тыс. тонн угля.

Производительно работать им помогают современный комбайн и механизированный комплекс с новой управляющей гидравликой. Для безопасной работы лава № 29-30 оснащена современными цифровыми датчиками контроля метана, кислорода и оксида углерода. Для проветривания выемочного участка и отвода метановоздушной смеси с поверхности пробурили 4 скважины большого диаметра.

Общие запасы пласта 29а – более 10 млн тонн коксующегося угля марки ГЖ.

*Управление по связям с общественностью  
 Распадской угольной компании*



Генеральный директор РУК Владимир Мельниченко вручил горнякам памятный кубок и благодарственное письмо за отличную работу



# Анализ состава отходов углеперерабатывающего предприятия АО ЦОФ «Березовская»\*

DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2023-12-98-103>

## ЧЕРКАСОВА Т.Г.

Доктор хим. наук, профессор,  
директор Института химических  
и нефтегазовых технологий  
ФГБОУ ВО «Кузбасский государственный  
технический университет  
имени Т.Ф. Горбачева» (КузГТУ),  
650000, г. Кемерово, Россия,  
e-mail: ctg.htnv@kuzstu.ru

## ПИЛИН М.О.

Старший преподаватель  
Института химических  
и нефтегазовых технологий  
ФГБОУ ВО «Кузбасский государственный  
технический университет  
имени Т.Ф. Горбачева» (КузГТУ),  
650000, г. Кемерово, Россия,  
e-mail: pilinmo@kuzstu.ru

## ТИХОМИРОВА А.В.

Канд. хим. наук, доцент,  
доцент Института химических  
и нефтегазовых технологий  
ФГБОУ ВО «Кузбасский государственный  
технический университет  
имени Т.Ф. Горбачева» (КузГТУ),  
650000, г. Кемерово, Россия,  
e-mail: tav.htnv@kuzstu.ru

## БАРАНЦЕВ Д.А.

Ассистент  
Института химических  
и нефтегазовых технологий  
ФГБОУ ВО «Кузбасский государственный  
технический университет  
имени Т.Ф. Горбачева» (КузГТУ),  
650000, г. Кемерово, Россия,  
e-mail: ketche@yandex.ru

В данной работе рассматриваются отходы углеобогащения предприятия АО ЦОФ «Березовская». Определен минеральный состав отходов рентгенофазовым (РФА) методом. Исследования выявили содержание минеральных компонентов в составе отходов углеобогащения. Определение минеральной части отходов проводилось на порошковом рентгеновском дифрактометре *Pauanalytical X Pert Powder*.

**Ключевые слова:** отходы углеобогащения, углепереработка, рентгенофазовый анализ, минеральные компоненты.

**Для цитирования:** Анализ состава отходов углеперерабатывающего предприятия АО ЦОФ «Березовская» / Т.Г. Черкасова, М.О. Пилин, А.В. Тихомирова и др. // Уголь. 2023. № 12. С. 98-103. DOI: 10.18796/0041-5790-2023-12-98-103.

## ВВЕДЕНИЕ

В условиях непрерывного роста технического уровня угольной промышленности, механизации основных и вспомогательных процессов при добыче углей и ухудшения качества добываемой горной массы обогащение является обязательной стадией в производстве топлива, удовлетворяющего по своему качеству требованиям потребителей.

Особое значение приобретает углеобогащение в связи с развитием рыночных отношений, когда получают непосредственное экономическое выражение не только потребительская ценность угольных концентратов, но и полнота извлечения и использования полезных компонентов в товарных продуктах при минимальных материальных издержках на их получение.

## ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Возросшее засорение добываемых углей породными фракциями обуславливает необходимость увеличения объема обогащения путем строительства новых фабрик, повышения мощности и технического перевооружения действующих предприятий и применения прогрессивных процессов, высокопроизводительных и эффективных аппаратов, позволяющих сократить потери горючей массы в отходах производства.

В результате обогащения каменного угля образуются следующие виды отходов: порода, промпродукт и отходы ФПО (отходы фильтр-прессового отделения). Химический состав минеральной части отходов обогащения

\* Исследование выполнено за счет гранта Минобрнауки России (Соглашение № 075-15-2022-1194).



Научно-образовательный центр «Кузбасс»

угля представлен самыми разнообразными компонентами [1]. Эти компоненты могут использоваться в производстве строительных материалов, в химической и металлургической промышленности для получения концентратов элементов (как самых распространенных, так и редких, рассеянных и благородных металлов). Для оценки возможности утилизации отходов углепереработки проведены исследования материалов, представленных АО ЦОФ «Березовская».

Одним из современных и простых методов определения фазового состава кристаллических тел является рентгеновский. В основу метода положено явление дифракции рентгеновских лучей на кристаллической решетке. Каждая фаза имеет свою кристаллическую решетку. Под фазой понимают часть вещества, отделенную от других его частей границей раздела, при переходе через которую свойства меняются скачком. Для выполнения качественного и количественного фазового анализа используется современная рентгеновская аппаратура – рентгеновские дифрактометры. Она позволяет проводить его быстро и с большой точностью [2]. РФА дает возможность выбора метода извлечения компонентов на основе свойств минеральных составляющих отходов.

Данное исследование проводилось на порошковом рентгеновском дифрактометре Panalytical X Pert Powder.

Объекты испытаний: образцы отходов ЦОФ, обозначения, представленные в *табл. 1* [3].

Результаты определения минерального состава отходов углеобогащения АО ЦОФ «Березовская» представлены в *табл. 2*

Результаты рентгенофазового анализа (РФА) минеральной части отходов углеобогащения АО ЦОФ «Березовская» представлены на *рис. 1-10*.

Таблица 1

**Образцы отходов углепереработки**

Samples of coal processing waste

Образец	Размерность	Примечание
БФ-1	0-0,5	Отходы ФПО АО ЦОФ «Березовская» пгт. Березовский
БФ-2	0,5-13	Промпродукт АО ЦОФ «Березовская» пгт. Березовский
БФ-3	+13	Промпродукт АО ЦОФ «Березовская» пгт. Березовский
БФ-4	+13	Порода АО ЦОФ «Березовская» пгт. Березовский
БФ-5	0,5-13	Порода АО ЦОФ «Березовская» пгт. Березовский
БФ3-1	–	Отходы ФПО АО ЦОФ «Березовская» пгт. Березовский (после сжигания)
БФ3-2	–	Промпродукт АО ЦОФ «Березовская» пгт. Березовский (после сжигания)
БФ3-3	–	Промпродукт АО ЦОФ «Березовская» пгт. Березовский (после сжигания)
БФ3-4	–	Порода АО ЦОФ «Березовская» пгт. Березовский (после сжигания)
БФ3-5	–	Порода АО ЦОФ «Березовская» пгт. Березовский (после сжигания)

Таблица 2

**Результаты определения минерального состава отходов углеобогащения АО ЦОФ «Березовская»**

Results of determination of the mineral composition of coal enrichment waste of JSC COF "Berezovskaya"

Номер образца	Содержание минералов, %								
	Кварц	Кальцит	Сумма глинистых минералов	Магнезио-феррит	Гематит	Доломит	Сидерит	Lime*	Плагиоклаз
БФ-1	57	7	17	–	–	–	–	–	–
БФ-2	58	3	16	–	6	7	3	–	7
БФ-3	31	21	11	–	–	23	8	2	4
БФ-4	66	–	12	–	–	7	10	–	5
БФ-5	57	–	21	–	–	–	3	–	19
БФ3-1	61	–	Сл.	–	11	–	–	–	28
БФ3-2	80	–	Сл.	6	9	–	–	5	–
БФ3-3	42	–	3	13	16	–	–	26	–
БФ3-4	68	–	11	7	14	–	–	–	–
БФ3-5	69	–	7	3	6	–	–	–	15

Lime\*– известь: получается путем обжига карбонатных пород. Состоит из оксидов CaO и MgO.

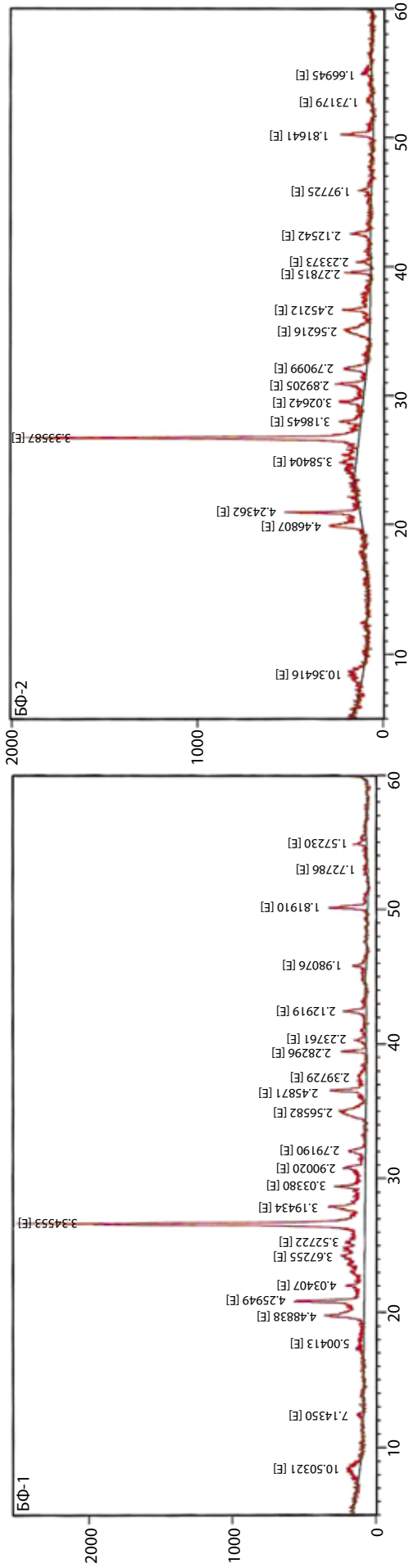


Рис. 1. Рентгенограмма валового состава образца БФ-1

Fig. 1. X-ray diffraction pattern of the bulk composition of sample BF-1

Рис. 2. Рентгенограмма валового состава образца БФ-2

Fig. 2. X-ray diffraction pattern of the bulk composition of sample BF-2

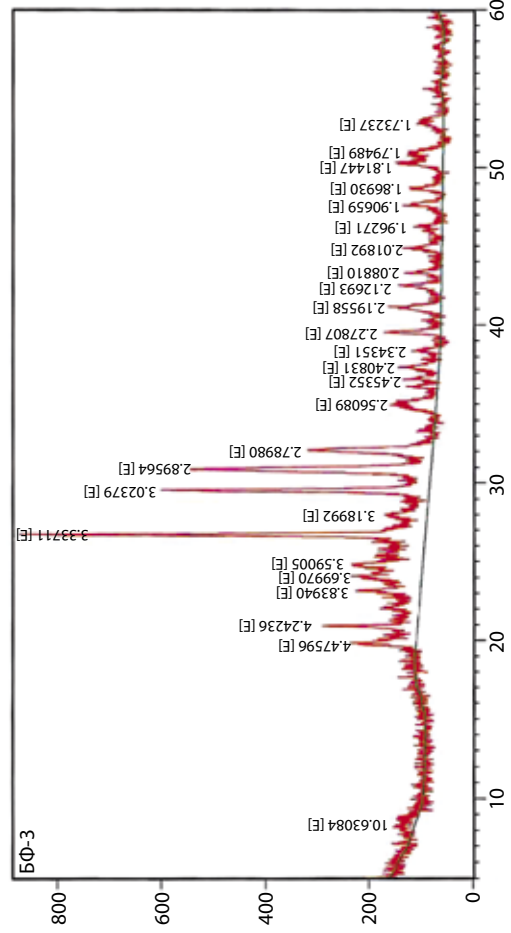


Рис. 3. Рентгенограмма валового состава образца БФ-3

Fig. 3. X-ray diffraction pattern of the bulk composition of sample BF-3

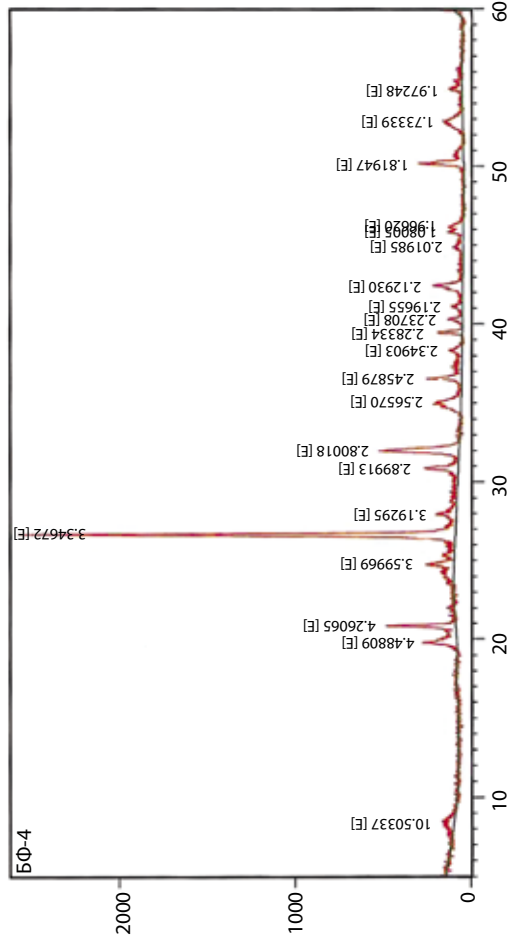


Рис. 4. Рентгенограмма валового состава образца БФ-4

Fig. 4. X-ray diffraction pattern of the bulk composition of sample BF-4

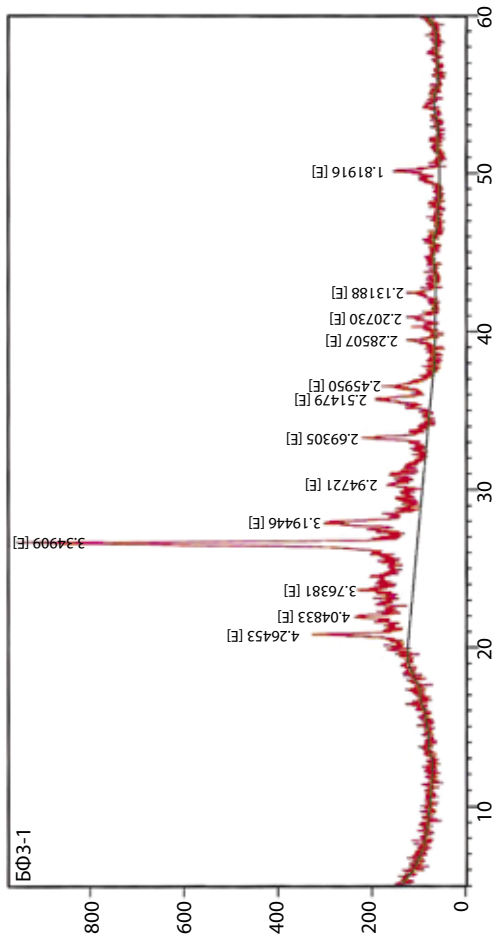


Рис. 6. Рентгенограмма валового состава образца БФЗ-1  
Fig. 6. X-ray diffraction pattern of the bulk composition of sample BFZ-1

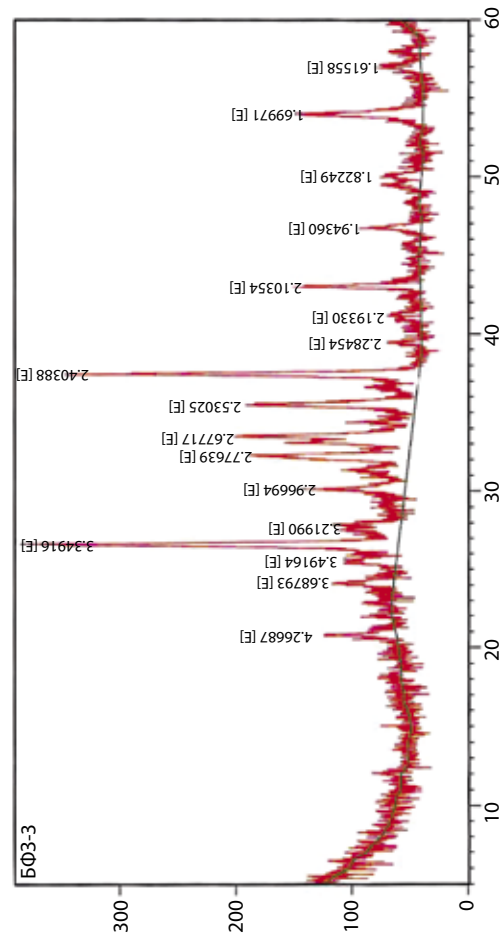


Рис. 8. Рентгенограмма валового состава образца БФЗ-3  
Fig. 8. X-ray diffraction pattern of the bulk composition of sample BFZ-3

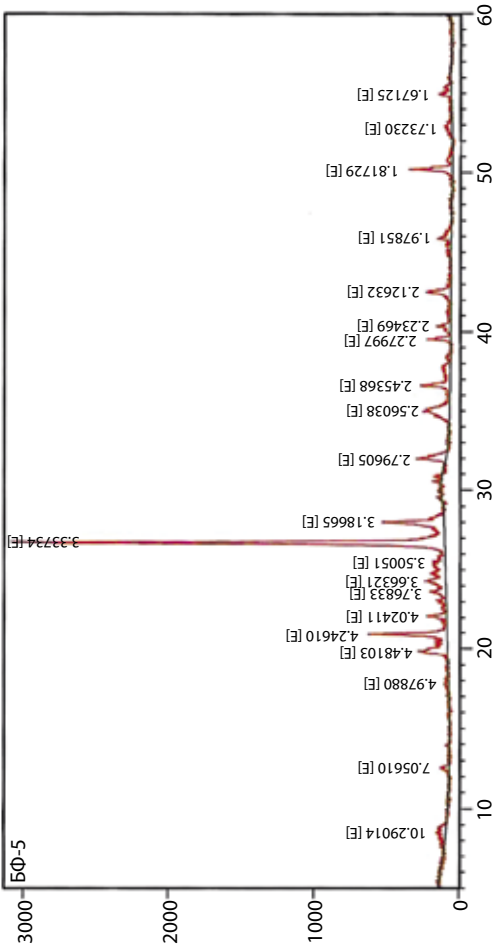


Рис. 5. Рентгенограмма валового состава образца БФ-5  
Fig. 5. X-ray diffraction pattern of the bulk composition of sample BF-5

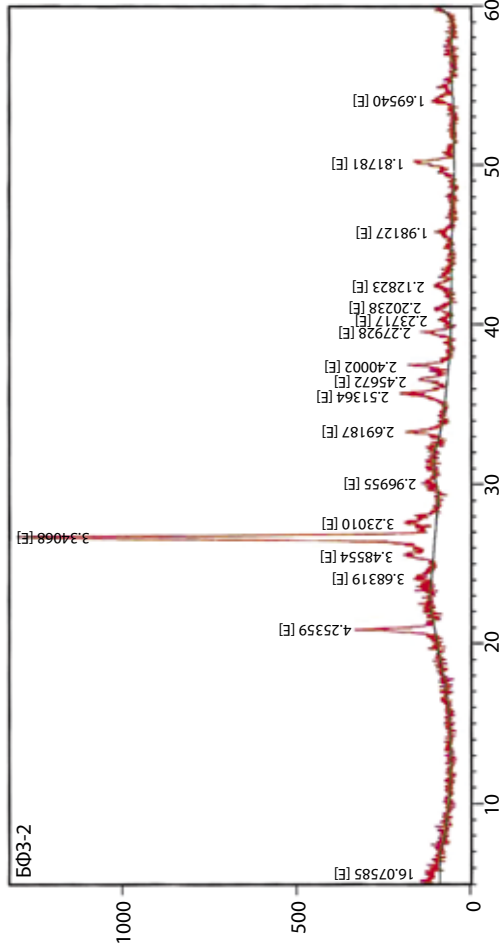


Рис. 7. Рентгенограмма валового состава образца БФЗ-2  
Fig. 7. X-ray diffraction pattern of the bulk composition of sample BFZ-2

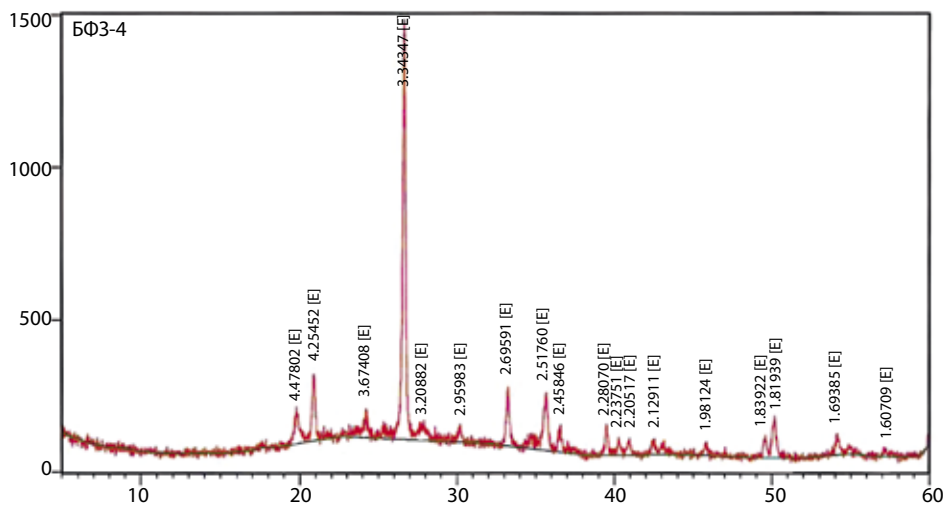


Рис. 9. Рентгенограмма валового состава образца БФЗ-4

Fig. 9. X-ray diffraction pattern of the bulk composition of sample BFZ-4

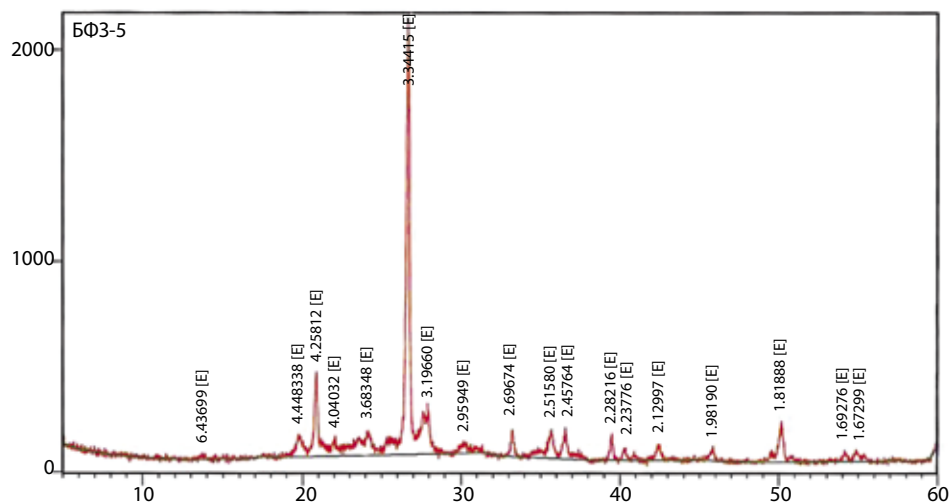


Рис. 10. Рентгенограмма валового состава образца БФЗ-5

Fig. 10. X-ray diffraction pattern of the bulk composition of sample BFZ-5

### ВЫВОДЫ

Анализируя результаты исследования, можно сделать следующие выводы:

- во всех образцах присутствует кварц с процентным содержанием 31-80%;
- прослеживается влияние термической обработки на содержание некоторых компонентов, например, кварц в образце БФЗ-2 увеличился с 58 до 80% (БФЗ-2);
- при термической обработке образуются минералы, такие как магнезиоферрит и гематит, а карбонаты металлов, которые присутствуют в исходных образцах, разрушаются с образованием углекислого газа.

### Список литературы

1. Чантурия В.А., Молякко А.Р. Техника и технология обогащения углей. Справочное руководство. М.: Наука, 1995. 622 с.
2. Штольц А.К., Медведев А.И., Курбатов Л.В. Рентгеновский фазовый анализ. Методические указания к лабораторным работам по курсам «Физика твердого тела», «Материаловедение» и «Физические методы исследования материалов» для студентов дневной формы обучения физико-технического факультета. Екатеринбург, 2005. 24 с.
3. Некоторые физико-химические характеристики отходов углеобогатительного предприятия ПАО ЦОФ «Березовская» / Т.Г. Черкасова, М.О. Пилин, Д.А. Баранцев и др. // Уголь. 2023. № 6. С. 80-84. DOI: 10.18796/0041-5790-2023-6-80-84.

Original Paper

UDC 662.613.654.1:669.85 © T.G. Cherkasova, M.O. Pilin, A.V. Tikhomirova, D.A. Barantsev, 2023  
 ISSN 0041-5790 (Print) • ISSN 2412-8333 (Online) • Ugol' – Russian Coal Journal, 2023, № 12, pp. 98-103  
 DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2023-12-98-103>

#### Title

ANALYSIS OF THE WASTE COMPOSITION OF COAL PROCESSING ENTERPRISE "BEREZOVSKAY"

#### Authors

Cherkasova T.G.<sup>1</sup>, Pilin M.O.<sup>1</sup>, Tikhomirova A.V.<sup>1</sup>, Barantsev D.A.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University (KuzSTU), Kemerovo, 650000, Russian Federation



**Authors Information**

**Cherkasova T.G.**, Doctor of Chemistry State, Professor, Director of Institute of Chemical and Oil and Gas Technologies, e-mail: ctg.htnv@kuzstu.ru

**Pilin M.O.**, Senior lecturer of Institute of Chemical and Oil and Gas Technologies, e-mail: pilinmo@kuzstu.ru

**Tikhomirova A.V.**, PhD (Chemistry), Associate Professor, Associate Professor of Institute of Chemical and Oil and Gas Technologies, e-mail: tav.htnv@kuzstu.ru

**Barantsev D.A.**, Assistant of Institute of Chemical and Oil and Gas Technologies, e-mail: kemche@yandex.ru

**Abstract**

In this paper we consider coal preparation waste from the enterprise "Berezovskaya". The mineral composition of the waste was determined by the X-ray phase (XRF) method. Studies have revealed the content of mineral components in the composition of coal enrichment waste. The determination of the mineral part of the waste was carried out on a Pauanalytical X Pert Powder X-ray powder diffractometer.

**Keywords**

Coal preparation waste, Coal processing, X-ray phase analysis, Mineral components.

**References**

1. Chanturiya V.A. & Molyavko A.R. Technique and technology of coal enrichment. Reference manual. Moscow, Nauka Publ., 1995, 622 p. (In Russ.).
2. Shtol'cz A.K., Medvedev, A.I. & Kurbatov, L.V. X-ray phase analysis. Methodological guidelines for laboratory work in the courses "Solid State Physics," "Materials Science" and "Physical methods of materials research" for full-time students of the Faculty of Physics and Technology. Ekaterinburg, 2005, 24 p. (In Russ.).
3. Cherkasova T.G., Pilin M.O., Barantsev D.A. & Tikhomirova A.V. Some physical and chemical characteristics of waste products of the Berezovskaya Central Concentrating Mill. *Ugol'*, 2023, (6), pp. 80-84. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2023-6-80-84.

**Acknowledgements**

The research was financially supported by a grant from the Russian Ministry of Education and Science (Agreement No 075-15-2022-1194).

**For citation**

Cherkasova T.G., Pilin M.O., Tikhomirova A.V. & Barantsev D.A. Analysis of the waste composition of Coal Processing Enterprise "Berezovskaya". *Ugol'*, 2023, (12), pp. 98-103. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2023-12-98-103.

**Paper info**

Received September 2, 2023

Reviewed November 10, 2023

Accepted November 27, 2023

## Ко Всероссийской акции по сбору макулатуры «БумБатл» присоединились уже более 130 тысяч участников

Всероссийская акция «БумБатл» проводится в поддержку нацпроекта «Экология» под эгидой общественного экологического движения «Экосистема». С прошлого года в акции участвуют предприятия СУЭК. Всего со старта нового сезона «БумБатла» к сбору макулатуры присоединились более 130 тысяч человек. Уже собрано и направлено на переработку более 730 т бумажного сырья.

«Формат проекта успешный, пользуется популярностью, поэтому мы решили его расширить: помимо сбора макулатуры наши волонтеры уделяют внимание экологическому просвещению, «погружая» молодежь в темы экономики замкнутого цикла, переработки бумаги, особенно



го отношения к природе. Всеми способами мы стараемся показать, что бумага – важный ресурс, сбережение которого доступно каждому», – рассказал **сопредседатель движения «Экосистема» Андрей Руднев.**

«Наши дети с раннего детства знают, что такое сортировка мусора. Дома – отдельные корзины для бытового мусора и пластика, маленькая – для батареек, а бумагу – старые альбомы, тетради, дневники каждый складывает в коробку, а потом сдает в переработку, – рассказывает **ведущий инженер-технолог Бородинского разреза СУЭК Юрий Штельма.** – Даже такие маленькие привычки, как сортировка мусора, вносят большой вклад в сохранение природы для будущих поколений».

**Начальник отдела материально-технического снабжения Назаровского разреза СУЭК, активист Совета молодежи предприятия Дмитрий Белобородов** тоже участвует в акции «БумБатл» со всей семьей: «Не первый год принимаем участие в акциях по сбору макулатуры. Это возможность показать детям, что ненужная бумага – не просто «мусор», а ценное сырье, которое после переработки будет направлено на изготовление тех же тетрадей, блокнотов и учебников для школы».

В финале акции оргкомитет определит лидеров по объемам собранного бумажного сырья среди детских садов, ссузов, вузов, компаний и в индивидуальном зачете. Также будут объявлены самые результативные регионы страны. Каждый участник получит подарок.



# Результаты исследований угольных шламов\*

DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2023-12-104-107>

## ПРОКОПЬЕВ Е.С.

Младший научный сотрудник  
отдела комплексного использования  
минерального сырья  
Института Земной коры СО РАН,  
директор по технологиям и инновациям  
ООО НПК «Спирит»,  
664033, г. Иркутск, Россия,  
e-mail: pes@spirit-irk.ru

## ПРОКОПЬЕВ С.А.

Канд. техн. наук,  
начальник отдела  
комплексного использования  
минерального сырья  
Института земной коры СО РАН,  
генеральный директор ООО НПК «Спирит»,  
664033, г. Иркутск, Россия,  
e-mail: psa@spirit-irk.ru

## АЛЕКСЕЕВА О.Л.

Ведущий инженер  
отдела комплексного использования  
минерального сырья  
Института земной коры СО РАН,  
директор по экономике и финансам  
ООО НПК «Спирит»,  
664033, г. Иркутск, Россия,  
e-mail: aol@spirit-irk.ru

В представленной статье авторы ведут речь о важности определения оптимальных режимов обогащательного оборудования во время разработки технологии обогащения. Своими данными они показывают, что для достижения положительных результатов не обязательно выполнять трудоемкие работы, достичь их возможно с применением наиболее упрощенных способов.

**Ключевые слова:** угольные шламы, обогащение угольных шламов, режимные параметры, гранулометрический анализ, операция сгущения, сгущение угольных шламов

**Для цитирования:** Прокопьев Е.С., Прокопьев С.А., Алексеева О.Л. Результаты исследований угольных шламов // Уголь. 2023. № 12. С. 104-107. DOI: 10.18796/0041-5790-2023-12-104-107.

## ВВЕДЕНИЕ

В практике обогащения углей продукт крупностью 0-0,5 мм называется угольным шламом, который содержит от 10 до 50% и более глинистого вещества, состоящего в основном из слоистых силикатов – каолинита и гидрослюдистых глин [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9]. Каолинит и гидрослюдистые глины — это природные слоистые алюмосиликаты, склонные к набуханию в воде и образующие в воде устойчивые коллоидные растворы [10, 11]. Во время обогащательного процесса из-за их присутствия увеличивается показатель зольности сухого топлива в конечных продуктах обогащения, поэтому, когда осуществляется разработка технологий переработки сырья, необходимо обращать особое внимание на предварительную подготовку материала.

В настоящее время ведутся работы по разработке технологии обогащения отходов флотации ОФ «Краснобродская-Коксовая», и за основу разработки взяты работы предшественников [12, 13, 14], где в технологической схеме для операции сгущения применяются гидроциклоны. Среди различных типов классифицирующего

\* Работы выполнены в рамках комплексного научно-технического проекта Министерства науки и высшего образования Российской Федерации № 075-15-2022-1192 «Переработка хвостов угольных обогащательных фабрик с целью получения товарного угольного концентрата» при поддержке комплексной научно-технической программы полного инновационного цикла «Разработка и внедрение комплекса технологий в областях разведки и добычи твердых полезных ископаемых, обеспечения промышленной безопасности, биоремедиации, создания новых продуктов глубокой переработки угольного сырья при последовательном снижении экологической нагрузки на окружающую среду и рисков для жизни населения», утвержденной Распоряжением Правительства Российской Федерации № 1144-р от 11 мая 2022 г.

оборудования гидроциклоны являются наиболее универсальным и простым в эксплуатации оборудованием, требующим относительно небольших капитальных и эксплуатационных затрат, обладающим высокой производительностью, обеспечивающим требуемые экологические и санитарно-гигиенические условия труда. При расчете параметров гидроциклона следует учитывать, что гидроциклонирование, как и другие процессы разделения мелких классов, имеет стохастическую природу, в основе которой лежат как детерминированные, так и вероятностные (случайные) физические явления, поэтому расчет режимных параметров данного оборудования является трудоемким [15], в связи с чем задача данного исследования заключалась в определении оптимального режима работы обогатительного оборудования, предназначенного для проведения операции сгущения при использовании наиболее упрощенного способа.

### МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объектом исследований стала технологическая проба, отобранная из отходов флотации (кека) ОФ «Краснобродская-Коксовая» филиала УК «УРК» «Краснобродский угольный разрез». Определение зольности сухого топлива исходной пробы выполнено методом ускоренного озоления (лаборатория аналитического контроля ООО «Инженерный центр «Иркутскэнерго»).

### РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Перед началом работ на исследуемом сырье был выполнен гранулометрический анализ с определением показате-

телей зольности сухого топлива в каждом классе крупности (табл. 1).

В ходе анализа было установлено, что в пробе присутствует материал тонкодисперсной фракции менее 20 мкм, выход которого составляет 53,89%. Показатель зольности сухого топлива в данном материале равен 40,5%. Также установлено, что в крупности более 125 мкм присутствуют минералы и минеральные агрегаты, представленные различными несгораемыми фазами, о чем свидетельствуют данные о показателях зольности. Выход материала крупностью более 125 мкм составляет 15,37%. В диапазоне крупности от 20 до 125 мкм зольность сухого топлива составляет 26,61% и ее можно считать продуктивной частью в испытуемом сырье.

Полученные данные свидетельствуют о том, что перед проведением основного обогащения из обогатительного процесса необходимо вывести материал крупностью более 125 мкм и выполнить операцию сгущения. Во избежание потери продуктивного материала крупность слива не должна превышать 20 мкм.

Испытания операции сгущения выполнены при помощи гидроциклона марки ГЦ-100. Задача операции сгущения заключается в получении наиболее тонкого слива. Для того чтобы выполнить поставленную задачу, было принято решение регулировать крупность слива за счет изменения диаметра песковой насадки при соблюдении одних и тех же режимных параметров обогатительного оборудования на всех тестовых опытах (табл. 2), а на продуктах опробования слива гидроциклона выполнить контроль крупности при помощи сита с ячей-

Таблица 1

**Гранулометрическая характеристика исходного сырья с показателями зольности сухого топлива по классам крупности**

Granulometric characteristics of the feedstock with dry fuel ash content by size class

Класс крупности, мм	Выход, %	Выход сухого топлива (А <sup>4</sup> ), %	Распределение, %
+2	0,41	80,8	0,82
-2+1	1,33	82,6	2,73
-1+0,5	3,69	74,5	6,84
-0,5+0,25	4,82	63,7	7,64
-0,25+0,125	5,12	57,1	7,28
-0,125+0,071	4,51	32,9	3,69
-0,071+0,04	14,04	22,0	7,69
-0,04+0,02	12,19	29,6	8,98
-0,02+0,0	53,89	40,5	54,32
Итого:	100,00	40,18	100,00

Таблица 2

**Режимные параметры ГЦ-100 тестовых опытов**

Operating parameters of GC-100 test experiments

Номер опыта	1	2	3	4
Производительность при давлении 0,05 МПа, куб. м/ч не менее	5-15			
Процент твердого в питании, %	20			
Диаметр сливного патрубка, мм	20			
Диаметр песковой насадки, мм	12	10	8	6

**Результат контроля крупности слива ГЦ тестовых опытов**  
The result of monitoring the size of the GC drain from test experiments

Класс крупности, мм	Выход, %			
	Опыт 1	Опыт 2	Опыт 3	Опыт 4
-0,5+0,02	19,85	24,83	26,83	28,37
-0,02+0,0	80,15	75,17	73,17	71,63
Итого:	100,00	100,00	100,00	100,00

кой 20 мкм (табл. 3) и посмотреть будут ли проследиться какие-либо изменения. Выбранные режимные параметры гидроциклона основаны на технических характеристиках, которые указаны в паспорте обогатительного оборудования.

В результате проведения тестовых испытаний было установлено (см. данные табл. 3), что при использовании более крупной песковой насадки крупность слива ГЦ на 80,15% будет состоять из материала менее 20 мкм, с уменьшением диаметра песковой насадки (результаты опытов 2, 3 и 4) наблюдается закругление крупности слива ГЦ, в ее гранулометрическом составе происходит увеличение выхода крупности материала более 20 мкм примерно на 2% в каждом опыте. Закругление слива сгущения может повлечь за собой потерю продуктивного класса крупности. Чтобы избежать этого необходимо применять песковую насадку с наибольшим диаметром на сливном отверстии.

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Таким образом, в настоящем исследовании был продемонстрирован упрощенный способ настройки обогатительного оборудования, который может быть применим как в лабораторных, так и в полевых условиях при пусконаладочных работах.

**Список литературы**

1. Новак В.И., Козлов В.А. Обзор современных способов обогащения угольных шламов // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). Отдельный выпуск № 5. Угледобыча: технологии, безопасность, переработка и обогащение. 2012.
2. Козлов В.А., Новак В.И. Оптимизация работы углеобогатительной фабрики с целью получения максимального выхода концентрата // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2019. № 4. С. 175-186.
3. Сипотенко А.И., Коткин А.М., Совершенствование техники и технологии обработки шламов для сокращения их выхода как отдельного товарного продукта. М.: ЦНИЭИ Уголь, 1991.
4. Козлов В.А., Новак В.И. Применение колонковой флотации в угольной промышленности // Горный информационно-

- аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2011. № 4. С. 277-282.
5. Новак В.И. Обоснование и разработка рациональной технологии флокуляционного разделения тонкодисперстных угольных шламов. М.: ИОТТ-МГГУ, 2012.
6. Белоусов В.А. Основные направления интенсификации флотационного обогащения углей // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2014. № 11-5. С. 719-721.
7. Behera B., Sahu H.B. Coal mine waste characterization and defluoridation property // Heliyon. 2023. No 9. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e13244>.
8. Kopobayeva A.N., Portnov S., Kim S.P. Tectonic factors of impurity elements accumulation at the Shubarkol coal deposit (Kazakhstan) // Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu. January. 2020. DOI: 10.33271/nvngu/2021-5/011.
9. Thang N.C., Tuan N.V., Hiep D.N. The Potential Use of Waste Rock from Coal Mining for the Application as Recycled Aggregate in Concrete. In book: Proceedings of the International Conference on Innovations for Sustainable and Responsible Mining. October. 2020. P. 550-561. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-3-030-60839-2-29>.
10. Ucara A., Sahbaza O., Ediza N. An investigation into the enrichment of coal wastes of Western Lignite Company (WLC) by physical and physico-chemical methods // Scientific Mining Journal. 2023. 62(1). P. 7-15. DOI: <https://doi.org/10.30797/madencilik.1111260>.
11. Moszko J.C., Wierzchowski K., Klupa A. Evaluation of the Possibility of the hard coal sludge enrichment by flotation. December 17th. 2020. DOI: <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-127361/v1>.
12. Прокопьев Е.С., Алексеева О.Л. Оценка возможности вовлечения в переработку углесодержащих отходов шламохранилища Западносибирского металлургического комбината // Науки о Земле и недропользование. 2022. Т. 45. № 4. С. 446-457.
13. Соловеев Н.П., Болотин Н.М. Применение технологии винтовой сепарации при переработке угольных шламов // Науки о Земле и недропользование. 2022. Т. 45. № 4. С. 469-480.
14. Турецкая Н.Ю., Чикишева Т.А. Обогащение шламов угольных гидроотвалов методом винтовой сепарации // Науки о Земле и недропользование. 2022. Т. 45. № 4. С. 436-445.
15. Кармазин В.В., Торопов О.А. Теоретический анализ технологических возможностей гидроциклонов // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2009. № 515. С. 215-228.

Original Paper

UDC 552.574 © E.S. Prokopiev, S.A. Prokopiev, O.L. Alekseeva, 2023  
 ISSN 0041-5790 (Print) • ISSN 2412-8333 (Online) • Ugol' – Russian Coal Journal, 2023, № 12, pp. 104-107  
 DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2023-12-104-107>

**Title****COAL SLURRY RESEARCH RESULTS****Authors**

Prokopiev E.S.<sup>1,2</sup>, Prokopiev S.A.<sup>1,2</sup>, Alekseeva O.L.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Institute of the Earth's Crust of SB RAS, Irkutsk, 664033, Russian Federation

<sup>2</sup> LLC Research and Production Company Spirit, Irkutsk, 664033, Russian Federation

**Authors information**

**Prokopiev E.S.**, Junior Researcher, Director for Technology and Innovation, e-mail: [pes@spirit-irk.ru](mailto:pes@spirit-irk.ru)

**Prokopiev S.A.**, PhD (Engineering), Head of the Department of Integrated Use of Mineral Raw Materials, Chief Executive Officer, e-mail: [psa@spirit-irk.ru](mailto:psa@spirit-irk.ru)

**Alekseeva O.L.**, Leading Engineer of the department for integrated use of mineral raw materials, Director of Economics and Finance, e-mail: [aol@spirit-irk.ru](mailto:aol@spirit-irk.ru)

**Abstract**

In this article the authors talk about the importance of determining the optimal modes of enrichment equipment during the development of enrichment technology. With their data they show that to achieve positive results it is not necessary to perform labor-intensive work; it is possible to achieve them using the most simplified methods.

**Keywords**

Coal sludge, Enrichment of coal sludge, Operating parameters, Granulometric analysis, Thickening operation, Thickening of coal sludge.

**References**

- Novak V.I. & Kozlov V.A. An overview of modern methods of coal sludge preparation. *Gornyj informacionno-analiticheskij byulleten'*, Special Issue No. 5, Coal mining: technology, safety, processing and preparation. 2012.
- Kozlov V.A. & Novak V.I. Optimization of coal preparation plant operation to maximize concentrate yield. *Gornyj informatsionno-analiticheskij byulleten'*, 2019, (4), pp. 175-186. (In Russ.).
- Sipotenko A.I. & Kotkin A.M. Enhancement of equipment and technology of sludge treatment to reduce its yield as a separate marketable product. Moscow, TsNIEI Ugol' Publ., 1991. (In Russ.).
- Kozlov V.A. & Novak V.I. Application of column flotation in the coal industry. *Gornyj informatsionno-analiticheskij byulleten'*, 2011, (4), pp. 277-282. (In Russ.).
- Novak V.I. Justification and development of a rational technology of flocculation separation of fine coal slimes. Moscow, IOTT-MGGU Publ., 2012. (In Russ.).
- Belousov V.A. Main trends in intensification of coal flotation preparation. *Mezhdunarodnyj zhurnal prikladnyh i fundamental'nyh issledovanij*, 2014, (11-5), pp. 719-721. (In Russ.).
- Behera B. & Sahu H.B. Coal mine waste characterization and defluoridation property. *Heliyon*, 2023, (9). DOI: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e13244>.
- Kopobayeva A.N., Portnov S. & Kim S.P. Tectonic factors of impurity elements accumulation at the Shubarkol coal deposit (Kazakhstan). *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, January, 2020. DOI: [10.33271/nvngu/2021-5/011](https://doi.org/10.33271/nvngu/2021-5/011).

9. Thang N.C., Tuan N.V. & Hiep D.N. The Potential Use of Waste Rock from Coal Mining for the Application as Recycled Aggregate in Concrete. In book: *Proceedings of the International Conference on Innovations for Sustainable and Responsible Mining*, October, 2020, pp. 550-561. DOI: [https://doi.org/10.1007/978-3-030-60839-2\\_29](https://doi.org/10.1007/978-3-030-60839-2_29).

10. Ucara A., Sahbaza O. & Ediza N. An investigation into the enrichment of coal wastes of Western Lignite Company (WLC) by physical and physico-chemical methods. *Scientific Mining Journal*, 2023, 62(1), pp. 7-15. DOI: <https://doi.org/10.30797/madencilik.1111260>.

11. Moszko J.C., Wierzchowski K. & Klupa A. Evaluation of the Possibility of the hard coal sludge enrichment by flotation. December 17th. 2020. DOI: <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-127361/v1>.

12. Prokopyev E.S. & Alekseyeva O.L. Feasibility study of processing coal-bearing wastes of the sludge storage at the West Siberian Metallurgical Works. *Nauki o Zemle i nedropol'zovanie*, 2022, Vol. 45, (4), pp. 446-457. (In Russ.).

13. Soloveyenko N.P. & Bolotin N.M. Application of screw separation technology in coal sludge processing. *Nauki o Zemle i nedropol'zovanie*, 2022, Vol. 45, (4), pp. 469-480. (In Russ.).

14. Turetskaya N.Yu. & Chikisheva T.A. Processing of sludge from coal sludge ponds using the screw separation technique. *Nauki o Zemle i nedropol'zovanie*, 2022, Vol. 45, (4), pp. 436-445. (In Russ.).

15. Karmazin V.V. & Toropov O.A. Theoretical analysis of hydrocyclone technological potential. *Gornyj informacionno-analiticheskij byulleten'*, 2009, (S15), pp. 215-228. (In Russ.).

**Acknowledgements**

The research was performed as part of the Integrated Scientific and Technical Programme of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation № 075-15-2022-1192 "Processing of coal mill tailings in order to obtain commercial coal concentrate" with support of the 'Development and implementation of complex technologies in the areas of exploration and extraction of minerals, industrial safety, bioremediation, creation of new deep conversion products from coal raw materials while consistently reducing the environmental impact and risks to human life' Integrated Scientific and Technical Programme of the Full Innovation Cycle, approved by Order No. 1144-p of the Government of the Russian Federation on May 11, 2022.

**For citation**

Prokopiev E.S., Prokopiev S.A. & Alekseeva O.L. Coal slurry research results. *Ugol'*, 2023, (12), pp. 104-107. (In Russ.). DOI: [10.18796/0041-5790-2023-12-104-107](https://doi.org/10.18796/0041-5790-2023-12-104-107).

**Paper info**

Received October 5, 2023

Reviewed November 10, 2023

Accepted November 27, 2023

# Термическое растворение каменных углей Кузбасса\*

DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2023-12-108-111>

## ЧЕРКАСОВА Т.Г.

Доктор хим. наук, профессор, директор  
Института химических и нефтегазовых  
технологий ФГБОУВО «Кузбасский государственный  
технический университет имени Т.Ф. Горбачева»,  
650000, г. Кемерово, Россия,  
e-mail: ctg.htnv@kuzstu.ru

## НЕВЕДРОВ А.В.

Канд. техн. наук, доцент,  
доцент Института химических и нефтегазовых  
технологий ФГБОУВО «Кузбасский государственный  
технический университет имени Т.Ф. Горбачева»,  
650000, г. Кемерово, Россия,  
e-mail: nevedrov@kuzstu.ru

## ПАПИН А.В.

Канд. техн. наук, доцент,  
доцент Института химических и нефтегазовых  
технологий ФГБОУВО «Кузбасский государственный  
технический университет имени Т.Ф. Горбачева»,  
650000, г. Кемерово, Россия,  
e-mail: pav.httt@kuzstu.ru

В статье рассматривается процесс термического растворения каменных углей Кузбасса марок Г, ГЖ и Ж в антраценовом масле (антраценовой фракции каменноугольной смолы). Целевыми продуктами данного процесса являются пекоподобные продукты. Были получены лабораторные образцы пекоподобных продуктов при варьировании марки каменного угля и конечной температуры процесса. Температура варьировалась в интервале 370–390°C. Для приготовления углемазляной смеси использовалось соотношение 30% каменного угля и 70% антраценового масла. Были исследованы качественные характеристики полученных лабораторных образцов пекоподобных продуктов.

**Ключевые слова:** уголь, антраценовое масло, пекоподобный продукт, пек, термическое растворение, углеродные волокна.

**Для цитирования:** Черкасова Т.Г., Неведров А.В., Папин А.В. Термическое растворение каменных углей Кузбасса // Уголь. 2023. № 12. С. 108–111. DOI: 10.18796/0041-5790-2023-12-108-111.

## ВВЕДЕНИЕ

Пек представляет собой вязкоупругий материал, содержащий сложную смесь полициклических, ароматических и гетероциклических соединений. Он обладает высокой коксующей и спекающей способностью и низкой вязкостью в расплавленном состоянии, что обуславливает высокий уровень физико-механических свойств получаемых из него различных углеродных материалов [1].

Пек обычно классифицируют по его температуре размягчения, которая является наиболее значительным физическим свойством, влияющим на различные характеристики углеродных материалов на основе пека, такие как электрическая и теплопроводность, механическая прочность и свойства пор. Следовательно, температуру размягчения следует регулировать, чтобы применять пек для получения различных углеродных материалов [2].

Пек является важнейшим сырьевым компонентом для целого ряда высокотехнологичных уникальных продуктов для электродной промышленности, производства углеродных волокон, углеграфитовых, конструкционных, полупрово-



Научно-образовательный  
центр «Кузбасс»

\* Исследование выполнено за счет гранта Минобрнауки России (Соглашение № 075-15-2022-1193).

дниковых материалов, авиа- и ракетостроения [3, 4]. Потребности в каменноугольном пеке непрерывно увеличиваются в различных отраслях промышленности. Основным потребителем продукции из пеков – алюминиевая отрасль.

Для производства крупнотоннажных электродных масс и многих видов современных углеродных материалов в качестве основного связующего применяется каменноугольный пек. Качество пеков оценивается такими показателями, как выход летучих веществ, зольность, а также групповой состав, оцениваемый по растворимости в различных органических растворителях: по содержанию веществ, растворимых в петролейном эфире ( $\gamma$ -фракция), растворимых в толуоле, но не растворимых в петролейном эфире ( $\beta$ -фракция) и не растворимых в толуоле ( $\alpha$ -фракция). В свою очередь,  $\alpha$ -фракция подразделяется на растворимую в хинолине ( $\alpha_2$ -фракция) и не растворимую в хинолине ( $\alpha_1$ -фракция). Групповой состав во многом определяет такие технологические свойства пека, как температура размягчения, динамическая вязкость, текучесть при определенной температуре, коксующесть и выход коксового остатка [5].

Основным источником получения пеков является каменноугольная смола. В связи с тем, что ресурсы каменноугольной смолы ограничены мощностями коксохимических производств, то и объемы возможного производства каменноугольного пека также весьма ограничены [6, 7]. В настоящее время отечественная коксохимическая промышленность не обеспечивает и половины ее потребностей в пеке. Каменноугольный пек производят только пять промышленных предприятий: АО «ЕВРАЗ ЗСМК», ОАО «ММК», ОАО «Алтай-кокс», ОАО «Губахинский кокс», ПАО «Северсталь». Дефицит покрывается поставками в основном из Китая и Казахстана.

Возрастающий спрос на пек приводит к возникновению его дефицита и росту цен на него, что заставляет искать новые пути увеличения ресурсов пека. В связи с этим актуальной задачей становится разработка альтернативных способов получения пековых продуктов [8, 9, 10, 11, 12, 13].

### ОСНОВНОЙ РАЗДЕЛ

Особый интерес представляет способ получения пека методом термического растворения углей в «мягких» условиях при температуре начала деструкции органической массы угля и при давлении в несколько атмосфер. Мягкие условия проведения процесса обуславливают более простое технологическое оформление и легкость управления процессом. При этом в получаемом продукте сохраняется потенциал мезогенности, заложенный в пластиче-

ской массе угля. Это делает его очень ценным сырьем для многих отраслей промышленности. До недавнего времени высококипящие фракции, получаемые при термическом растворении углей, не рассматривались в качестве целевых продуктов, поскольку данный процесс был ориентирован на получение жидких продуктов энергетического назначения.

При термическом растворении твердых горючих ископаемых происходят распад их органической массы и образование низкомолекулярных соединений, переходящих в раствор и газовую фазу [8]. Каменные угли по растворимости в органических растворителях располагаются в следующей последовательности: Г, Д, Ж, К, антрацит.

Одним из наилучших органических растворителей каменных углей является антраценовое масло. Его высокая растворяющая способность связана с присутствием в его составе доноров водорода (аценафтена, дигидроантрацена, флуорена, карбазола), переносчиков водорода (фенантрена, флуорантена), а также соединений с сольватирующими свойствами (хинолина, индола, фенола) [1].

В ФГБОУ ВО «Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева» были проведены исследования по термическому растворению каменных углей Кузбасса в органическом растворителе с целью получения пекоподобных продуктов. Исследования проводились на лабораторной установке, описанной в предыдущих работах [14].

В ходе исследований изучалось влияние марки каменных углей и температуры процесса на качество получаемых пекоподобных продуктов термического растворения углей. В качестве органического растворителя применялась антраценовая фракция каменноугольной смолы (антраценовое масло).

В качестве исходного угольного сырья использовались концентраты углей Кузбасса марок Г, ГЖ и Ж. Образцы угольных концентратов подвергались исследованиям по определению следующих показателей их качества: содержание влаги на рабочее состояние угля  $W_r^r$ , %; зольность на сухое состояние угля  $A^d$ , %; выход летучих веществ на сухое беззольное состояние угля  $V^{daf}$ , %; индекс вспучивания угля  $I_{в}$ , мм; толщина пластического слоя угля  $У$ , мм; пластометрическая усадка  $X$ , мм; отражательная способность витринита  $R_0$ , %; содержание витринита,  $V_r$ , %. Результаты исследований представлены в табл. 1.

Исходный высушенный и измельченный уголь смешивался с антраценовым маслом в соотношении 30/70 до однородного пастообразного состояния. Полученная угле-масляная смесь после взвешивания загружалась в реактор, где осуществлялся процесс термического растворе-

Таблица 1

#### Показатели качества угольных концентратов

Quality indicators of coal concentrates

Марка угля	$W_r^r$ , %	$A^d$ , %	$V^{daf}$ , %	$I_{в}$ , мм	$У$ , мм	$X$ , мм	$R_0$ , %	$V_r$ , %
Г	7,8	7,0	43,8	123	14	25	0,711	93
ГЖ	9,1	8,5	33,9	132	19	42	0,799	92
Ж	7,2	8,4	29,4	131	31	4	0,996	94

**Качественные характеристики пекоподобных продуктов терморастворения каменных углей**

Qualitative characteristics of pitch-like products of black coal thermal dissolution

Марка угля	Конечная температура процесса, градус	Выход продукта, %	Температура размягчения, $T_{разм.}$ , градус	$A^d$ , %	$V^d$ , %	$\alpha$ -фракция (н/т), %	$\alpha_1$ -фракция (н/х), %
Г	370	70,3	70	2,5	74,2	38,9	5,8
	390	71,6	65	1,5	76,4	32,7	3,9
ГЖ	370	73,4	69	1,9	73,8	30,4	6,1
	390	71,5	63	1,4	74,3	27,6	4,0
Ж	370	72,0	58	1,7	70,7	29,2	8,4
	390	71,5	61	1,4	71,0	26,5	7,2

ния угля при конечных температурах процесса 370-390°C. Образовавшийся пекоподобный продукт охлаждался и взвешивался на весах.

Полученные образцы пекоподобных продуктов подвергались исследованию для определения следующих качественных характеристик: зольность  $A^d$ , выход летучих веществ  $V^d$ , температура размягчения  $T_{разм.}$ , содержание  $\alpha$ -фракции (веществ, не растворимых в толуоле), содержание  $\alpha_1$ -фракции (веществ, не растворимых в хинолине). Данные характеристики представлены в табл. 2.

Из представленных в табл. 2 результатов исследований выявлено, что наибольший выход пекоподобных продуктов достигается при термическом растворении каменных углей марок ГЖ и Ж. Это связано с тем, что данные марки углей имеют повышенное содержание пластической массы, характеризующейся показателем толщины пластического слоя угля  $U$ . Марка угля также оказывает существенное влияние на фракционный состав пекоподобных продуктов.

Конечная температура процесса терморастворения также оказывает влияние на фракционный состав пекоподобных продуктов и на температуру их размягчения.

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Таким образом, варьируя сырьем и технологическими факторами процесса термического растворения каменных углей, возможно получать пекоподобные продукты разного качества, соответствующего требованиям к пекам для разных производств углеродных материалов.

**Список литературы**

1. Терморастворение углей ряда метаморфизма в среде антраценовой фракции смолы коксования / П.Н. Кузнецов, Н.В. Перминов, Л.И. Кузнецова и др. // Кокс и химия. 2019. № 4. С. 27-35.
2. Угапьев А.А., Дошлов О.И. Нефтяной пек дезинтегрированный – альтернативное связующее для анодов нового поколения // Вестник ИргТУ. 2013. № 6. С. 151-156.

3. Коротева Л.И. Технология и оборудование для получения волокон и нитей специального назначения. М.: ИНФРА-М, 2019. 288 с.
4. Андрейков Е.И., Сафаров Л.Ф., Цаур А.Г. Получение нефтекаменноугольного пека совместной дистилляцией каменноугольной смолы и тяжелого газойля на смолоперерабатывающей установке АО «Губахинский кокс» // Кокс и химия. 2016. № 3. С. 59-64.
5. Optimisation of the melt-spinning of anthracene oil-based pitch for isotropic carbon fibre preparation / N. Diez, P. Alvarez, R. Santamaria et al. // Fuel Processing Technology. 2012. Vol. 93. P. 99-104.
6. Губанов С.А., Букка А.А., Иващенко Е.Ю. Технологические особенности производства каменноугольного пека из низкотемпературных каменноугольных смол и варианты совершенствования процесса // Кокс и химия. 2017. № 11. С. 37-42.
7. Обзор рынка каменноугольной смолы в СНГ. 2019. [Электронный ресурс]. URL: [https://infomine.ru/files/catalog/185/file\\_185.pdf](https://infomine.ru/files/catalog/185/file_185.pdf) (дата обращения: 15.11.2023).
8. Получение альтернативных пеков из углей / П.Н. Кузнецов, Е.Н. Маракушина, Ф.А. Бурюкин и др. // Химия в интересах устойчивого развития. 2016. № 24. С. 325-333.
9. Русьянова Н.Д. Углекимия: научное издание. М.: Наука, 2003. 320 с.
10. Методы получения угольных пеков / П.Н. Кузнецов, Л.И. Кузнецова, Ф.А. Бурюкин и др. // Химия твердого топлива. 2015. № 4. С. 16-29.
11. Solution of coking coal in the anthracene fraction of coal tar at PAO Koks / I.S. Vetoshkina, V.S. Solodov, T.G. Cherkasova et al. // Coke and Chemistry. 2019. Vol. 62. No 6. P. 245-248.
12. Investigation on chemical and structural properties of coal- and petroleum-derived pitches and implications on physico-chemical properties (solubility, softening and coking) / C. Russo, A. Ciajolo, F. Stanzione et al. // Fuel. 2019. Vol. 245. P. 478-487.
13. Mathews J.P., Burgess-Clifford C., Painter P. The interactions of illinois No 6 bituminous coal with solvents: a review of solvent swelling and extraction literature // Energy and Fuels. 2015. Vol. 29. P. 1279-1294.
14. Черкасова Т.Г., Неведров А.В., Папин А.В. Исследование процесса термического растворения угля марки Г // Кокс и химия. 2023. № 6. С. 69-72.



Original Paper

UDC 662.749.33 © T.G. Cherkasova, A.V. Nevedrov, A.V. Papin, 2023  
 ISSN 0041-5790 (Print) • ISSN 2412-8333 (Online) • Ugol' – Russian Coal Journal, 2023, № 12, pp. 108-111  
 DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2023-12-108-111>

**Title****THERMAL DISSOLUTION OF KUZBASS BLACK COALS****Author**

Cherkasova T.G., Nevedrov A.V., Papin A.V.

<sup>1</sup> T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University (KuzSTU), Kemerovo, 650000, Russian Federation**Authors Information**

**Cherkasova T.G.**, Doctor of Chemistry Sciences, Professor,  
 Director of Institute of Chemical and Oil and Gas Technologies,  
 e-mail: ctg.htnv@kuzstu.ru

**Nevedrov A.V.**, PhD (Engineering), Associate Professor, Associate Professor  
 of the Institute of Chemical and Oil and Gas Technologies,  
 e-mail: nevedrov@kuzstu.ru

**Papin A.V.**, PhD (Engineering), Associate Professor, Associate Professor  
 of the Institute of Chemical and Oil and Gas Technologies,  
 e-mail: pav.httt@kuzstu.ru

**Abstract**

The article discusses the process of thermal dissolution of Kuzbass coal grades G, GJ and W in anthracene oil (anthracene fraction of coal tar). The target products of this process are baking-like products. Laboratory samples of baking-like products were obtained by varying the grade of coal and the final temperature of the process. The temperature varied in the range of 370-390 °C. A ratio of 30% coal and 70% anthracene oil was used to prepare the coal-oil mixture. The qualitative characteristics of the obtained laboratory samples of baking-like products were investigated.

**Keywords**

Coal, Anthracene oil, Pitch-like product, Pitch, Thermal dissolution, Carbon fibers.

**References**

1. Kuznetsov P.N., Perminov N.V., Kuznetsova L.I., Kolesnikova S.M., Kamensky E.S., Pavlenko N.I. & Fetisova O.Yu. Thermal dissolution of coals of a series of metamorphism in the medium of anthracene fraction of coking resin. *Koks i himiya*, 2019, (4), pp. 27-35. (In Russ.).
2. Ugapyev A.A. & Doslov O.I. Disintegrated petroleum pitch – an alternative binder for new generation anodes. *Vestnik IrSTU*, 2013, (6), pp. 151-156. (In Russ.).
3. Koroteeva L.I. Technology and equipment for the production of fibers and threads for special purposes. Moscow, INFRA-M Publ., 2019. 288 p. (In Russ.).
4. Andreikov E.I., Safarov L.F. & Tsaurov A.G. Obtaining of oil-coal pitch by joint distillation of coal tar and heavy gas oil at the resin processing plant of Gubakhinsky Coke JSC. *Koks i himiya* 2016, (3), pp. 59-64.
5. Diez N., Alvarez P., Santamaria R., Blanco C., Menendez R. & Granda M. Optimisation of the melt-spinning of anthracene oil-based pitch for isotropic carbon fibre preparation. *Fuel Processing Technology*, 2012, (93), pp. 99-104.

6. Gubanov S.A., Bukka A.A. & Ivashchenko E.Yu. Technological features of the production of coal pitch from low-pyrolyzed coal tar and options for improving the process. *Koks i himiya*, 2017, (11), pp. 37-42. (In Russ.).
7. Overview of the coal tar market in the CIS. 2019. [Electronic resource]. Available at: [https://infomine.ru/files/catalog/185/file\\_185.pdf](https://infomine.ru/files/catalog/185/file_185.pdf) (accessed 15.11.2023). (In Russ.).
8. Kuznetsov P.N., Marakushina E.N., Buryukin F.A. & Ismagilov Z.R. Obtaining alternative pitches from coal. *Himiya v interesakh ustojchivogo pazvitiya*, 2016, (24), pp. 325-333. (In Russ.).
9. Rusyanova N.D. Coal chemistry: scientific edition. Moscow, Nauka Publ., 2003, 320 p. (In Russ.).
10. Kuznetsov P.N., Kuznetsova L.I., Buryukin F.A., Marakushina E.N. & Frizorger V.K. Methods of obtaining coal pitches. *Himiya tverdogo topliva*, 2015, (4), pp. 16-29. (In Russ.).
11. Vetoshkina I.S., Solodov V.S., Cherkasova T.G., Subbotin S.P., Vasileva E.V. & Nevedrov A.V. Solution of coking coal in the anthracene fraction of coal tar at PAO Koks. *Coke and Chemistry*, 2019, Vol. 62, (6), pp. 245-248.
12. Russo C., Ciajolo A., Stanzione F., Tregrossi A., Oliano M.M., Apicella B. & Carpentieri A. Investigation on chemical and structural properties of coal- and petroleum-derived pitches and implications on physico-chemical properties (solubility, softening and coking). *Fuel*, 2019, (245), pp. 478-487.
13. Mathews J.P., Burgess-Clifford C. & Painter P. The interactions of illinois No 6 bituminous coal with solvents: a review of solvent swelling and extraction literature. *Energy and Fuels*, 2015, (29), pp. 1279-1294.
14. Cherkasova T.G., Nevedrov A.V. & Papin A.V. Investigation of the process of thermal dissolution of coal grade G. *Koks i himiya*, 2023, (6), pp. 69-72. (In Russ.).

**Acknowledgements**

The research was financially supported by a grant from the Russian Ministry of Education and Science (Agreement No. 075-15-2022-1193).

**For citation**

Cherkasova T.G., Nevedrov A.V. & Papin A.V. Thermal dissolution of Kuzbass black coals. *Ugol'*, 2023, (12), pp. 108-111 (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2023-12-108-111.

**Paper info**

Received October 2, 2023

Reviewed November 10, 2023

Accepted November 27, 2023

# Обоснование критериев оценки результатов ведения буровзрывных работ в части экологической эффективности\*

DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2023-12-112-116>

## АВЕРИН А.П.

Канд. техн. наук,  
старший научный сотрудник  
ИПКОН РАН,  
111020, г. Москва, Россия,  
e-mail: [averin.andrey@gmail.com](mailto:averin.andrey@gmail.com)

## ХАРЧЕНКО А.В.

Канд. техн. наук, доцент,  
старший научный сотрудник  
ИПКОН РАН,  
111020, г. Москва, Россия,  
e-mail: [av-kharchenko@yandex.ru](mailto:av-kharchenko@yandex.ru)

Обоснование критериев оценки результатов ведения буровзрывных работ является очень важным этапом в оценке влияния и снижения негативного воздействия на окружающую среду буровзрывных работ. Благодаря мониторингу и анализу негативных сейсмических воздействий на объекты и инфраструктуру вокруг ведения работ можно адаптировать параметры и организацию буровзрывных работ в соответствии с ходом добычи таким образом, чтобы можно было защитить близлежащую инфраструктуру и добиться положительного экологического эффекта. В данной статье рассмотрено создание локальных (в рамках одного угольного разреза или отрабатываемого поля) систем сейсмического и акустического мониторинга негативных воздействий массовых взрывов. Показано, что по мере накопления сейсмической базы данных и последующего сопоставления ее с параметрами буровзрывных работ возможна корректировка проектов массовых взрывов для уточнения безопасных расстояний, что позволит увеличить размеры взрываемых блоков и повысить эффективность работы горнотранспортного оборудования, при этом сохранив экологию.

**Ключевые слова:** мониторинг, негативное воздействие, магнитуда, изосейсты, массовые взрывы, интенсивность сейсмических колебаний, охраняемые объекты.

**Для цитирования:** Аверин А.П. Харченко А.В. Обоснование критериев оценки результатов ведения буровзрывных работ в части экологической эффективности // Уголь. 2023. № 12 С. 112-116. DOI: 10.18796/0041-5790-2023-12-112-116.

## ВВЕДЕНИЕ

Вопросы обеспечения промышленной безопасности и охраны окружающей среды являются приоритетными при ведении буровзрывных работ (БВР). Для оценки влияния промышленных взрывов и снижения их негативного воздействия на литосферу, среду обитания человека и его здоровье необходимо проведение детального анализа эколого-геологических эффектов, вызванных горнодобывающим производством. Анализом экологических последствий при проведении массовых взрывов на карьерах занимаются многие ученые как в России [1, 2, 3, 4], так и за рубежом [5, 6].

\* Исследования проведены при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках мероприятия № 1 Комплексной научно-технической программы полного инновационного цикла, утвержденной распоряжением Правительства Российской Федерации от 11 мая 2022 года № 1144-р и соглашения о предоставлении из федерального бюджета грантов в форме субсидий в соответствии с пунктом 4 статьи 78.1 Бюджетного кодекса Российской Федерации № 075-15-2022-1185 от 28 сентября 2022 года.



Помимо залпового выделения газообразных продуктов взрыва промышленных взрывчатых веществ (ВВ) и пыли от разрушаемых горных пород не менее важным является сейсмическое воздействие на окружающую среду, на инфраструктуру предприятий, на конструкции зданий и сооружений. Длительное периодическое сейсмическое воздействие может приводить к накоплению напряжений и деформаций в конструкциях и основаниях зданий.

### ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Согласно [7] при анализе сейсмической обстановки в Кемеровской области всего зарегистрировано 605 сейсмических событий с 01.01.2023 по 31.01.2023 гг.:

- 543 промышленных взрыва;
- 13 местных землетрясений;
- 6 региональных землетрясений;
- 43 далеких землетрясения

Наибольшая сейсмическая активность в регионе в январе 2023 г. наблюдалась на территории:

- Беловского муниципального округа, зарегистрировано три сейсмических события магнитудой от 1.9 до 2.4 в районе угольного разреза «Бачатский»;
- Полысаевского городского округа, зарегистрировано также три сейсмических события магнитудой от 1.8 до 2.0.

Все другие зарегистрированные местные землетрясения находились на «фоновом» уровне (магнитуда не более 2.8) и происходили традиционно на территориях, связанных с горными выработками угледобывающих предприятий (рис. 1).

Несмотря на это, в Агентство по защите населения и территории Кузбасса периодически поступают жалобы от жителей домов, расположенных в непосредственной близости к зонам ведения открытых горных работ. Так, например, на рис. 2 приведена карта, на которой видно, что частные дома расположены на расстоянии не более 200-300 м от бровки разреза. Очевидно, что сейсмическое воздействие на близлежащие здания превышает допустимые уровни вибраций.

Как было показано в [8] переход к оценке массовых взрывов от магнитуды к интенсивности (баллам) сейсмического воздействия позволит локально оценивать величину негативного воздействия на близлежащую застройку.

В рамках выполнения работ по гранту была создана сейсмическая измерительная сеть на разрезе «Кедровский». Сейсмометры расположены как в границах горного отвода, так и в близлежащем жилом районе Кедровский. За время наблюдений база измерений составила от 250 до 4500 м.

Важным аспектом является представление результатов инструментальных наблюдений. Точечные результаты необходимо экстраполировать на всю близлежащую территорию для мониторинга сейсмической безопасности на региональном уровне.

На основе проведенных экспериментальных измерений сейсмического поля и ударно-воздушной волны получены максимальные амплитуды скорости смещения грунта в ближней зоне (700 м), которые составляют не более 70 мм/с. Учитывая, что сейсмический эффект от массового взрыва может вызвать негативные вибрации зданий и со-



Рис. 1. Карта Кузбасса с сейсмоактивными районами в январе 2023 г.

Fig. 1. Map of Kuzbass with seismically active areas in January 2023

оружий, нормативные документы [9, 10], регламентирующие оценку вибраций на конструкцию, указывают на диапазон вибрации техногенной природы 1-150 Гц. При регистрации сейсмике максимальное значение амплитуды колебаний, не приводящее к значительным последствиям, может составлять 50 мм/с. Таким образом, регистрирующая аппаратура и первичные преобразователи должны иметь верхний предел регистрируемой амплитуды до 50 мм/с. Частотный диапазон сейсмических измерений должен лежать в пределах от 0,1 до 100 Гц. С учетом затухания амплитуды колебаний с расстоянием для пунктов регистрации сейсмических колебаний, размещенных на расстояниях более двух километров, допустима установка первичных преобразователей с верхним пределом амплитуды колебаний 5 мм/с, а верхняя граница частотного диапазона может быть смещена в низкочастотную область до 50 Гц. Частотный диапазон акустического микрофона – от 2 до 10000 Гц.

На основе проекта БВР, в котором по ФНП «Правила безопасности при взрывных работах» приводятся расчеты безопасных расстояний негативных воздействий массовых взрывов [11], система удаленного мониторинга буровзрывных работ осуществляет геопространственную привязку потенциально опасных зон и проверяет наличие охраняемых объектов в опасной зоне. Путем монито-



Рис. 2. Расстояние от жилых построек до взрываемого блока менее 1000 м (источник: maps.yandex.ru)  
 Fig. 2. Distance from the residential buildings to the blasted block less than 1000 m (source: maps.yandex.ru)

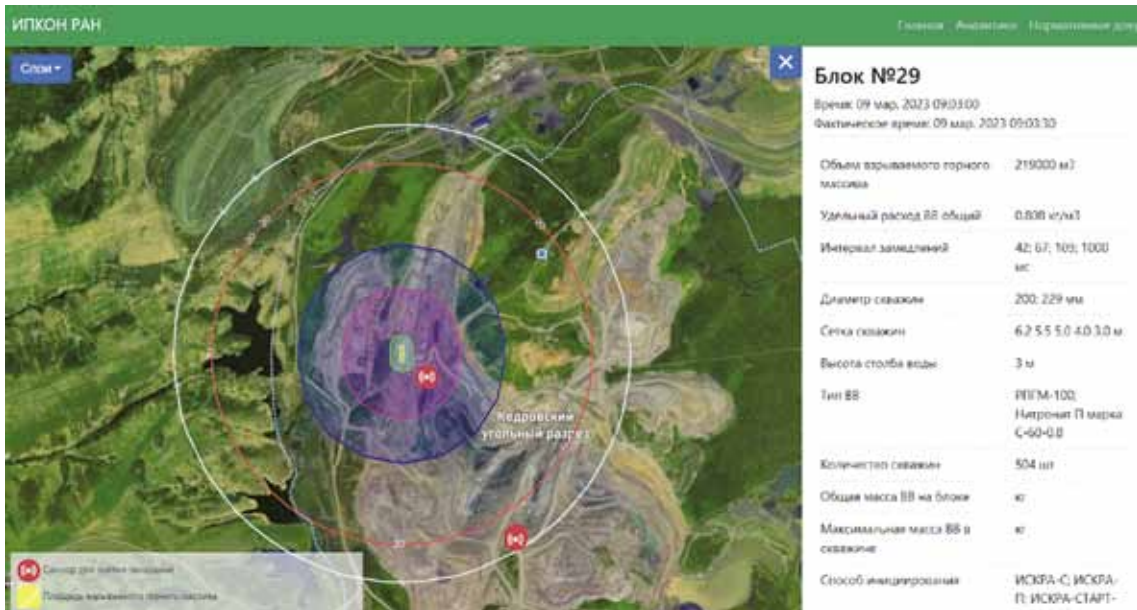


Рис. 3. Прогноз изолиний после взрыва на разрезе «Кедровский»  
 Fig. 3. Forecast of isolines after the blast at the Kedrovskiy strip mine

ринга сейсмического воздействия взрывных работ в первые годы работы шахты, а также с использованием зарегистрированных скоростей вибрации можно определить уровень и законы распределения и интенсивности сейсмической активности [12].

На рис. 3 представлены изосейсты, рассчитанные по фиксируемым с расставленных датчиков амплитудам колебаний.

Такой прогноз позволяет объективно и заблаговременно оценивать риски негативного воздействия как на жилые, так и на промышленные объекты, находящиеся в расчетной зоне. По мере накопления данных можно объективно судить о том, что на ряд объектов, особенно жилой застройки, массовые взрывы не оказывают ника-

кого воздействия, а влияние может быть из-за географического расположения объектов, геологического строения участка недр и локальной метеорологической обстановки.

### ВЫВОДЫ

Создание локальных (в рамках одного угольного разреза или обрабатываемого поля) систем сейсмического и акустического мониторинга негативных воздействий массовых взрывов позволит точно оценивать вибрационную нагрузку на близлежащие здания и сооружения. Ведение базы данных зданий и сооружений, попадающих в опасную зону, позволит достоверно оценивать влияние массовых взрывов на текущее техническое состояние гражданских объектов.

По мере накопления сейсмической базы данных и последующего сопоставления с массой заряда взрывчатого вещества, количеством и сеткой скважин возможна корректировка проектов массовых взрывов для уточнения безопасных расстояний, что позволит увеличить размеры взрывааемых блоков и повысить эффективность работы горнотранспортного оборудования.

### Список литературы

1. Богословский В.А., Жигалин А.Д., Хмелевской В.К. Экологическая геофизика. М.: Изд-во МГУ, 2000. 256 с.
2. Репина Е.М., Косинова И.И. Техногенная сейсмичность при горнодобывающей деятельности, ее влияние на инженерные сооружения и здоровье человека // Вестник ВГУ, Серия: география, геоэкология, 2010. № 1. С. 71-76.
3. Постсейсмические эффекты массовых взрывов, выделенные при разработке железорудных месторождений КМА / Э.М. Горбунова, А.Н. Беседина, Н.В. Кабыченко и др. // Динамические процессы в геосферах. 2022. Т. 14. № 1. С. 51-68. DOI: <http://doi.org/10.26006/22228535-2022-14-1-51>.
4. Adushkin V.V. Technogenic tectonic seismicity in Kuzbass // Russian Geology and Geophysics 2018. No 59. P. 571-583. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rgg.2018.04.010>.
5. Sharp increase in central Oklahoma seismicity since 2008 induced by massive wastewater injection / K.M. Keranen, M. Weingarten, G.A. Abers et al. // Science. 2014. No 345. P. 448-451. DOI: <https://doi.org/10.1126/science.1255802>.
6. Global review of human-induced earthquakes / G.R. Foulger, M.P. Wilson, J.G. Gluyas et al. // Earth-Science Reviews. 2018. No 178. P. 438-514. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2017.07.008>.
7. Анализ обстановки на территории Кемеровской области. Январь. 2023. [Электронный ресурс].
8. Аверин А.П., Харченко А.В. Критерии оценки негативного воздействия при проведении массовых взрывов на окружающую среду // Уголь. 2022. № 512. С. 44-48. DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2022-512-44-48>.
9. ГОСТ Р 57546-2017 Землетрясения. Шкала сейсмической интенсивности.
10. ГОСТ Р 52892-2007 Вибрация зданий. Измерение вибрации и оценка ее действия на конструкцию.
11. Правила безопасности при производстве, хранении и применении взрывчатых материалов промышленного назначения: официальное издание. Утверждены Приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору № 494 от 03.12.2020: введены в действие с изменениями 25.05.2022. М., 2022. (Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности).
12. Malbasic V., Stojanovic L. Determination of Seismic Safety Zones during the Surface Mining Operation Development in the Case of the «Бувач» Open Pit // Minerals. 2018. No 8. P. 71. URL: <https://doi.org/10.3390/min8020071> (дата обращения: 15.11.2023).

Original Paper

UDC 622.85:622.235 © A.P. Averin, A.V. Kharchenko, 2023  
ISSN 0041-5790 (Print) • ISSN 2412-8333 (Online) • Ugol' – Russian Coal Journal, 2022, № 12, pp. 112-116  
DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2023-12-112-116>

### Title

**JUSTIFICATION FOR CRITERIAS OF ASSESSING THE RESULTS OF DRILLING AND EXPLOSIVE OPERATIONS IN PART OF ECOLOGICAL EFFICIENCY**

### Authors

Averin A.P., Kharchenko A.V.

<sup>1</sup> ICEMR RAS, Moscow, 111020, Russian Federation

### Authors Information

**Averin A.P.**, PhD (Engineering), Senior Researcher, e-mail: [averin.andrey@gmail.com](mailto:averin.andrey@gmail.com)

**Kharchenko A.V.**, PhD (Engineering), Associate Professor, Senior Researcher, e-mail: [av-kharchenko@yandex.ru](mailto:av-kharchenko@yandex.ru)

### Abstract

Justification of criteria for evaluating the results of drilling and blasting is a very important step in assessing the effects and mitigating the negative environmental impacts of drilling and blasting operations. By monitoring and analyzing the negative seismic effects on the facilities and infrastructure around the operations, it is possible to adapt the parameters and organization of blasting operations to the mining operation in such a way that nearby infrastructure can be protected and positive environmental effects can be achieved. This article considers the creation of local (within one coal strip mine or the mined coal field) systems to monitor negative seismic and acoustic effects of large-scale blasting. It is shown that accumulation of the seismic database and its subsequent comparison with the drilling and blasting parameters will make it possible to refine the large-scale blasting projects to specify safe distances, which will increase the size of blasted blocks and improve the efficiency of mining transportation equipment, while safeguarding the environment.

### Keywords

Monitoring, Negative impact, Magnitude, Isoseists, Mass explosions, Intensity of seismic vibrations, Protected objects.

### References

1. Bogoslovsky V.A., Zhigalin A.D. & Khmelevskoy V.K. Ecological geophysics. Moscow, MGU Publ., 2000, 256 p. (In Russ.).
2. Repina E.M. & Kosinova I.I. Man-caused seismicity due to mining activities, its impact on engineering structures and human health. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Geografiya, geoekologiya*, 2010, (1), pp.71-76. (In Russ.).
3. Gorbunova E.M., Besedina A.N., Kabychenko N.V., Batukhtin I.V. & Petukhova S.M. Postseismic effects of mass explosions recorded during the development of KMA iron ore deposits. *Dinamicheskie procesy v geosferah*, 2022, Vol. 14, (1), pp. 51-68. (In Russ.). <http://doi.org/10.26006/22228535-2022-14-1-51>.
4. Adushkin V.V. Technogenic tectonic seismicity in Kuzbass. *Russian Geology and Geophysics*, 2018, (59), pp. 571-583. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rgg.2018.04.010>.
5. Keranen K.M., Weingarten M., Abers G.A., Bekins B.A. & Ge S. Sharp increase in central Oklahoma seismicity since 2008 induced by massive wastewater injection. *Science*, 2014, (345), pp. 448-451. DOI: <https://doi.org/10.1126/science.1255802>.

DRILLING AND BLASTING OPERATIONS

6. Foulger G.R., Wilson M.P., Gluyas J.G., Julian B.R. & Davies R.J. Global review of human-induced earthquakes. *Earth-Science Reviews*, 2018, (178), pp. 438-514. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.earscrev.2017.07.008>.
7. Analysis of the situation in the Kemerovo region. January. 2023. [Electronic resource].
8. Averin A.P. & Kharchenko A.V. Criteria for assessing the negative impact of mass explosions on the environment. *Ugol'*, 2022, (S12), pp. 44-48. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2022-S12-44-48.
9. GOST R 57546-2017 Earthquakes. Seismic intensity scale.
10. GOST R 52892-2007 Vibration of buildings. Measurement of vibration and evaluation of its effects on structure.
11. Safety rules for production, storage and use of explosive materials for industrial purposes: official publication. Approved by Order No. 494 of the Federal Service for Environmental, Technological and Nuclear Supervision as of 03.12.2020; enacted with amendments on 25.05.2022, Moscow, 2022. (Federal Norms and Rules in Industrial Safety). (In Russ.).
12. Malbasic V. & Stojanovic L. Determination of Seismic Safety Zones during the Surface Mining Operation Development in the Case of the "Buvač" Open Pit. *Minerals*, 2018, (8), pp. 71. Available at: <https://doi.org/10.3390/min8020071> (accessed 15.11.2023).

**Acknowledgements**

The research was performed with the financial support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation as part of Activity No.1 of the Integrated Scientific and Technical Programme of the Full Innovation Cycle, approved by Order No. 1144-p of the Government of the Russian Federation as of May 11, 2022, and Agreement No. 075-15-2022-1185 as of September 28, 2022, on providing grants from the federal budget in the form of subsidies in accordance with Item 4 of Article 78.1 of the Budget Code of the Russian Federation.

**For citation**

Averin A.P. & Kharchenko A.V. Justification for criterias of assessing the results of drilling and explosive operations in part of ecological efficiency. *Ugol'*, 2023, (12), pp. 112-116. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2023-12-112-116.

**Paper info**

Received October 17, 2023

Reviewed November 10, 2023

Accepted November 27, 2023

## Кузбассразрезуголь проведет испытания НОВОЙ ТЕХНОЛОГИИ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД

Экспериментальная установка для повышения эффективности очистки карьерных и поверхностных сточных вод смонтирована на очистных сооружениях Кедровского разреза УК «Кузбассразрезуголь». Блочно-модульный комплекс разработан совместно с учеными Кемеровского государственного университета в рамках реализации комплексной научно-технической программы «Чистый уголь – Зеленый Кузбасс» и сейчас проходит испытания.

В блоках опытной установки сточные воды проходят многоэтапную водоочистку, чтобы избавиться от осадков и вредных примесей перед дальнейшим сбросом в водоемы. Проводятся реагентная обработка, адсорбция, напорная фильтрация с кварцевым песком, затем вода проходит через обратноосмотическую мембрану и облучение ультрафиолетом.



### КУЗБАССРАЗРЕЗУГОЛЬ



Экологи УК «Кузбассразрезуголь» и ученые КемГУ проводят регулярные заборы проб, чтобы оценить работу пилотной уста-

новки. Результаты лабораторных исследований помогут оценить эффективность водоочистки и доработать технологию.

«Для очистки сточных вод на всех предприятиях УК «Кузбассразрезуголь» используются наилучшие до-

ступные технологии. Несмотря на это, мы находимся в постоянном поиске новых решений по технической модернизации очистных сооружений, чтобы дополнительно увеличить степень очистки сточных вод. За три года мы сократили общий объем сброса загрязняющих веществ в поверхностные водные объекты более чем на четверть. Сегодня вместе с учеными мы испытываем новые техноло-

гии, которые в перспективе помогут сделать очистку сточных вод еще эффективнее и экономичнее», – отметил **директор по правовому обеспечению и экологии УК «Кузбассразрезуголь» Захар Сапурин**.

Работу пилотной установки в числе первых оценили студенты-экологи Кемеровского государственного университета. Они посетили Кедровский угольный разрез, взяли первые пробы воды для лабораторного анализа, а также познакомились с действующей на предприятии системой водоочистки. Первые результаты наблюдений будут получены уже к концу текущего года.

*Пресс-служба УК «Кузбассразрезуголь»*



# Топливо-энергетический комплекс Австралии по данным спутниковой съемки. Добыча угля и угольная генерация электроэнергии\*

DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2023-12-117-120>

*В статье представлены результаты исследования состояния топливо-энергетического комплекса Австралии, полученные с использованием данных дистанционного зондирования Земли из космоса. В ходе дистанционного мониторинга и аналитических расчетов выявлен производственный потенциал каждого из четырех выделенных центров по добыче угля. Определены география размещения и количество тепловых электростанций, работающих на основе сжигания угля.*

**Ключевые слова:** Австралия, топливо-энергетический комплекс, угольные карьеры, тепловые электростанции, угольная генерация электроэнергии, объемы добычи и потребления угля, размещение производительных сил, дистанционное зондирование Земли из космоса.

**Для цитирования:** Топливо-энергетический комплекс Австралии по данным спутниковой съемки. Добыча угля и угольная генерация электроэнергии / И.В. Зеньков, Чинь Ле Хунг, Ю.П. Юронен и др. // Уголь. 2023. № 12. С. 117-120. DOI: 10.18796/0041-5790-2023-12-117-120.

## ВВЕДЕНИЕ

На территории Австралии к настоящему времени создан уникальный по масштабу угледобывающий комплекс. Развитие получили здесь такие энергоемкие отрасли, как горнодобывающая (горноперерабатывающая), нефтедобывающая, металлургическая, машиностроительная, химическая и др. Кроме этого, в Австралии имеются развитые агропромышленный комплекс и транспортная инфраструктура (автомобильные и железные дороги) и др. По данным спутниковой съемки установлено, что на большей части территории материка – центральной – отсутствуют признаки какой-либо масштабной хозяйственной деятельности общества.

Сегодня сформированные в ходе долговременной работы профессиональные компетенции, умение быстро и грамотно ориентироваться в информационной среде позволяют нашему коллективу проводить исследования мировых центров горнодобывающей промышленности, в том числе и мирового топливо-энергетического комплекса. С использованием результатов спутниковой съемки на очередном этапе разви-

\* Исследование проведено в рамках международного сотрудничества в области расширения сферы использования технологий дистанционного зондирования Земли.

## ЗЕНЬКОВ И.В.

Доктор техн. наук, профессор,  
заместитель директора  
по научной работе Сибирского  
научно-исследовательского института  
горного и маркшейдерского дела,  
660037, г. Красноярск, Россия,  
e-mail: zenkoviv@mail.ru

## ЧИНЬ ЛЕ ХУНГ

Канд. техн. наук,  
доцент Технического  
университета им. Ле Куи Дон,  
11355, г. Ханой, Вьетнам

## ЮРОНЕН Ю.П.

Канд. техн. наук, доцент  
Сибирского государственного  
университета науки и технологий  
им. академика М.Ф. Решетнева,  
660037, г. Красноярск, Россия

## КУЗИНА Л.Н.

Канд. экон. наук, доцент  
Сибирского федерального университета,  
660041, г. Красноярск, Россия

## МИРОНОВА Ж.В.

Канд. техн. наук, доцент  
Сибирского федерального университета,  
660041, г. Красноярск, Россия

## ШАТРОВ Р.А.

Магистрант  
Сибирского федерального университета,  
660041, г. Красноярск, Россия

**РАЕВИЧ К.В.**

Канд. техн. наук, доцент  
Сибирского федерального университета,  
660041, г. Красноярск, Россия

**СКОРНЯКОВА С.Н.**

Старший преподаватель  
Сибирского федерального университета,  
660041, г. Красноярск, Россия

тия нашей научно-практической школы решена еще одна прикладная задача по исследованию современного состояния объектов топливно-энергетического комплекса и его производственного потенциала на территории Австралии.

### **ГЕОГРАФИЯ РАЗМЕЩЕНИЯ УГОЛЬНЫХ КАРЬЕРОВ И ТЕПЛОВЫХ СТАНЦИЙ НА ТЕРРИТОРИИ АВСТРАЛИИ**

В своих исследованиях на территории Австралии мы выделили четыре центра добычи угля: 1) штат Западная Австралия (юго-западный сектор) с производством открытых горных работ; 2) два штата в восточном секторе страны (Квинсленд, Новый Южный Уэльс), где уголь добывают в карьерах и в шахтах; 3) штат Виктория (юго-восточный сектор, добыча угля исключительно открытым способом) [1]. Выделенные секторы на территории Австралии, в которых производят добычу угля открытым и подземным способом, а также работают тепловые электростанции на основе сжигания угля, обозначены цифрами на *рисунке*.

На территории Австралии линиями желтого цвета выделены контуры, в которых производят добычу угля (*см. рисунок*), а линиями красного цвета определены территории, на которых работают тепловые станции с угольной генерацией электроэнергии.

Первый центр находится на юго-западе штата Западная Австралия. Здесь уголь в объеме 12 млн т в год добывают в трех карьерах в основном для нужд трех тепловых электростанций с установленной суммарной мощностью энергоблоков 1500 МВт. Электроэнергия потребляется в основном предприятиями горнодобывающей и горноперерабатывающей промышленности.

Второй, самый масштабный угледобывающий центр находится в восточной части штата Квинсленд. Здесь уголь добывают в 60 карьерах и в восьми шахтах. Объем добычи угля открытым способом составляет 320 млн т в год. Технологические суммарные мощности предприятий по добыче угля оценены в 500 млн т в год. Весь объем добытого угля, за исключением той части, которая сжигается на трех тепловых станциях (22 млн т), отправляется в железнодорожных составах в морские порты на восточное побережье континента. При этом расстояние транспортировки угля не превышает 250 км. В этом штате работают пять тепловых электростанций, суммарная мощность турбогенераторов на которых составляет 2900 МВт.



*Схема регионального размещения угольных карьеров и тепловых станций на территории Австралии (на снимке из космоса, 2022 г.)*

*Location map of surface coal mines and thermal power stations in Australia (satellite image, 2022)*



На территории штата Новый Южный Уэльс уголь концентрированно добывают в 31 карьере и в шести шахтах (см. сектор 3 на рисунке). Карьеры находятся в 60-100 км на северо-запад от г. Ньюкасла. Добыча угля в последние годы здесь находится на уровне 120 млн т в год. На морском побережье в городской черте Ньюкасла работают три морских логистических терминала по отгрузке угля в морские сухогрузы. Из карьеров добытый уголь транспортируют в железнодорожных составах до г. Ньюкасла на расстояние 150-170 км. В штате работают три тепловые станции с угольной генерацией электроэнергии. Одна работающая электростанция находится восточнее г. Портленда, две станции работают на берегу и вблизи озера Лиддел. Электростанция, находящаяся в 10 км на юго-восток от г. Портленда, в 2014 г. остановлена. В настоящее время практически закончен демонтаж зданий и сооружений станции. Технологические возможности карьеров позволяют здесь обеспечивать годовой объем добычи угля на уровне 200 млн т в год. Объем угля не менее 16 млн т в год сжигают на тепловых электростанциях. Небольшой объем (не более 5 млн т в год) потребляется смежными отраслями промышленности внутри страны, остальной объем угля отправляют на экспорт через морской порт.

По данным спутниковой съемки, на юго-востоке штата Виктория (см. сектор 4 на рисунке) уголь в объеме 25 млн т в год добывают в двух карьерах. При этом обеспечивается бесперебойная работа трех крупных электростанций суммарной мощностью 3600 МВт. В этом штате в последние годы закрыты один карьер и две тепловые электростанции, работающие вблизи карьера.

Исследование железнодорожной логистики угольных потоков выявило конечные пункты в доставке угля – крупные морские угольные терминалы на восточном побережье Австралии [1]. Суммарная мощность технологического оборудования по перегрузке угля в морских портах, с учетом времени на постановку балкеров под погрузку и их отхода от причалов, составляет, по нашей оценке, не менее 800 млн т в год.

Также установлены основные потребители угля на континенте, не входящие в сектор топливно-энергетического комплекса с угольной генерацией, – предприятия черной и цветной металлургии, химической отрасли, цементной промышленности и др. Объем потребления в этом промышленном секторе, по нашим расчетам, составляет не менее 10 млн т в год.

В австралийском ТЭК объем добычи угля на уровне 60 млн т ежегодно используют для выработки электрической энергии на тепловых станциях. Всего, по данным спутниковой съемки, на территории Австралии работают 14 тепловых станций с угольной генерацией электроэнергии [1].

### **ОЦЕНКА ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ПОТЕНЦИАЛА ПРЕДПРИЯТИЙ ТОПЛИВНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА С УГОЛЬНОЙ ГЕНЕРАЦИЕЙ В АВСТРАЛИИ**

Оценка производственного потенциала любого угледобывающего предприятия начинается с оценки горно-геологического строения месторождения, во-

влекаемого в разработку. На территории Австралии горно-геологическое строение угольных месторождений повсеместно имеет благоприятные характеристики для открытой разработки: горизонтальное или пологое залегание пластов; мощность вскрышных пород, соизмеримая с двух-трехкратной мощностью угольных пластов; линии выхода угольных пластов под наносы имеют значительную протяженность – до 50 км [1]. Все это делает возможным строительство и дальнейшую высокоэффективную эксплуатацию мощных угольных карьеров по добыче угля. В Австралии в работе угольных карьеров имеется одна важная технологическая особенность – короткие расстояния транспортировки вскрышных пород до отвалов, а угля – до стационарных складов или обогатительных фабрик. Это обстоятельство делает высокорентабельной добычу угля открытым способом.

По данным спутниковой съемки в угольных карьерах Австралии на бурении взрывных скважин работают 373 высокопроизводительных буровых станка. На вскрышных работах установлены 59 драглайнов с ковшом от 15 до 100 куб. м и длиной стрелы до 100 м, а также два роторных экскаватора. Парк драглайнов представлен в основном моделями с вместимостью ковша со сдвигом в сторону верхнего предела этого диапазона (15-100 куб. м). В состав экскаваторно-автомобильных комплексов входят: 59 мехлопат с ковшом до 50 куб. м, 337 гидравлических экскаваторов с ковшом до 42 куб. м; 2027 карьерных автосамосвалов грузоподъемностью до 360 т; 12 автосамосвалов повышенной проходимости с шарнирно-сочлененной рамой грузоподъемностью 30 т. На добычных работах в одном из карьеров в штате Виктория задействовано шесть мощных бульдозеров Caterpillar D11T, а в другом карьере здесь же – три роторных экскаватора [1].

По нашим аналитическим расчетам, парк горнотранспортного оборудования может технически и технологически обеспечить объем угля на уровне 700 млн т и объем вскрышных работ – не менее 2,9 млрд т.

Размещение тепловых станций приурочено к территориям с концентрированно расположенными угольными карьерами. Доставка добытого угля с угледобывающих предприятий до тепловых электростанций производится в основном по стационарным конвейерам и в небольшом количестве в железнодорожных составах. Суммарная мощность установленных энергоблоков на электростанциях находится в широком диапазоне – от 500 до 1500 МВт. По данным спутниковой съемки на электростанциях установлено от двух до четырех энергоблоков. Практически на всех электростанциях способ удаления золы и шлака – мокрый с размещением золы и шлака в накопителях на прилегающих территориях [1].

### **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

По нашей оценке, в последние годы в Австралии с населением более 27 млн чел., проживающих преимущественно в частном секторе и имеющих на своей территории развитый промышленный (преимущественно горнодобывающий) комплекс из нескольких сотен энергоемких предприятий, безостановочно сокращается угольная генерация электрической энергии. На экспорт поставляют-

ся немногим больше 400 млн т высококачественного угля в год, что определяется спросом на мировом рынке, 60 млн т угля потребляется на собственных тепловых электростанциях, и 10 млн т потребляют смежные отрасли. Выбывающие мощности по генерации электроэнергии, основанной на сжигании угля, компенсируются работой ветрогенераторов и солнечными батареями. В последние годы (с 2016 г.) в Австралии выведено из эксплуатации шесть тепловых электростанций, работающих на сжигании угля. Параллельно с этим, на наш взгляд, не менее важной является решение комплексной экономической проблемы, имеющей глобальный масштаб и межотрас-

левой характер. И в первую очередь, решение вопросов, связанных с занятостью работников предприятий ТЭК, и предприятий отраслей, обслуживающих угледобывающие (угольные карьеры, шахты, обогатительные фабрики) и энергетические предприятия (тепловые электростанции) в плане поставок горнотранспортного и теплоэнергетического оборудования, товарно-материальных ценностей, расходных материалов, оказания услуг производственного назначения (ремонт оборудования, логистика и др.).

### Список литературы – см. References

## ABROAD

### Original Paper

UDC 622.271(73):550.814 © I.V. Zenkov, Trinh Le Hung, Yu.P. Yuronen, L.N. Kuzina, Zh.V. Mironova, R.A. Shatrov, K.V. Raevich, S.N. Skorniyakova, 2023  
ISSN 0041-5790 (Print) • ISSN 2412-8333 (Online) • Ugol' – Russian Coal Journal, 2023, № 12, pp. 117-120  
DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2023-12-117-120>

### Title

**AUSTRALIAN FUEL AND ENERGY COMPLEX BASED ON SATELLITE IMAGING DATA.  
COAL MINING AND COAL-FIRED POWER GENERATION**

### Authors

Zenkov I.V.<sup>1</sup>, Trinh Le Hung<sup>2</sup>, Yuronen Yu.P.<sup>3</sup>, Kuzina L.N.<sup>4</sup>, Mironova Zh.V.<sup>4</sup>, Shatrov R.A.<sup>4</sup>, Raevich K.V.<sup>4</sup>, Skorniyakova S.N.<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Siberian Research Institute of Mining and Surveying, Krasnoyarsk, 660064, Russian Federation

<sup>2</sup> Le Quy Don Technical University (LQDTU), Hanoi, 11355, Vietnam

<sup>3</sup> Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, Krasnoyarsk, 660037, Russian Federation

<sup>4</sup> Siberian Federal University, Krasnoyarsk, 660041, Russian Federation

### Authors Information

**Zenkov I.V.**, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Deputy Director for Scientific Work, e-mail: [zenkoviv@mail.ru](mailto:zenkoviv@mail.ru)

**Trinh Le Hung**, PhD (Engineering), Associate Professor

**Yuronen Yu.P.**, PhD (Engineering), Associate Professor

**Kuzina L.N.**, PhD (Economic), Associate Professor

**Mironova Zh.V.**, PhD (Engineering), Associate Professor

**Shatrov R.A.**, Undergraduate

**Raevich K.V.**, PhD (Engineering), Associate Professor

**Skorniyakova S.N.**, Senior lecturer

### Abstract

The article presents the results of studying the condition of the Australian Fuel and Energy Complex using the Earth remote sensing data from space. Remote monitoring and analytical calculations reveal the production potential of each of the four identified coal production centres. The geographical location and the number of coal-fired thermal electric power plants have been determined.

### Keywords

Australia, Fuel and energy complex, Coal open-pit mines, Thermal electric power plants, Coal-fired electric power generation, Coal mining and con-

sumption volumes, Distribution of production operations, Earth remote sensing from space.

### References

1. Google Earth. [Electronic resource]. Available at: <https://www.google.com/earth/> (accessed 15.11.2023).

### Acknowledgements

The study was performed within the framework of international cooperation in expanding the use of remote sensing technologies.

### For citation

Zenkov I.V., Trinh Le Hung, Yuronen Yu.P., Kuzina L.N., Mironova Zh.V., Shatrov R.A., Raevich K.V. & Skorniyakova S.N. Australian Fuel and Energy Complex based on satellite imaging data. Coal mining and coal-fired power generation. *Ugol'*, 2023, (12), pp. 117-120. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2023-12-117-120.

### Paper info

Received September 30, 2023

Reviewed November 10, 2023

Accepted November 27, 2023

# Перечень статей, опубликованных в журнале «Уголь» в 2023 году

№	С
---	---

№	С
---	---

ПЕРСПЕКТИВЫ УГОЛЬНОЙ ОТРАСЛИ. РЕГИОНЫ		
<b>Агафонов В.В., Маскаев К.В., Бычков А.С., Алимов В.А.</b> Концептуальные основы методологии проектирования угольных производств с когенерационными технологиями	5	34
<b>Афанасьев В.Я., Краев В.М., Тихонов А.И.</b> Перспективы углеводородной энергетики в России в условиях санкционного давления	6	43
<b>Возможность</b> прогнозировать отгрузку для заключения и исполнения долгосрочных контрактов	3	4
<b>Воронин М.А., Лукунин В.М., Иванов С.А.</b> Подземная видеоаналитика	3	18
<b>В Якутии</b> в 2023 г. Планируется добыть 26 млн т коксующегося угля в Эльгинском угольном комплексе	3	14
<b>Горбунов Б.П.</b> Фирменный сервис БЕЛАЗ в России: эффективнее и доступнее	3	16
<b>Грачев А.И.</b> 7558Н: первый в мире 90-тонный самосвал на сжиженном природном газе	8	28
<b>Дерябин Ю.С., Вожжаев А.С.</b> Шахтерский характер – сокровище нации	8	21
<b>Зонова О.В., Шевелева О.Б., Слесаренко Е.В.</b> Тренды развития угольной отрасли в условиях внешних шоков	2	26
<b>Канзычаков С.В.</b> СУЭК-Хакасия: от стабильности к развитию	8	17
<b>Килин А.Б.</b> СУЭК в Хакасии – новый максимум отгрузки	3	8
<b>Клишин В.И., Рогова Т.Б., Шаклеин С.В., Писаренко М.В.</b> Стратегические задачи технологического развития угольной отрасли	3	52
<b>КОЛМАР</b> – новое поколение шахтеров и горняков	8	26
<b>Королева А.</b> У красноярских предприятий СУЭК достаточный запас прочности	3	6
<b>Миллион</b> тонн на-гора и три новых добычных забоя	8	34
<b>Панов М.С.</b> Новый старт АО «Воркутауголь»	3	10
<b>Поздравление</b> с Днем шахтера от генерального директора АО «Воркутауголь» М.С. Панова	8	30
<b>Поздравление</b> с Днем шахтера от Генерального директора АО «СУЭК-Кузбасс» М.Г. Лупия	8	30
<b>Поздравление</b> с Днем шахтера от председателя Росуглепрофа И.И. Мохначука	8	31
<b>Редькин А.В.</b> Угольная отрасль России сегодня стоит на пороге нового мощного прорыва в своем развитии	8	9
<b>Симагаева Н.</b> Территория жизни	3	12
<b>Стрябова Е.А., Тебекин М.В., Герасимова Н.А., Кулик А.М., Чистникова И.В.</b> Роль угольной отрасли в процессах пространственной поляризации	6	36
<b>СУЭК</b> поблагодарили за содействие в реализации нацпроекта «Жилье и городская среда» в Красноярском крае	3	5
<b>Федоров А.В.</b> АО «СУЭК-Красноярск» – итоги работы радуют	8	13

<b>Цивилев С.Е.</b> Современные технологии – залог устойчивого развития угольных предприятий Кузбасса	8	7
<b>Цивилева А.Е., Голубев С.С.</b> Обеспечение технологического суверенитета отрасли в условиях долгосрочных санкций	11	16
<b>Цигляну П.П., Ромашева Н.В., Фадеева М.Л., Петров И.В.</b> Инжиниринговые проекты в топливно-энергетическом комплексе России: актуальные проблемы, факторы и рекомендации по развитию «Цифровой горняк» Новой Горной	3	45
<b>Чинякин Д., Костюкова И., Кривошапова О.</b> Цифровая диспетчерская 2.0 на предприятиях Распадской – уже реальность	8	36
<b>Шутько Л.Г.</b> Процесс управления нарушенными землями в угледобыче как фактор снижения эколого-социальных ограничений развития региона	8	32
	6	30

ПОДЗЕМНЫЕ РАБОТЫ. ШАХТНОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО. ГОРНЫЕ РАБОТЫ. РУДНИЧНАЯ ВЕНТИЛЯЦИЯ		
<b>Акижанова Ж.Т., Жетесова Г.С., Бейсембаев К.М., Буялич Г.Д., Нокина Ж.Н.</b> К методике расчета горного давления у короткого забоя	7	50
<b>Алиев С.Б., Демин В.Ф., Кайназаров А.С., Милетенко Н.А.</b> Оценка состояния приконтурного горного массива на сопряжении лавы с примыкающей выемочной выработкой	1	35
<b>Дудин А.А., Лысенко М.В., Аушев Е.В., Карасев В.А., Ногаев С.Н., Валешный Р.Ю., Мороз Д.И., Шильников Д.В.</b> Опыт внедрения направленного гидроразрыва для управления труднообрушаемой кровлей на каменноугольных месторождениях АО «Воркутауголь»	8	87
<b>Журавков М.Л., Николаев А.В., Кычкин А.В., Пресняков А.А.</b> Исследование инструментов цифровых трансформаций подземных горнодобывающих предприятий в аспекте управления спросом на электроэнергию	9	55
<b>Журавков М.А., Николаев А.В.</b> Экспертная система компьютерного моделирования вентиляционной обстановки в шахте при возникновении аварии	7	85
<b>Заятдинов Д.Ф., Трандин И.П., Позолотин А.С., Мичурин Д.И.</b> Опыт использования акустических исследований для контроля напряженно-деформированного состояния массива горных пород	4	31
<b>Зубов В.П., Тхан Ван Зуи, Федоров А.С.</b> Технология подземной разработки мощных пластов угля с низкими прочностными характеристиками	5	41
<b>Клишин В.И., Опрук Г.Ю., Гоголин В.А., Связев С.И.</b> Сохранение целика и подготовительного штрека за счет разупрочнения кровли вышележащей лавы направленным гидроразрывом	4	23
<b>Козлов В.В., Козлова О.Ю.</b> Анализ распределения нагрузок на секции крепи при изменении траектории движения механизированного комплекса	1	31

	№	С
<b>Кулик А.И., Тимченко А.Н., Костеренко В.Н., Кобылкин С.С.</b> Особенности моделирования аэрогазодинамики очистного забоя угольной шахты	3	75
<b>Носов А.А., Карпов Г.Н., Ковальский Е.Р.</b> Особенности технологий формирования искусственного перекрытия в породах кровли над демонстрационной камерой	3	69
<b>Павленко М.В., Мерзляков В.Г., Синицкая Е.В., Флорова И.А., Адигамов Д.А.</b> Роль вибрационного воздействия в трещинообразовании и газоотдачи из низкопроницаемого угольного пласта	5	37
<b>Семенцов В.В., Гоголин В.А., Ермакова И.А., Исаченко А.А.</b> Влияние скорости подвигания очистного забоя при обработке выемочного участка 48-8 филиала шахты «Ерунаковская-VIII» АО «ОУК Южжубассуголь» на изменение состояния приконтурного геомассива, влияющего на развитие аварийных ситуаций	4	37
<b>Смирняков В.В., Лейсле А.В., Магомет Р.Д., Мухортиков С.Г., Пинскер О.В., Анисимов Д.О.</b> Экспериментальные исследования повышения эффективности работы вентиляторов местного проветривания за счет изменения частоты вращения рабочего колеса	7	59
<b>Танекеева Г.Д., Абеуов Е.А., Махмудов Д.Р., Мусин Р.А., Балабас А.Ю.</b> Исследование геомеханических условий проведения и поддержания присечных горных выработок	2	31
<b>Филин А.Э., Курносов И.Ю., Тертычная С.В., Колесникова Л.А.</b> Оценка влияния пульсирующей вентиляции на пылесаживание орошением в горнодобывающем и перерабатывающем производстве	11	120
<b>Халкечев К.В., Халкечев Р.К., Левкин Ю.М.</b> Математическая модель поля напряжений в целиках с учетом магистральной трещины на угольных месторождениях	7	56
<b>Халкечев Р.К., Халкечев К.В., Левкин Ю.М., Кузьменко С.Ю.</b> Математическое обеспечение информационной системы анализа процесса разрушения трещиноватой кровли на угольных месторождениях	12	64
<b>Халкечев Р.К., Левкин Ю.М., Халкечев К.В.</b> Разработка математической модели поля напряжений в целиках слоистой текстуры на угольных месторождениях	8	84
<b>Шонтаев Д.С., Хамитова Г.Ж., Малыбаев Н.С., Сиргетаева Г.Е., Талерчик М.П., Шонтаев А.Д.</b> Оценка устойчивости очистного пространства при крутом, наклонном и пологом расположении отработываемой жилы	1	28

**ОТКРЫТЫЕ РАБОТЫ. БУРОВЗРЫВНЫЕ РАБОТЫ**

<b>Аверин А.П., Харченко А.В.</b> Обоснование критериев оценки результатов ведения буровзрывных работ в части экологической эффективности	12	112
<b>Боос И.Ю., Патачков И.В., Шпаков П.С., Редькин Д.В., Черпакова А.А., Юронен Ю.П.</b> Обоснование параметров углубочных систем открытой разработки рудных месторождений с учетом геометрии недр и пространственного расположения элементов нарушенности массива горных пород	10	47

	№	С
<b>Боос И.Ю., Патачков И.В., Редькин Д.В., Черпакова А.А., Юронен Ю.П.</b> Повышение безопасности открытых горных работ на основе новых знаний о сдвиговых характеристиках и геометрии разрабатываемых недр	11	76
<b>Воронов Ю.Е., Воронов А.Ю., Дубинкин Д.М., Максимова О.С.</b> Сравнительная оценка качества функционирования действующих и роботизированных экскаваторно-автомобильных комплексов разрезов	11	65
<b>Галимьянов А.А., Шевкун Е.Б., Кабиров А.Р., Казарина Е.Н.</b> Фактор увеличения объема взрывного блока	10	104
<b>Захаров В.Н., Федотенко В.С., Ефремовцев Н.Н.</b> Исследование техногенного воздействия взрывных работ при открытой разработке месторождений угля	12	73
<b>Каинов А.И., Трофимова И.Д., Коркина Т.А., Захаров С.И.</b> Методика оценки и планирования эффективности функционирования горнотранспортного комплекса угольного разреза	5	55
<b>Михайлова Е.С., Иванова Л.А.</b> Технологии полного цикла очистных карьерных и поверхностных сточных вод для предприятий по добыче угля открытым способом: тенденции и перспективы	9	63
<b>Насиров У.Ф., Заиров Ш.Ш., Каримов Ш.В.</b> Исследование и оценка технологического автотранспорта для эффективной транспортировки горной массы в глубоких карьерах	12	67
<b>Подурец О.И.</b> Пространственная вариабельность содержания тяжелых металлов в почвенном покрове в условиях влияния угледобывающего предприятия	10	51
<b>Стрелецкий А.А., Кубрин С.С.</b> Выявление значений фрактальной размерности Минковского для частиц пыли, образованной в результате массовых взрывов на угольном разрезе	11	72
<b>Стрелецкий А.А., Кубрин С.С.</b> Исследования элементного и дисперсного составов пыли, образованной в результате проведения массовых взрывов на угольном разрезе	9	70
<b>Черских О.И., Минаков В.С., Назарян С.А.</b> Повышение операционной эффективности деятельности угольного разреза посредством цифровизации процессов	3	79
<b>Черских О.И., Галимьянов А.А., Корнеева С.И., Мишнев В.И.</b> Уточненная формула для определения радиуса опасной зоны по разлету отдельных кусков горной массы при взрывании скважинных зарядов	5	50

**ОХРАНА ТРУДА. БЕЗОПАСНОСТЬ. ДЕГАЗАЦИЯ**

<b>Абикенова Ш.К., Баизбаев М.Б., Даумова Г.К., Кульмагамбетова Э.А.</b> О новом подходе к выбору средств индивидуальной защиты от негативного воздействия пылевого фактора и шума	12	55
<b>Апарина Н.Ф.</b> К вопросу о традиционных профессиональных рисках угледобычи на угольных предприятиях Кемеровской области – Кузбасса	2	45
<b>Ильина Е.С.</b> Управление рисками – гарантия бесперебойной и безопасной работы шахты	8	59
<b>Кабиров М.П., Леттиев О.А., Агафонов В.В.</b> Система контроля и предотвращения нахождения работников в зоне круговых опрокидывателей	1	40
<b>Мохначук И.И.</b> Труд шахтера должен быть безопасным	10	20

	№	С
<b>Рыбичев А.А.</b> К вопросу оценки влияния тяжелых углеводородов на взрывчатость пылеметановоздушных смесей	2	41
<b>Рыбичев А.А., Пернебек Б.П.</b> Оценка эффективности пылеподавления с использованием смачивающих растворов	12	60
<b>Филин А.Э., Тертычная С.В., Курносов И.Ю., Колесникова Л.А.</b> Математическое моделирование массопереноса в коллоидных системах	5	72
<b>Черданцев С.В., Ерастов А.Ю.</b> Математическое моделирование напряженного состояния в шахтной перемычке, установленной в выработке поперечного сечения	2	34

**ИННОВАЦИИ**

<b>Ганиева И.А., Шепелев Г.В.</b> Опыт создания условий для использования научно-производственной инфраструктуры в рамках КНТП «Чистый уголь – Зеленый Кузбасс»	6	25
<b>Ганиева И.А., Шепелев Г.В.</b> Первые результаты реализации КНТП «Чистый уголь – Зеленый Кузбасс»	8	62
<b>Лебедева Н.Е.</b> Оценка эффективности развития инновационной инфраструктуры угольной промышленности	7	36
<b>Михайлова Е.С., Тимошук И.В., Горелкина А.К.</b> Методология построения патентных ландшафтов на примере очистки сточных вод угледобывающих предприятий	10	28
<b>Рада А.О., Кузнецов А.Д., Непомнищев И.Л., Коньков Н.Ю.</b> Совершенствование измерений объемных объектов по данным лазерного сканирования	12	37
<b>Тултабаев М.Ч., Аружан Шоман, Жунусова Г.С., Касымбек Рабига</b> Применение эмульсий на основе сафлорового масла в угольной промышленности	9	40

**ЭКОНОМИКА. ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА. АНАЛИТИКА. РЫНОК УГЛЯ**

<b>Анализ</b> ситуации, сложившейся с отгрузкой угля на экспорт из Иркутской области	4	4
<b>Басов М.Д.</b> О перспективах бизнеса	5	24
<b>Безсмертная Е.Р., Гусева И.А.</b> Использование потенциала фьючерсной торговли на рынке угля	8	73
<b>Бондарев Н.С., Бондарева Г.С.</b> Мониторинг использования земельных участков в угледобыче	12	50
<b>Бондарев Н.С.</b> Развитие земельного контроля в угольных регионах (на примере Кемеровской области – Кузбасса)	8	79
<b>Бондарев О.Ю., Бондарева Г.С.</b> Система оценки возможности включения в хозяйственный оборот нарушенных промышленностью земель	2	60
<b>Бублик М.Л., Маленков Д.С.</b> По пути импортозамещения и инноваций	10	16
<b>Бублик М.Л.</b> Филиал «Завод горношахтного оборудования» подвел итоги минувшего года	1	25
<b>Бюллетень</b> оперативной информации о ситуации в угольном бизнесе «Уголь-Курьер»	1	20
<b>Бюллетень</b> оперативной информации о ситуации в угольном бизнесе «Уголь-Курьер»	2	8
<b>Бюллетень</b> оперативной информации о ситуации в угольном бизнесе «Уголь-Курьер»	4	8
<b>Бюллетень</b> оперативной информации о ситуации в угольном бизнесе «Уголь-Курьер»	5	30

	№	С
<b>Бюллетень</b> оперативной информации о ситуации в угольном бизнесе «Уголь-Курьер»	7	9
<b>Бюллетень</b> оперативной информации о ситуации в угольном бизнесе «Уголь-Курьер»	8	48
<b>Бюллетень</b> оперативной информации о ситуации в угольном бизнесе «Уголь-Курьер»	10	12
<b>Васильев Е.В., Киренберг А.Г., Кисляков И.М., Медведев А.В., Прокопенко Е.В.</b> Электроэнергетическая отрасль региона: математическое моделирование эколого-экономической оценки эффективности развития	12	44
<b>В ТЭК</b> в ежедневном режиме ведется работа по повышению уровня безопасности при угледобыче	1	6
<b>В ТЭК</b> в ежедневном режиме ведется работа по повышению уровня безопасности при угледобыче	2	4
<b>Выбросы</b> парниковых газов достигли нового исторического максимума	7	7
<b>Глинина О.И.</b> Международный форум «Российская энергетическая неделя – 2022»	1	7
<b>Грачев А.И.</b> БЕЛАЗ представил миру 130-тонный гибрид	6	17
<b>Зонова О.В., Куманеева М.К., Шевелева О.Б.</b> Факторы современного ценообразования на рынке энергоресурсов	5	90
<b>Зонова О.В., Шевелева О.Б., Слесаренко Е.В.</b> Экспортная угольная логистика: проблемы и перспективы	11	54
<b>Итоги</b> года в новом формате: генеральный директов АО «СУЭК-Красноярск» провел прямую линию с трудовыми коллективами	2	5
<b>Казанцева Е.Г., Лямкин И.И.</b> Особенности цифровой трансформации в угольной промышленности России	11	59
<b>Килин А.Б., Азев В.А., Костарев А.С., Галкин В.А., Макаров А.М.</b> Развитие регионального угледобывающего производственного объединения на основе сбалансированного повышения уровня полезности его активов	4	15
<b>Корнилова К.А., Трубецкая О.В., Иваев М.И., Демченко О.С.</b> Информационная прозрачность как фактор инвестиционной привлекательности угольной отрасли	2	52
<b>Коршунова Л.Н., Савон Д.Ю., Борисова Л.В., Сафронов А.Е.</b> система управления ликвидностью угольной компании при использовании заемного капитала	11	48
<b>Красноярские</b> угольщики приняли участие в работе Всероссийской недели охраны труда	11	5
<b>«Кузбассразрезуголь»</b> приступил к испытаниям первого самосвала БЕЛАЗ с российским двигателем	8	53
<b>Куземченко М.Н., Черских О.И., Назарян С.А.</b> Опыт повышения производительности горнотранспортного оборудования на Солнцевском угольном разрезе	12	30
<b>Кузьмина О.Ю., Коновалова М.Е., Демченко С.К., Сулова Ю.Ю., Волошин А.В.</b> Рента как результат реализации монополии собственности на фактор производства	2	56
<b>Кузьмина О.Ю., Степанова Т.Е., Прокаев С.А.</b> Особенности механизма исчисления и распределения горной ренты в условиях современного недропользования	9	50
<b>Лохов Д.С.</b> Горизонтальные грохоты: инжиниринговый подход для максимальных показателей производства	11	10

	№	С
<b>Лохов Д.С.</b> Как бороться с проблемой налипания и примерзания материала	7	19
<b>Лохов Д.С.</b> Как сократить сроки строительства предприятий и достичь высокой производительности	8	50
<b>Лохов Д.С.</b> Увеличиваем производительность на 30%, сокращая смету в четыре раза	6	18
<b>Лохов Д.С.</b> Футеровка EWP: лучшее решение проблемы быстрого износа	10	14
<b>Лохов Д.С.</b> Шламовые насосы: эффективное решение для экономии воды и электроэнергии на предприятиях	9	18
<b>Мешков Г.Б., Петренко И.Е., Губанов Д.А.</b> Итоги работы угольной промышленности России за январь-март 2023 года	6	5
<b>Мешков Г.Б., Петренко И.Е., Губанов Д.А.</b> Итоги работы угольной промышленности России за первое полугодие 2023 года	9	5
<b>Минаев В.А., Овсяник А.И., Фаддеев А.О., Киселева С.П.</b> Оценка вертикальных ускорений литосферных плит в интересах снижения рисков в угледобывающей отрасли Арктической зоны	7	31
<b>На ВНОТ</b> подвели итоги пилотного проекта по совершенствованию оценки и управления профрисками в сфере охраны труда	10	19
<b>Никифорович С.О.</b> 75 лет высоких достижений	9	14
<b>Овсяник А.И., Гвоздев О.Г., Киселева С.П., Вишняков Я.Д., Шахрамьян М.А.</b> Теоретические и прикладные аспекты оценки экономического ущерба при изменении плана проведения научных и деловых мероприятий топливно-энергетического комплекса	3	85
<b>Осокина Н.В., Жернов Е.Е.</b> Проблемы адаптации угольной отрасли России в перспективе декарбонизации мировой экономики	7	20
<b>ООО «УК «КОЛМАР»</b> – 20 лет труда и достижений	4	5
<b>О развитии</b> угольной отрасли России	6	4
<b>Памяти</b> легендарного летчика Александра Мартыновича Будькова	5	22
<b>Петренко И.Е.</b> Итоги работы угольной промышленности России за январь-декабрь 2022 года	3	21
<b>Петренко И.Е.</b> Основные тренды 2022 г. в условиях антироссийских санкций	4	10
<b>Плакиркин Ю.А., Плакиркина Л.С., Дьяченко К.И.</b> Прогноз развития мирового и отечественного рынка угля под воздействием тенденций «зеленой» энергетики и санкционных ограничений	8	66
<b>Пономарев В.П., Пучков А.Л.</b> Общие задачи проектов по программе ДВА НИТУ МИСИС	7	25
<b>Слепок эпохи:</b> в Угледорском краеведческом музее	5	23
<b>Симонин П.В., Капустина Н.В., Шамалова Е.В., Анохин С.А., Костромкина Е.А., Курбацкая Т.Б., Курбацкий Н.В.</b> Формирование инклюзивной архитектуры водородной экономики и потребления угля	9	46
<b>Страны-участницы</b> Восточноазиатского саммита единоклассны в вопросах поддержки устойчивого развития ООН в части обеспечения надежного энергосбережения	9	4
<b>Страны ЭСКАТО</b> должны работать вместе, чтобы укреплять всестороннее сотрудничество	11	4
<b>Технология Duclar:</b> надежность, проверенная временем	9	16
<b>Угольные</b> компании сохраняют конкурентоспособность на мировом рынке	7	4
<b>Уголь</b> – не противовес климату и экологии	4	4

	№	С
<b>Уникальный</b> перегонный комплекс для быстрого перемещения экскаваторов появился на самом большом в Кузбассе угольном разрезе	8	54
<b>Федоров А.В.</b> Итоги работы 1 кв. 2023 г.	5	25
<b>Федоров А.В., Великосельский А.В., Макаров А.М., Коркина Т.А.</b> Управление развитием угледобывающего производственного объединения в условиях возрастания неопределенности рыночной среды	3	38
<b>Фомичева Л.М., Пронская О.Н., Зайцева М.В., Киселева Е.М., Куренная В.В.</b> Экономическая сущность выбора топлива и сравнение работы автономных систем теплоснабжения малой мощности	10	59
<b>Цивилева А.Е., Голубев С.С.</b> Методика проведения аудита цифровой зрелости организаций угледобывающей промышленности	12	24
<b>Чемпионат “CASE-IN”:</b> 10 лет воспитываем будущее поколение высококвалифицированных специалистов	2	6
<b>Чупина Ж.С., Абделааль Ахмед Мостафа Ахмед Рагас, Сорокин А.М., Морковкин Д.Е., Чупин А.Л.</b> Целевой анализ производственных ситуаций при оперативном управлении горными работами	6	61
<b>Чупрякова А.Г., Григашкина С.И., Меркурьев В.В.</b> Влияние кадровых рисков на организационные изменения в компаниях угольной промышленности	10	36
<b>Чупрякова А.Г., Григашкина С.И., Законнова Л.И.</b> Управление социально-экологическими рисками горных предприятий	6	66
<b>Щербакова Л.Н., Евдокимова Е.К., Федулова Е.А.</b> Возможности «незеленой» декарбонизации в энергетических отраслях	4	79
<b>Яшалова Н.Н., Потравный И.М.</b> Инструменты обеспечения углеродной нейтральности в российском угольном бизнесе	10	66
<b>156 решений</b> для технологического лидерства России представили на финале XI чемпионата «CASE-IN»	7	5
<b>IMS:</b> самосвал под контролем	5	26
<b>MiningWorldRussia:</b> мировые новинки горнодобывающего оборудования	6	14

РЕСУРСЫ. ПЕРЕРАБОТКА УГЛЯ		
<b>Абдрахимова Е.С.</b> Оптимизация на основе отходов топливно-энергетического комплекса керамических масс по техническим свойствам керамического кирпича	1	52
<b>Гостев Д.В., Крюкова А.А., Измайлов А.М., Абдрахимов В.З.</b> Эколого-экономическая и практическая целесообразность использования золошлака в производстве стенового материала на основе монтмориллонитовой глины	4	49
<b>Егоров Р.И., Белоногов М.В.</b> Высокотемпературная конверсия смесей лигнита и рапсового масла	1	56
<b>Кара-сал Б.К., Саая Б.О., Солдуп Ш.Н.</b> аргиллитовые вскрышные породы угледобычи – техногенный сырьевой ресурс для производства гранулированного теплоизоляционного материала	11	108
<b>Клебанов Д.А., Князькин Е.А., Макеев М.А.</b> Прогнозная аналитика при управлении качеством на горнообогатительном производстве на примере добычи и обогащения угля	12	92

	№	С
<b>Комарова А.Г., Чикишева Т.А., Прокопьев Е.С., Прокопьев С.А.</b> Формы нахождения потенциально ценных компонентов в отходах углеобогащительной фабрики «Краснобродская-Коксовая»	9	100
<b>Лаухин В.М., Абдрахимов В.З.</b> Экология, цифровая экономика и практические аспекты использования золошлакового материала в производстве пористого заполнителя	6	48
<b>Лохов Д.С.</b> Водно-шламовая система фабрики как средство повышения производительности всего предприятия	5	61
<b>Лохов Д.С.</b> Грохот Flip-Flop	3	60
<b>Лохов Д.С.</b> Увеличение производительности предприятия без дополнительного строительства	1	51
<b>Лохов Д.С.</b> PTS – самый скользкий материал в мире	2	24
<b>Макаревич Е.А., Папин А.В., Черкасова Т.Г., Неведров А.В., Боброва И.В.</b> Получение пекоподобного продукта из каменного угля терморазложением в смеси антраценовой фракции и тяжелой фракции жидкого продукта пиролиза резинотехнических изделий	11	102
<b>Производительность</b> дуговых сит по обезвоживанию шлама	12	128
<b>Прокопьев С.А., Алексеева О.Л., Савон Д.Ю., Костюхин Ю.Ю., Прокопьев Е.С.</b> Процесс развития технологий обогащения угля в России и за рубежом	11	96
<b>Прокопьев Е.С., Прокопьев С.А., Алексеева О.Л.</b> Результаты исследований угольных шламов	12	104
<b>Тултабаев М.Ч., Жунусова Г.С., Уразбаев Ж.З.</b> Моделирование эффективности обогащения угля с использованием органических масел в Казахстане	10	96
<b>Турецкая Н.Ю., Чикишева Т.А., Прокопьев Е.С., Емельянова К.К.</b> Перспективы получения товарного продукта из отходов флотации угольных фабрик	9	95
<b>Черкасова Т.Г., Неведров А.В., Папин А.В.</b> Анализ угольной базы Кузбасса для выбора сырья для технологии получения пеков	3	62
<b>Черкасова Т.Г., Неведров А.В., Папин А.В.</b> Исследование процесса термического растворения угля марки Г	7	68
<b>Черкасова Т.Г., Неведров А.В., Папин А.В.</b> Термическое растворение каменных углей Кузбасса	12	108
<b>Черкасова Т.Г., Неведров А.В., Папин А.В.</b> Физико-химическое исследование углей для использования в качестве сырья для технологии получения пеков	5	63
<b>Черкасова Т.Г., Пилин М.О., Баранцев Д.А., Тихомирова А.В.</b> Некоторые физико-химические характеристики отходов углеобогащительного предприятия ПАО ЦОФ «Березовская»	6	80
<b>Черкасова Т.Г., Пилин М.О., Тихомирова А.В., Баранцев Д.А.</b> Определение состава отходов углеперерабатывающего предприятия ПАО ЦОФ «Березовская»	9	90
<b>Черкасова Т.Г., Пилин М.О., Тихомирова А.В., Баранцев Д.А.</b> Анализ состава отходов углеперерабатывающего предприятия АО ЦОФ «Березовская»	12	98
<b>Черкасова Т.Г., Черкасова Е.В., Тихомирова А.В., Головачев А.А.</b> Редкие элементы в отходах углепереработки Кузбасса	3	65
<b>Черкасова Т.Г., Шабанов Е.А., Бушуев А.А., Тихомирова А.В., Баранцев Д.А.</b> Исследование свойств отходов потребления и обогащения угля Кузбасса для использования в качестве сырья для изготовления строительных материалов	10	89

	№	С
<b>Экспресс-метод</b> расчета разделения угольного шлама в классификационных гидроциклонах	11	3-я обл.

<b>ГЕОМЕХАНИКА. ГЕОТЕХНОЛОГИЯ. ГЕОИНФОРМАТИКА. НЕДРА. ГЕОЛОГИЯ</b>		
<b>Конюхов Д.С.</b> Прогноз технологических деформаций при строительстве зданий и сооружений на подрабатываемых территориях	4	61
<b>Оганесян А.С., Агафонов В.В., Маскаев К.В., Бычков А.С., Алимов В.А.</b> Сравнительный анализ разных типов технических средств для реализации когенерационных технологий в угольном производстве	5	96
<b>Степанов И.Ю., Бурмин Л.Н., Степанов Ю.А.</b> Компонентная архитектура ГИС исследования геометрии породного массива методом сейсморазведки	7	75
<b>Степанов И.Ю.</b> Проектирование информационной системы определения деструктивных изменений углепородного массива	11	113
<b>Хорешок А.А., Литвин О.И., Кацубин А.В., Дубинкин Д.М., Марков С.О., Тюленев М.А.</b> К определению рациональной области применения выемочно-погрузочного оборудования	3	91
<b>Хорешок А.А., Тюленева Т.А., Литвин О.И., Литвин Я.О., Марков С.О.</b> Оборудование и технология горных работ как факторы, влияющие на расчет налогообложения недропользователей	10	42
<b>Цюпа Д.А.</b> Методические и методологические составляющие процедуры прогнозной оценки деформаций и смещений в области взаимосвязанного влияния ведения подземных горных работ	8	96
<b>Цюпа Д.А.</b> Систематизация причин возникновения аварийных ситуаций при строительстве подземных сооружений	7	72

<b>ЭКОЛОГИЯ</b>		
<b>Вылегжанина А.В., Зимин А.И.</b> Сравнение картины течения в прудах-отстойниках разной геометрии	12	80
<b>Иванова Л.А., Беляева О.В., Гора Н.В., Угарова И.М., Голубева Н.С.</b> Анализ эффективности методов очистки сточных вод угольной промышленности от ионов железа и марганца	11	81
<b>Китова О.В., Савинова В.М., Дьяконова Л.П., Бондаренко Ю.О.</b> Прогнозирование показателей туризма в регионах с угольной добычей: анализ возможностей с использованием информационно-аналитической системы «Горизонт»	11	88
<b>Копытов А.И., Новоселов С.В., Куприянов А.Н., Манакон Ю.А., Куприянов О.А.</b> Проблема обоснования условно-оптимальных объемов добычи угля в Кузбассе с учетом ограничений экологической емкости региона	6	85
<b>Монгуш А.Д., Соян Ш.Ч.</b> Экологическая нагрузка угольной промышленности на воздушный бассейн Республики Тыва	10	79
<b>Моршнев Е.А., Сафронова О.С., Остапова Н.А., Евсеева И.Н., Пильчук Е.В.</b> Адаптивный аспект реализации технологии щелчевания при рекультивации автомобильных отвалов в Республике Хакасия	4	65
<b>Новоселов С.В., Ремезов А.В.</b> Проблема определения условно-оптимальных объемов добычи угля для производственной единицы (шахты, разреза) с учетом экологических ограничений в условиях Кузбасса	3	104

	№	С
<b>Пачкин С.Г., Иванов П.П., Иванова Л.А., Михайлова Е.С., Семенов А.Г.</b> Разработка распределенной диспетчерской системы управления процессом доочистки карьерных сточных вод	10	82
<b>Первощикова А.А., Малышкина Е.Е., Митракова Н.В.</b> Анализ микроэлементного состава почв рекультивированных отвалов Кизеловского угольного бассейна	12	85
<b>Петров И.В., Меркулина И.А., Харитонов Т.В.</b> Научно-методический подход к экологической оценке горнодобывающих и энергетических проектов Арктики	5	77
<b>Просоков А.Ю., Тимощук И.В., Горелкина А.К., Михайлова Е.С., Голубева Н.С., Иванова Л.А.</b> Сравнительная оценка содержания загрязняющих примесей в карьерных сточных водах угольных предприятий Кузбасса	4	69
<b>Росляков П.В., Воронов А.Ю., Дубинкин Д.М., Максимова О.С.</b> Оценка показателей выбросов парниковых газов для угольных теплоэлектростанций в контексте развития углеродного регулирования в Российской Федерации	9	84
<b>Тайлаков О.В., Соколов С.В., Уткаев Е.А., Михалев Д.С.</b> Алгоритмическое обеспечение цифровой платформы мониторинга фугитивных выбросов парниковых газов при угледобыче	5	84
<b>Якуцени С.П., Федаш А.В., Чинь Куок Винь</b> Оценка возможностей естественной рекультивации земель, загрязненных потенциально токсичными элементами углеводородного сырья	4	73

#### ВОПРОСЫ КАДРОВ

<b>Азев В.А., Кобец Е.В.</b> Подходы к формированию профессиональной культуры будущего инженера	8	101
<b>Каледина Н.О.</b> Подготовка горных инженеров – содержание и качество	11	23
<b>Кобылкин С.С., Руденко В.А.</b> Подготовка кадров в области горноспасательного дела	11	30
<b>Коровяковский Д.Г.</b> Экономическая модель подготовки кадров в системе управления ресурсным потенциалом угольных тепловых станций	7	81
<b>Пономарев В.П., Пучков А.Л.</b> Новая парадигма подготовки управленческих кадров горнопромышленной отрасли	1	46

#### ГОРНЫЕ МАШИНЫ. МАШИНОСТРОЕНИЕ

<b>Бублик М.Л., Маленков Д.С., Архипчик А.А.</b> Эксплуатационные испытания секций крепи КН15/30	3	34
<b>Воронов Ю.Е., Воронов А.Ю., Дубинкин Д.М., Максимова О.С.</b> Диспетчеризация в карьерных экскаваторно-автомобильных комплексах с беспилотным транспортом	9	75
<b>Дубинкин Д.М., Пашков Д.А.</b> Импортонезависимость производства беспилотных карьерных самосвалов	4	42
<b>Дубинкин Д.М., Аксенов В.В., Пашков Д.А.</b> Тенденции развития беспилотных карьерных самосвалов	6	72
<b>Симонин П.В., Литвин И.Ю., Череповская Н.А., Кузьмина А.А.</b> Машиностроительная промышленность: стратегические приоритеты развития в условиях санкций	2	65

	№	С
<b>Симонин П.В., Фоменко Н.М., Кузьмина А.А., Анохин С.А., Курбацкая Т.Б., Соловьева О.А., Курбацкий Н.В., Жигунова Т.С.</b> Стратегии золото-добывающих компаний, инвестиции в горнодобывающие машины и обеспечение устойчивости национальной экономики в условиях санкций	3	96

#### СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

<b>Бажутова Е.А., Скуфья Т.П.</b> Региональные, муниципальные и корпоративные аспекты управления вахтовой миграцией в регионах Арктической зоны Российской Федерации	7	41
<b>Скуфья Т.П., Хаценко Е.С.</b> Тенденции к формированию социальных кластеров в системе региональной экономики Арктической зоны	5	68
<b>Скуфья Т.П., Яковчук А.А.</b> О качестве жизни населения добывающего арктического региона (Мурманской области)	11	43

#### В ПОМОЩЬ ГОРНЯКУ

<b>Ефимушкин Н.А., Дороженко А.А., Шильников Д.В.</b> Опыт усиления подземных горных выработок в сложных горно-геологических условиях канатными анкерами с повышенной несущей способностью	2	17
<b>Чечушков Д.М., Андриянова Д.В., Пономарев В.С.</b> Опыт применения канатных анкеров для монтажа монорельсовой подвесной дороги в условиях шахты «Инаглинская»	11	12

#### ЦИФРОВИЗАЦИЯ ПРОЦЕССОВ ГОРНОГО ПРОИЗВОДСТВА

<b>Жданев О.В., Власова И.М.</b> Вызовы и приоритеты цифровой трансформации угольной отрасли	1	62
<b>Матерова Е.С., Исаева Н.А., Сафиуллин Л.И., Орлов И.Ю., Гайзатуллин Р.Р., Нестерова О.А.</b> Анализ функционирования сектора горнодобывающей промышленности в условиях цифровизации на примере АК «Алроса»	4	84
<b>Соловенко И.С., Рожков А.А.</b> основные этапы цифрового перехода в топливно-энергетическом комплексе России (рубеж XX-XXI вв.)	10	72

#### ЗАКОН И ПРАВО

<b>Новикова Ю.А., Милкина Е.В., Иванова Н.В., Слепухин Ю.А.</b> О порядке и условиях присвоения почетного звания «Заслуженный шахтер Российской Федерации»	4	57
<b>Понаморенко В.Е., Франк Р.Т.</b> особенности комплаенса в сфере недропользования	4	54
<b>Чмыхалова С.В., Гришин В.Ю., Пыталев И.А.</b> Проблемы угледобывающей отрасли, жизненный цикл предприятий по добыче угля и последующая рекультивация нарушенных земель	1	70
<b>Шестак В.А., Савенкова П.Г.</b> Уголовная ответственность за незаконную добычу полезных ископаемых в Перу и Эквадоре	2	72

#### УГОЛЬ РОССИИ И МАЙНИНГ

<b>Глинина О., Шипилова Т.</b> XXXI Международная специализированная выставка «Уголь России и Майнинг», XIII Международная специализированная выставка «Охрана, безопасность труда и жизнедеятельности», VIII Международная специализированная выставка «Недра России», II Специализированная выставка «Промтехэкспо»	8	38
---	---	----



	№	С
Приветствия участникам Международных специализированных выставок: «Уголь России и Майнинг», «Охрана, безопасность труда и жизнедеятельности», «Недра России» и специализированной выставки «Промтехэкспо» от министра энергетики Российской Федерации Н.Г. Шульгина и губернатора Кемеровской области – Кузбасса С.Е. Цивилева	5	4
«Уголь России и Майнинг» – 2023»: «Шире, чем Кузбасс! Глубже, чем Уголь!»	5	6
Угольная отрасль Кузбасса – надежная энергетическая опора России	5	13

ХРОНИКА		
Перечень статей, опубликованных в журнале «Уголь» в 2023 году	12	121
Хроника. События. Факты. Новости – №1-22; №2-10; №4-12; №5-32; №6-20; №7-11; №9-19; №10-4; №11-6, №12-22		

СТРАНИЦЫ ИСТОРИИ. РЕЦЕНЗИИ. ОТКЛИКИ		
Даниярова А.Е., Данияров Н.А. От горного мастера угольной шахты до руководителя казахстанской научной школы рудничного транспорта (к 70-летию Карагандинского технического университета имени Абылкаса Сагинова)	2	20
Колтунова А.Н. Земля шахтерская (по материалам коллекций Гукковского музея шахтерского труда имени Л.И. Микулина)	8	57
Кудлаева О.С. Советские праздники в шахтерском Гуково (по материалам местной печати советского периода и фотографиям)	8	55
Небрятенко Г.Г., Смирнова И.Г., Фойгель Е.И., Глущенко Д.В. Кемеровская область – Кузбасс на пути к 80-летию Победы в Великой Отечественной войне	5	16
Рожков А.А. Выдающийся ученый-концептуалист Никаноров Спартак Петрович	9	24

ЗА РУБЕЖОМ		
Зеньков И.В., Чинь Ле Хунг, Логинова Е.В., Вокин В.Н., Кирюшина Е.В., Кондрашов П.М., Раевич К.В., Латынцев А.А. Исследование динамики горных работ в карьере по добыче угля Saraji на территории восточного побережья Австралии с использованием ресурсов спутниковой съемки	6	97
Зеньков И.В., Чинь Ле Хунг, Юронен Ю.П., Вокин В.Н., Кирюшина Е.В., Черепанов Е.В., Герасимова Е.И., Штреслер К.А. Исследование динамики производственных мощностей по добыче угля и выработке электроэнергии в штате Виктория с использованием ресурсов дистанционного мониторинга Земли из космоса	9	105
Зеньков И.В., Чинь Ле Хунг, Сычева Е.М., Вокин В.Н., Кирюшина Е.В., Черепанов Е.В., Герасимова Е.И., Штреслер К.А., Новоженин С.Ю. Исследование динамики топливно-энергетического комплекса в штате Южная Австралия с использованием данных спутниковой съемки	10	109
Зеньков И.В., Чинь Ле Хунг, Логинова Е.В., Вокин В.Н., Кирюшина Е.В., Скорнякова С.Н., Маглинец Ю.А., Раевич К.В., Латынцев А.А., Павлова П.Л., Лунев А.С. Исследование показателей угольных карьеров в топливно-энергетическом комплексе Республики Монголия с использованием ресурсов дистанционного зондирования	1	76

	№	С
Зеньков И.В., Чинь Ле Хунг, Логинова Е.В., Вокин В.Н., Кирюшина Е.В., Скорнякова С.Н., Маглинец Ю.А., Раевич К.В., Латынцев А.А., Павлова П.Л., Лунев А.С. Исследование состояния угледобывающего сектора в топливно-энергетическом комплексе Турции на основе данных спутниковой съемки	2	77
Зеньков И.В., Чинь Ле Хунг, Логинова Е.В., Вокин В.Н., Кирюшина Е.В., Кондрашов П.М., Раевич К.В., Латынцев А.А. Использование технологических показателей карьеров по добыче угля в штате Новый Южный Уэльс с использованием ресурсов дистанционного мониторинга Земли из космоса	7	89
Зеньков И.В., Чинь Ле Хунг, Логинова Е.В., Вокин В.Н., Кирюшина Е.В., Скорнякова С.Н., Маглинец Ю.А., Раевич К.В., Латынцев А.А., Павлова П.Л., Лунев А.С. Исследование технологического потенциала карьеров по добыче угля в шахте Квинсленд с использованием ресурсов дистанционного зондирования Земли из космоса	4	93
Зеньков И.В., Чинь Ле Хунг, Карачёва Г.И., Шатров Р.А., Маглинец Ю.А., Латынцев А.А., Скорнякова С.Н., Кузина Л.Н., Новоженин С.Ю. Результаты работ по восстановительной экологии и охране окружающей среды при производстве открытых горных работ на месторождениях угля в Австралии по данным спутниковой съемки	11	125
Зеньков И.В., Чинь Ле Хунг, Юронен Ю.П., Кузина Л.Н., Латынцев А.А., Шатров Р.А., Раевич К.В., Скорнякова С.Н. Топливо-энергетический комплекс Австралии по данным спутниковой съемки. Добыча угля и угольная генерация электроэнергии	12	117
Кирсанов А.К., Шкаруба Н.А., Курчин Г.С., Майоров Е.С., Тешаев У.Р. Обзор угольной промышленности Республики Таджикистан	8	107
Шестак В.А., Адигамов А.И. Проблема обоснования юридической ответственности за нарушения законодательства при разведке и добыче угля, нефти и газа в России и Китае	6	92
Шестак В.А., Цыплакова А.Д. Особенности криминализации деяний в сфере энергетики в США	4	89

ЮБИЛЕИ		
Афендииков Владлен Саввич (к 85-летию со дня рождения)	7	19
Галкин Владимир Алексеевич (к 75-летию со дня рождения)	3	37
Качурин Николай Михайлович (к 70-летию со дня рождения)	1	80
Протасов Сергей Иванович (к 70-летию со дня рождения)	6	23
Руденко Юрий Федорович (к 75-летию со дня рождения)	5	99
Скрыль Анатолий Иванович (к 75-летию со дня рождения)	10	18

НЕКРОЛОГИ		
Нецветаев Александр Глебович (18.06.1953 – 11.09.2022)	6	3-я стр. обл.
Ходжаев Рустам Ривкатович (22.06.1960 – 10.09.2023)	10	3-я стр. обл.



Рубрика профессора Углёва  
«ДЕЛИМСЯ ОПЫТОМ БОГАЩЕНИЯ»

## Производительность дуговых сит по обезвоживанию шлама

Профессор И.И. Углёв продолжает публикацию ответов на вопросы, задаваемые персоналом углебогатительных фабрик. В данной статье рассматривается выбор толщины проволоки щелевых сварных сит для обеспечения необходимой производительности дуговых сит по обезвоживанию угольного шлама.

**Ключевые слова:** класс крупности угля, ситовый анализ, классификационный гидроциклон, пески и сливы гидроциклона, метод Грумбрехта.

**Контактная информация** – e-mail: [uglev@expert-coalprep.ru](mailto:uglev@expert-coalprep.ru).

### Как выбрать толщину проволоки для дугового сита?

У нас на фабрике установили новые дуговые сита с щелью 1 мм для предварительного обезвоживания угольного шлама перед шнековыми центрифугами. По нашим оценкам требуется в 1,5 раза больше пропускной способности по пульпе, чтобы не допустить их затопления. Но, поскольку нет места для установки дополнительных сит, мы решили приобрести шпальтовые сита с проволокой меньшей толщины, чтобы увеличить живое сечение. Мы связались с нашим поставщиком шпальтовых сит и предложили уменьшить размер проволоки с нынешнего 3,2 мм до 2,4 мм, однако, производитель рекомендовал проволоку размером 1,6 мм. Нам бы не хотелось использовать проволоку этого размера, поскольку ее износ будет происходить быстрее. Можете сообщить мнение по этому вопросу?

Технолог ОФ, Новокузнецк

Что касается вашего вопроса, то, скорее всего, я соглашусь с производителем сит, что толщина проволоки должна быть меньше 2,4 мм. Формула, которую я обычно использую для оценки обезвоживающей способности сита:

$$Q = K * S / (1 + W / A), \quad [1]$$

где  $Q$  – производительность сита по обезвоживанию ( $\text{м}^3/\text{ч}$ ),  $K$  – эмпирический коэффициент ( $\text{м}^3$  в час на  $1 \text{ м}^2$  площади сита),  $S$  – площадь дугового сита ( $\text{м}^2$ ),  $W$  – ширина верхней полки проволоки сита (мм),  $A$  – ширина щели сита (мм).

Анализ этой формулы показывает, что расчетная производительность сита остается неизменной, если соотношение  $W/A$  не меняется. Уравнение [1] можно привести к выражению удельной производительности:

$$Q / S = K * (A / (A + W)). \quad [2]$$

Для щелевого сита соотношение  $A / (A + W)$  представляет собой живое сечение сита, которое можно выразить отношением линейных размеров. Из уравнения [2] видно, что производительность обезвоживания ( $\text{м}^3/\text{ч}$ ) сита прямо пропорциональна живому сечению сита.

Теперь сравним два сита с одинаковым размером щели, но с разной толщиной проволоки. Получим такое отношение:

$$Q_2 / Q_1 = (A + W_1) / (A + W_2). \quad [3]$$

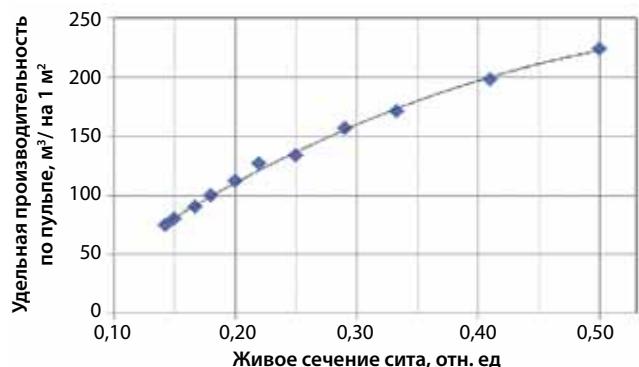
Ваши сита имеют размер щели 1 мм, и когда вы перейдете от размера проволоки 3,2 мм к 2,4 мм, производительность по пульпе для ваших сит увеличится в 1,24 раза. Этого не достаточно для достижения увеличения производительности в 1,5 раза. Однако, если вы перейдете с проволоки толщиной 3,2 мм к 1,6 мм, производительность увеличится в 1,62 раза, что

больше требуемого значения. Но с толщиной проволоки 1,8 мм вы увеличите производительность, как раз, до нужного значения – 1,5 раза. Такие сита с проволокой толщиной 1,8 мм выпускаются отечественными производителями шпальтовых сит.

Расчет показывает, что достаточно использовать проволоку с толщиной 1,8 мм, но если у вашего производителя сит отсутствует такой размер проволоки, то можно применить проволоку с рекомендуемой им толщиной 1,6 мм.

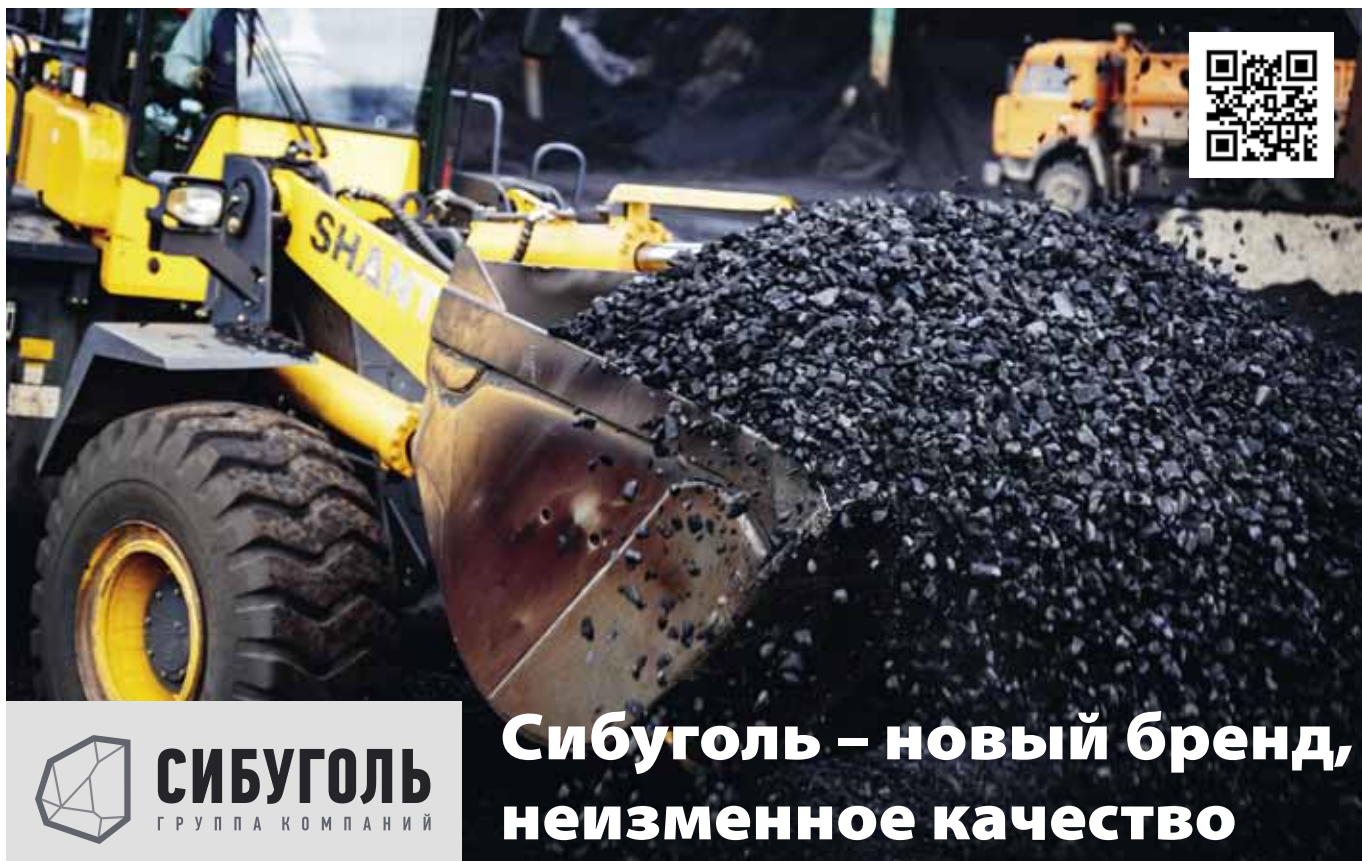
На рисунке представлен график зависимости удельной производительности дугового сита от живого сечения сита. Сплошная линия на графике отражает зависимость, описываемую уравнением [2]. Точки на графике – это экспериментальные данные, которые предоставили некоторые производители дуговых сит.

Я предлагаю вам также попробовать еще одно решение проблемы по увеличению обезвоживающей способности дуговых сит. Довольно часто пропускная способность дуговых сит снижается при забивке щелей частицами угля плоской формы. Может даже происходить затопление сита и центрифуги. Возможно, ваша проблема в этом и состоит. Тогда уменьшение толщины проволоки сита не поможет. Чтобы восстановить работоспособность шпальтовых сит необходимо периодически встряхивать панели сит ударным способом. Это позволяет эффективно очищать щели сита. Я уверен, что установка на ваши дуговые сита пневмовстряхивателей ударного действия, решит проблему увеличения производительности по пульпе. Пневмовстряхиватели легко устанавливаются на уже эксплуатируемые дуговые сита.



С видео работы пневмовстряхивателей на дуговых ситах можно ознакомиться по ссылке предлагаемого QR-кода. Если у вас имеются вопросы, или нужно получить больше информации по рассмотренной проблеме, пишите мне на выше приведенный адрес электронной почты.





**СИБУГОЛЬ**  
ГРУППА КОМПАНИЙ

## Сибуголь – новый бренд, неизменное качество

### Справочная информация:

Компания ООО «Сибуголь» ведет разработку Большесырского месторождения Канско-Ачинского угольного бассейна в Балахтинском районе Красноярского края. Ежегодный объем добычи угля превышает 3 млн т.

Добываемый бурый уголь марки ЗБ реализуется по всей территории России и за рубежом. Балахтинский уголь обладает оптимальными качественными характеристиками для энергетических и технологических целей, слоевого сжигания, коммунально-бытовых нужд. По своим теплотехническим параметрам (4700-5200 ккал/кг) уголь не уступает углям марки Д, а низкое содержание золы (4-7%) и отсутствие посторонних примесей являются его особыми преимуществами.

Помимо рядового угля марки ЗБР (0-300 мм) компания производит и поставляет сортовые угли марок ЗБПК (50-300 мм), З БСШ (0-10 мм), а также угли марок З БОМ фракции 10-50 мм и З БМС фракции 5-20 мм, которые являются оптимальным топливом для автоматических и полуавтоматических котлов отопления.

2023 год был для компании «Сибуголь» непростым, но одновременно – богатым на события.

В уходящем году компания в третий раз за свою историю преодолевает 3-миллионный рубеж в добыче, впервые попала в независимый рейтинг крупнейших производителей российского угля журнала «Уголь».

Несмотря на потерю европейских рынков, в 2023 г. Группа «Сибуголь» сохранила объемы отгрузки и приросла новыми потребителями, начаты вагонные отправки фасованного в МКР угля, поставки в рамках проекта по обеспечению углем отдаленных северных территорий нашей страны.

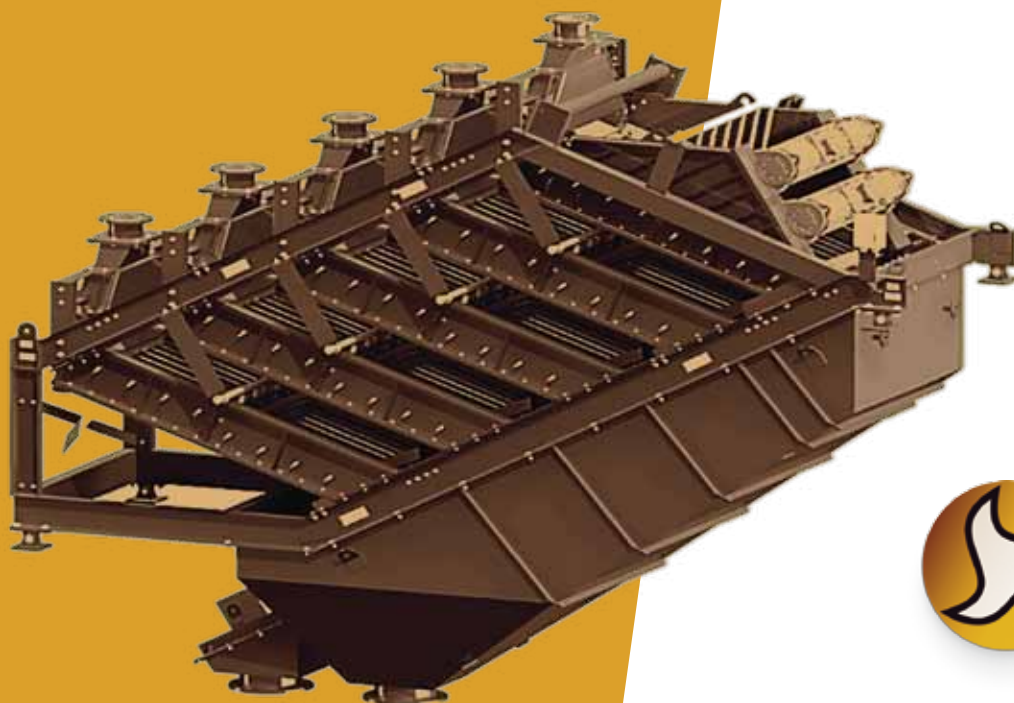
Реализован проект по автоматизации процесса отгрузки и реализации продукции, теперь электронная очередь регулирует поток потребителей – это позволило снизить время на оформление документов, автоматизировать выписки транспортных накладных, исключить ошибки при заполнении, отслеживать количество и очередность машин в очереди и под погрузкой.

В уходящем году, впервые в истории угледобычи, Сибуглем зарегистрировано право на географическое указание – «Балахтинский уголь». Охраняемый законом статус предполагает, что если уголь именуется Балахтинским, перед потребителем продукт, добыча которого произведена исключительно в Балахтинском угленосном районе. В настоящее время единственным производителем Балахтинского угля является компания «Сибуголь».

В наступающем году Сибуголь намерен продолжить тренд внедрения лучших практик, реализовать масштабную инвестиционную программу по модернизации техники и ряд экологических мероприятий.

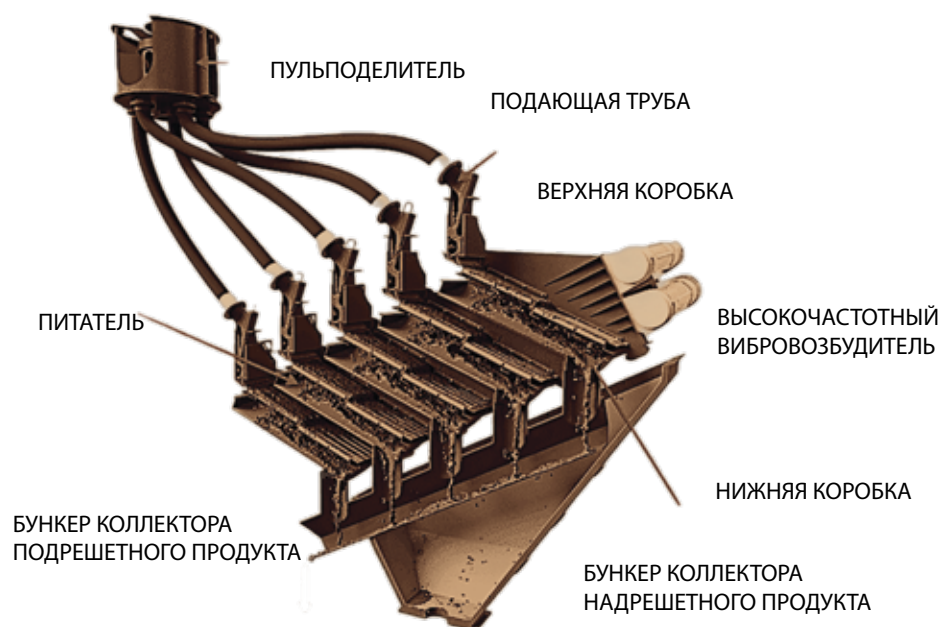
**Уважаемые коллеги, от лица коллектива компании мы поздравляем Вас с наступающим Новым годом! Пусть новый, 2024 год принесет в дома тепло, высокие планы, яркие результаты, эмоции и счастливые события!**

# ВЫСОКОТОЧНЫЙ МНОГОДЕЧНЫЙ ГРОХОТ



**Высокоточный многодечный грохот производства ООО «СТК»**, работающий по принципу комбинационного резонанса. Грохот приводится в действие вибромотором для осуществления высокочастотных линейных колебаний. При угле наклона поверхности сита 15-25 градусов классификация материала происходит быстрее и эффективнее. Грохот эффективно отделяет мелкие частицы, обеспечивая высокую чистоту и точный контроль размеров продукта (до 0,074-1,5 мм). Частота колебаний переменная, управляется с помощью частотного преобразователя. В настоящее время это один из самых эффективных грохотов для классификации мелкозернистых материалов. Для увеличения производительности можно параллельно соединить до 5 ярусов.

РЕКЛАМА



+7 495 369-30-91

OFFICE@STC.ST