

ОСНОВАН В 1925 ГОДУ

ISSN 0041-5790

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

УГОЛЬ

МИНИСТЕРСТВА ЭНЕРГЕТИКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

WWW.UGOLINFO.RU

S12-2023

КНТП

**«ЧИСТЫЙ УГОЛЬ-
ЗЕЛЕНый КУЗБАСС»**

17

инновационных технологий
и продуктов разработано
для реальной экономики в рамках
КНТП «Чистый уголь – зеленый Кузбасс»



Дорогие читатели, уважаемые коллеги!

С радостью приветствую вас на страницах специального выпуска журнала «Уголь». Второй год подряд Научно-образовательный центр «Кузбасс» готовит уникальный по своему наполнению номер. Он отличается в первую очередь направленностью издания: все статьи объединены темой комплексной научно-технической программы полного инновационного цикла «Чистый уголь – Зеленый Кузбасс».

К реализации 15 стратегических проектов КНТП, направленных на многоаспектное совершенствование угольной промышленности, ученые и промышленники приступили под эгидой НОЦ «Кузбасс» чуть более года назад – программа была утверждена распоряжением Правительства Российской Федерации 11 мая 2022 года, координируется Министерством энергетики РФ и лично губернатором Кузбасса Сергеем Евгеньевичем Цивилевым.

За период реализации программы совместно с исследователями и представителями угольных предприятий НОЦ провел 15 публичных демонстраций промежуточных результатов. В частности, к настоящему моменту разработаны 17 инновационных технологий и продуктов для реальной экономики. Наши ученые получили возможность проводить свои исследования в инновационных условиях – в рамках КНТП создан ряд научно-производственных лабораторий общей площадью 3350 кв. м.

Значительно омолодилось научное сообщество – сформированы 15 новых научных коллективов, 50% которых – молодые исследователи, готовые развивать угольную отрасль совместно с опытными коллегами.

На страницах этого номера ученые Научно-образовательного центра «Кузбасс» представляют результаты исследований по стратегическим направлениям деятельности НОЦ в области энергетики и комплексной программы «Чистый уголь – Зеленый Кузбасс»: переработке угля, конструированию горных машин, экологии, цифровизации и др.

За наукой – будущее энергетики!

*С уважением,
И.А. Ганиева,
директор АНО «Научно-образовательный
центр «Кузбасс»*

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

Иностранные члены редколлегии

Проф. **Гюнтер АПЕЛЬ,**
доктор техн. наук, Германия
Проф. **Карстен ДРЕБЕНШТЕДТ,**
доктор техн. наук, Германия
Проф. **Юзеф ДУБИНСКИ,**
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
S12-2023 /1175/

УГОЛЬ**ГОРНЫЕ МАШИНЫ**

- Дубинкин Д.М., Ялышев А.В.
Определение параметров модели угля для имитационного моделирования погрузки и разгрузки грузовой платформы карьерного самосвала _____ 4
- Дубинкин Д.М., Ялышев А.В.
Влияние процесса погрузки угля в грузовую платформу на коэффициент использования грузоподъемности карьерного самосвала БелАЗ-7530 (220 т) _____ 11
- Сыркин И.С., Дубинкин Д.М., Садовец В.Ю.
Обоснование схемного решения цифровой системы диспетчеризации угольного карьера _____ 20

ЭКОЛОГИЯ

- Захаров В.Н., Беглов Д.Е., Гаджиева Л.А.-С.
Обоснование необходимости нормирования выбросов мелкодисперсных частиц, образующихся в результате деятельности горнодобывающих предприятий _____ 32
- Копорулина Е.В., Карташов П.М., Федотенко В.С., Волкова Е.А.
Особенности минерального состава пыли из районов, прилегающих к действующим открытым горнорудным комплексам _____ 38
- Болотин Н.М.
Результаты работы экологической опытно-промышленной установки на гидроотвале отходов флотации ЦОФ «Кузбасская» _____ 46
- Измайлов А.И.
Растительный покров территории отвала угольного разреза и сопредельных территорий _____ 50
- Осинцева М.А., Крюк В.А., Дюкова Е.А., Бурова Н.В.
Создание искусственного растительного покрова техногенно нарушенных ландшафтов _____ 56
- Горелкина А.К., Михайлова Е.С., Тимошук И.В., Иванова Л.А., Неверов Е.Н.
Очистка сточных вод угледобывающих предприятий _____ 63

ПЕРЕРАБОТКА УГЛЯ

- Черкасова Т.Г., Пилин М.О., Баранцев Д.А.
Магнитная сепарация отходов АО ЦОФ «Березовская» _____ 67
- Черкасова Т.Г., Баранцев Д.А.
Продукты гидрофторирования отходов углеобогащения АО ЦОФ «Березовская» _____ 70
- Черкасова Т.Г., Исакова И.В., Гиниятуллина Ю.Р., Легочева Е.С.
Модельный эксперимент по экстракции редкоземельных металлов трибутилфосфатом из отходов углеобогащения _____ 75
- Тихомирова А.В., Легочева Е.С., Черкасова Т.Г.
Разработка методики выделения концентрата редких и редкоземельных элементов из отходов углеобогащения с применением водного выщелачивания _____ 79
- Смирнов Д.И., Калашников А.В., Захаров А.А., Звонарева М.Е., Черкасова Т.Г., Баранцев Д.А.
Извлечение редкоземельных элементов и скандия из отходов угледобычи с использованием метода гранульной сульфатизации _____ 84
- Неведров А.В., Папин А.В., Черкасова Т.Г.
Исследование фракционного состава каменноугольной смолы и каменноугольных пеков _____ 90

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

Двухлетний 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 29.12.2023.

Формат 60x90 1/8.

Бумага мелованная. Печать офсетная.

Усл. печ. л. 17,75 + обложка.

Тираж 3000 экз. Тираж эл. версии 1600 экз.

Общий тираж 4600 экз.

Отпечатано:

ООО «РОЛИКС ПРИНТ»

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

Тел.: (495) 661-46-22;

www.roliksprint.ru

Заказ № 137704

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

© ЖУРНАЛ «УГОЛЬ», 2023

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

Оценка качества каменноугольного пека,**полученного при дистилляции каменноугольной смолы** _____ 94

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

Характеристика пека, полученного при атмосферной перегонке**каменноугольной смолы** _____ 98

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

Результаты исследований различных типов винтовых сепараторов**на отходах угледобычи** _____ 103

Алексеева О.Л.

Влияние производительности винтового сепаратора при обогащении угольных шламов _____ 107**ЦИФРОВИЗАЦИЯ**

Худоногов Д.Ю., Никитенко М.С., Малахов Ю.В., Кизилов С.А.

Разработка web-ориентированных приложений для управления**промышленными объектами на примере механизированной шагающей крепи** _____ 111

Рада А.О., Акулов А.О., Никитина О.И.

Разработка веб-приложения для мониторинга автодорог**в системе цифрового управления регионом ресурсного типа** _____ 117

Акулов А.О., Кононова С.А.

Развитие правового регулирования контроля автодорог**в условиях внедрения цифровых технологий** _____ 124

Тайлаков О.В., Уткаев Е.А., Логинова А.В., Снетова Е.С., Михалев Д.С.

Регулирование выбросов парниковых газов в угледобывающих странах _____ 129**ПРОФИЛАКТИКА ЗДОРОВЬЯ**

Щеглова А.В., Сумин А.Н., Олейник П.А., Курбангалеева Т.А.,

Петрова М.А., Кашталап В.В., Барбараш О.Л.

Результативность оценки предтестовой и клинической вероятности**у больных с подозрением на ИБС в реальной клинической практике** _____ 135

* * *

Журнал «Уголь» представлен в eLIBRARY.RU

Входит в Российский индекс научного цитирования (РИНЦ).

Двухлетний импакт-фактор РИНЦ – 1,15 (без самоцитирования – 0,79).

Журнал «Уголь» индексируется

в международной реферативной базе данных и систем цитирования

SCOPUS (рейтинг журнала Q2)**Журнал «Уголь» является партнером CROSSREF**

Редакция журнала «Уголь» является членом Международной ассоциации

по связям издателей / Publishers International Linking Association, Inc. (PILA).

Всем научным статьям журнала присваиваются Digital Object Identifier (DOI).

Журнал «Уголь» является партнером EBSCO

Редакция журнала «Уголь» имеет соглашение с компанией EBSCO Publishing, Inc. (США).

Все публикации журнала «Уголь» с 2016 г. входят в базу данных компании EBSCO

Publishing (www.ebsco.com), предоставляющей свою базу данных для академических

библиотек по всему миру. EBSCO имеет партнерские отношения с библиотеками на

протяжении уже более 70 лет, обеспечивая содержание исследований качества, мощные

технологии поиска и интуитивные платформы доставки.

Журнал «Уголь» представлен в «КиберЛенинке»

Электронная научная библиотека «КиберЛенинка» (CYBERLENINKA) входит в топ-10

мировых электронных хранилищ научных публикаций и построена на парадигме

открытой науки (Open Science), основной задачей которой является популяризация

науки и научной деятельности. Это третья в мире электронная библиотека по

степени видимости материалов в Google Scholar.

Журнал «Уголь» представлен в CNKI Scholar

Платформа CNKI Scholar (http://scholar.cnki.net) – ведущий китайский агрегатор

и поставщик академической информации. CNKI имеет наибольшее количество

пользователей на рынке академических и профессиональных услуг Китая из более чем

20 тыс. учреждений, университетов, исследовательских институтов, правительств,

корпораций, предоставляя им полнотекстовые базы данных CNKI онлайн. С 2008 г.

китайский агрегатор проиндексировал более 60 тыс. журналов и 400 тыс.

электронных книг, трудов более 500 международных издательств, обществ, включая

SpringerNature, Elsevier, Taylor & Francis, Wiley, IOP, ASCE, AMS и др.

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**ROZHKOVA 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, Poland**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

FOUNDERSMINISTRY OF ENERGY
THE RUSSIAN FEDERATION,
UGOL' JOURNAL EDITION LLC**DECEMBER****S12' 2023****UGOL' / RUSSIAN
COAL
JOURNAL****MINING EQUIPMENT**

Dubinkin D.M., Yalyshev A.V.

**Determination of parameters of the coal
model for simulation of loading
and unloading of the cargo platform
of a quarry dump truck** _____ 4

Dubinkin D.M., Yalyshev A.V.

**The effect of the coal loading process
on the loading platform on the utilization
factor of the BelAZ-7530
mining dump truck (220 t)** _____ 11

Syrkin I.S., Dubinkin D.M., Sadovets V.Yu.

**Justification of the circuit design
of a digital dispatch system
for a coal open-pit mines** _____ 20**ECOLOGY**

Zakharov V.N., Beglov D.E., Gadzhieva L.A.-S.

**Substantiation of the necessity
to standardise emissions of particules matter
generated by mining operations** _____ 32Koporulina E.V., Kartashov P.M.,
Fedotenko V.S., Volkova E.A.**Dust mineral composition
from the regions surrounded
the active open-pit mining complexes** _____ 38

Bolotin N.M.

**Results of work of ecological experimental
industrial installations at the flotation
waste hydro disposal of the Kuzbass CEP** _____ 46

Izmailov A.I.

**Vegetation cover of coal mine
and adjacent territories** _____ 50

Osintseva M.A., Kryuk V.A., Dyukova E.A., Burova N.V.

**Creation of artificial vegetation cover
on technogenically disturbed landscapes** _____ 56Gorelkina A.K., Mikhaylova E.S.,
Timoshchuk I.V., Ivanova L.A., Neverov E.N.**Example of wastewater treatment
of coal mining enterprises** _____ 63**COAL PREPARATION**

Cherkasova T.G., Pilin M.O., Barantsev D.A.

**Magnetic separation of waste
at the Berezovskaya Central
Processing Plant** _____ 67

Cherkasova T.G., Barantsev D.A.

**Hydrofluorination Products of coal
processing wastes from the Berezovskaya
Central Processing Plant** _____ 70Cherkasova T.G., Isakova I.V.,
Giniyatullina Yu.R., Legocheva E.S.**A model experiment on the extraction
of rare earth metals with tributyl
phosphate from coal enrichment waste** _____ 75

Tikhomirova A.V., Legocheva E.S., Cherkasova T.G.

**Development of methodology to extract
a concentrate of rare and rare-earth
elements from coal processing waste
using aqueous leaching** _____ 79Smirnov D.I., Kalashnikov A.V., Zakharov A.A.,
Zvonareva M.E., Cherkasova T.G., Barantsev D.A.**Extraction of rare earth elements
and scandium from coal mining waste
using granular sulphatisation method** _____ 84

Nevedrov A.V., Papin A.V., Cherkasova T.G.

**Investigation of fractional composition
of coal tar and coal tar pitch** _____ 90

Cherkasova T.G., Nevedrov A.V., Papin A.V.

**Quality assessment of the coal tar pitch
produced by distillation of coal tar** _____ 94

Nevedrov A.V., Papin A.V., Cherkasova T.G.

**Investigation of fractional composition
of coal tar and coal tar pitch** _____ 98

Prokopyev E.S., Prokopyev S.A., Alekseeva O.L.

**Research results of different types
of screw separators for coal
mining waste** _____ 103

Alekseeva O.L.

**Influence of productivity of screw
separator when enriching coal sludges** _____ 107**DIGITALIZATION**Khudonogov D.Yu., Nikitenko M.S.,
Malakhov Yu.V., Kizilov S.A.**Development of web-oriented
applications for industrial facilities
control on the example of walking
powered roof support** _____ 111

Rada A.O., Akulov A.O., Nikitina O.I.

**Development of a web application
for monitoring roads in a resource-type
digital management system for a region** _____ 117

Akulov A.O., Kononova S.A.

**Development of legal regulation of road
control in the context of the introduction
of digital technologies** _____ 124Tajlakov O.V., Utkaev E.A., Loginova A.V.,
Snetova E.S., Mikhalev D.S.**Regulating greenhouse gas emissions
in coal-producing countries** _____ 129**PREVENTIVE HEALTH CARE**Shcheglova A.V., Sumin A.N., Oleinik P.A.,
Kurbangaleeva T.A., Petrova M.A.,
Kashtalov V.V., Barbarash O.L.**Effectiveness of pre-test and clinical
probability assessment in patients
with suspected coronary heart disease
in real clinical practice** _____ 135

Определение параметров модели угля для имитационного моделирования погрузки и разгрузки грузовой платформы карьерного самосвала*

DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2023-S12-4-10>

ДУБИНКИН Д.М.

Канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры Горных машин и комплексов ФГБОУ ВО «КузГТУ им. Т.Ф. Горбачева», 650000, г. Кемерово, Россия, e-mail: ddm.tm@kuzstu.ru

ЯЛЫШЕВ А.В.

Младший научный сотрудник научного центра «Цифровые технологии», аспирант ФГБОУ ВО «КузГТУ им. Т.Ф. Горбачева», 650000, г. Кемерово, Россия, e-mail: yalyshavav@kuzstu.ru

* Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации по соглашению от 30.09.2022 № 075-15-2022-1198 с ФГБОУ ВО «Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева» в рамках 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 из угольного сырья при последовательном снижении экологической нагрузки на окружающую среду и рисков для жизни населения» (КНТП «Чистый уголь – Зеленый Кузбасс») в рамках реализации мероприятия «Разработка и создание беспилотного карьерного самосвала челночного типа грузоподъемностью 220 тонн» в части выполнения научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ.

Обоснование конструктивных параметров грузовой платформы карьерного самосвала зависит от различных факторов, среди которых физико-механические свойства перевозимой горной массы. Целью данного исследования является определение параметров модели сыпучего материала (угля) для имитационного моделирования процессов погрузки и разгрузки грузовой платформы карьерного самосвала грузоподъемностью 220 т методом дискретных элементов. Проведен анализ физико-механических свойств угля как сыпучей среды. Определены параметры модели угольной сыпучей среды для имитационного моделирования методом дискретных элементов. Представлены результаты исследования по определению параметров модели угля в зависимости от сопротивления качению и насыпной плотности. Проведена валидация полученных результатов имитационного моделирования угля путем сравнения угла откоса полученных моделей и реальной геометрии угольной насыпи (шапки).

Ключевые слова: добыча полезных ископаемых, открытые горные работы, карьерный самосвал, грузовая платформа, кузов, МДЭ, уголь.

Для цитирования: Дубинкин Д.М., Ялышев А.В. Определение параметров модели угля для имитационного моделирования погрузки и разгрузки грузовой платформы карьерного самосвала // Уголь. 2023. № S12. С. 4-10. DOI: 10.18796/0041-5790-2023-S12-4-10.

ВВЕДЕНИЕ

Жесткие экономические условия и вызовы, стоящие перед Российской Федерацией в последние годы, и бурное развитие техники и технологий способствуют совершенствованию процессов добычи полезных ископаемых [1, 2]. Исследование экскаваторно-автомобильного комплекса, задействованного при выемке, погрузке и транспортировании твердых полезных ископаемых, в частности, угля, методом имитационного моделирования позволяют подбирать наилучшие решения выбора и создания новых горных транспортных машин [3].

Основным транспортным оборудованием на разрезах России являются карьерные самосвалы. Одним из основных узлов карьерного самосвала (КС) является грузовая платформа (ГП) [4, 5, 6, 7, 8]. Основными характеристиками ГП в зависимости от перевозимого сыпучего материала являются: грузоподъемность, т; геометрическая емкость, м³; объем SAE 2:1, м³. Обоснование конструктивных параметров ГП (массы, габаритных и прочностных размеров несущих элементов конструкции, геометрии и материала) формирует ее основные характеристики. Поэтому определение параметров модели угля как сыпучего материала является актуальной задачей для создания новых ГП КС.

Целью исследования является определение параметров дискретно-элементной модели угля как сыпучего материала для дальнейших исследований процессов погрузки и разгрузки грузовой платформы карьерного самосвала грузоподъемностью 220 т методом дискретных элементов.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Метод дискретных элементов

Моделирование методом дискретных элементов (*Discrete element method (DEM)*) позволяет создавать имитационные модели, учитывающие особенности поведения сыпучей среды и взаимодействие ее с конструкцией исследуемого объекта. Имитационное моделирование сыпучих материалов методом дискретных элементов (МДЭ) позволяет исследовать различные модели, которые могут учитывать множество параметров и факторов. МДЭ основан на моделировании движения сыпучего материала как совокупности отдельных частиц. В основе метода лежат общеизвестные выражения баланса механического движения частицы.

Качество моделирования МДЭ зависит от выбора характеристик и гранулометрического состава сыпучего материала, коэффициентов, отражающих показатели взаимодействия частиц и поверхностей [9]. Принцип МДЭ описан и применяется в горном деле, так как позволяет

моделировать каждую отдельную частицу и их взаимодействие как сыпучей среды [10, 11].

Для определения параметров модели угля предстоит решить следующие задачи: рассмотреть МДЭ для моделирования сыпучих сред; определить требуемые параметры для получения модели угля; выбрать параметры модели угля, соответствующие реальным условиям эксплуатации при погрузке угля в ГП КС.

Исследования проводились в программном обеспечении (ПО) *Rocky DEM*. Для определения параметров угля выбраны модели частиц в виде сфер, для которых характерно использование модели линейного упругого контакта с линейными характеристиками адгезионных сил.

Выбранная модель взаимодействия дискретных частиц характеризуется следующими параметрами:

- $\mu_{\text{покоя}}$ – коэффициент взаимодействия пар материалов в состоянии покоя;
- $\mu_{\text{движения}}$ – коэффициент взаимодействия пар материалов в движении;
- K_{COR} – коэффициент восстановления (реституции), представляет собой отношение конечной относительной скорости к начальной после взаимодействия тел.

Параметры модели угля

Горные породы характеризуются различными физико-механическими характеристиками: твердость, удельный вес, разрыхляемость, пористость, влажность, набухание, водонепроницаемость, угол естественного откоса и т.п. [12]. Определим для имитационного моделирования МДЭ физико-механические характеристики угля как сыпучего материала, отражающие свойства материала частиц:

- модуль Юнга (упругости) (E , МПа), отражает способность твердого тела упруго деформироваться при приложении к нему силы;
- коэффициент Пуассона (ν), величина отношения относительного поперечного сжатия к относительному продольному растяжению;
- плотность моделируемой частицы (ρ_s , т/м³).

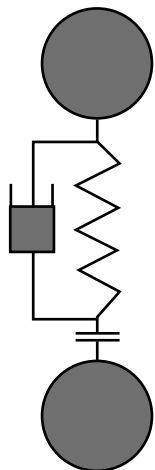


Рис. 1. Модели взаимодействия дискретных частиц

Fig. 1. Models of interaction of discrete particles

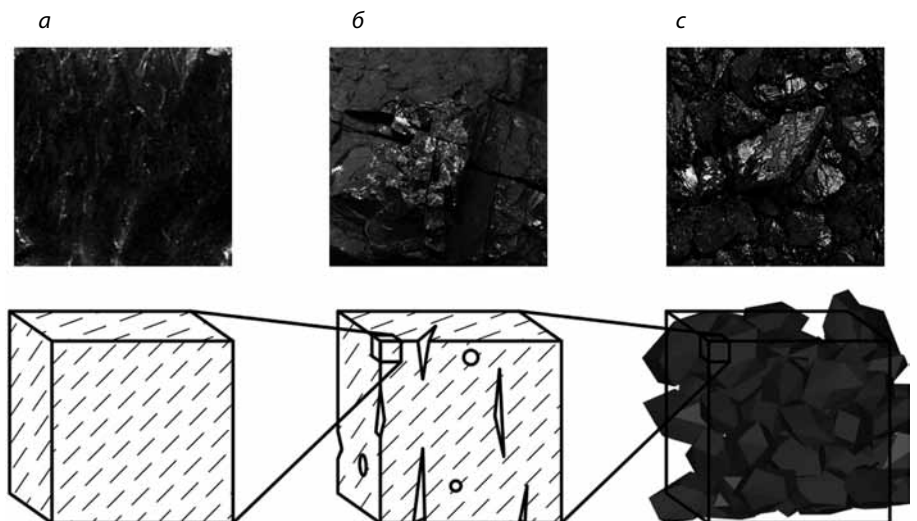


Рис. 2. Параметры сыпучего материала:

a – плотность; b – удельный вес; c – насыпная плотность

Fig. 2. Bulk material parameters: a – density; b – specific gravity; c – bulk density

Различные параметры сыпучего материала показаны на рис. 2.

Плотность (ρ , т/м³) – это отношение массы тела к объему.

Плотность горной породы в массиве (ρ , т/м³) – величина, которая определяется как отношение массы горной породы к занимаемому ей объему с учетом всех внутренних пор, трещин и воды в трещинах.

Насыпная плотность (ρ_n , т/м³) – плотность разрушенной горной породы (горной массы), зависит от плотности горной породы и от показателя разрыхления горной породы K_p (гранулометрического состава, плотности укладки частиц или уплотнения в целике).

При моделировании дискретной среды в зависимости от принятой плотности горной массы по результатам исследования необходимо оценивать значение получаемой насыпной плотности.

Насыпная плотность и удельный вес связаны коэффициентом разрыхления (K_p), который оценивается отношением объема разрыхленной горной массы к объему в целике [12]:

$$\rho_n = \frac{\rho}{K_p}, \text{ т/м}^3.$$

В процессе экскавации и последующей загрузки показатель насыпной плотности будет определять количество загружаемых ковшей и геометрию шапки насыпного материала в ГП КС. В случае моделирования МДЭ на насыпную плотность влияют гранулометрический состав и форма частиц. Соответствие насыпной плотности может быть более значимым, чем соответствие удельного веса отдельно взятой частицы, например, если задачей является определение объема насыпи. Плотность, задаваемая в модели при моделировании отдельных частиц сферами, может отличаться от реальной в большую сторону для поддержания параметра насыпной плотности.

Существует ряд работ, в которых описаны методы и порядок определения параметров модели горной массы для МДЭ [13, 14]. В табл. 1 приведены основные параметры модели угля.

Значения естественного угла откоса, угла внутреннего трения сыпучей среды и т.п. получаются по результатам имитационного моделирования и задаются косвенно, через параметры частиц и их взаимодействия. Поэтому существует ряд численных экспериментов, которые помогают при валидации параметров и результатов исследований.

На геометрию шапки угля в ГП КС влияет статический (естественный) угол откоса, который образуется сыпучей горной массой к горизонтальной плоскости. Данный показатель получают прямыми измерениями или фотограмметрическим методом (рис. 3) [15]. Угол откоса исследуемого материала угля составляет $\alpha = 35^\circ\text{--}40^\circ$ [16].

На угол естественного откоса влияют коэффициенты трения между частицами сыпучего материала, гранулометрический состав и форма частиц. Разделяют два угла откоса: у основания и вершины. Для оценки геометрии шапки горной массы чаще всего применяют статический (естественный) угол откоса у основания.

Для моделирования сыпучей среды важно выбрать геометрию частиц, поведение которых приближено к реаль-

Параметры модели угля [13, 14]

Coal Model Parameters [13, 14]

| Коэффициенты взаимодействия | Уголь/Сталь | Уголь/Уголь |
|--|-------------|-------------|
| Трение покоя – $f_{\text{покоя}}$ | 0,40 | 0,56 |
| Трение движения – $f_{\text{движ}}$ | 0,30 | 0,56 |
| Восстановления при ударе – K_{COR} | 0,30 | 0,30 |
| Параметры частиц | | Уголь |
| Насыпная плотность – ρ_n , т/м ³ | 0,85 | |
| Модуль упругости (Юнга) – E , МПа | 3000 | |
| Коэффициент Пуассона – ν | 0,30 | |

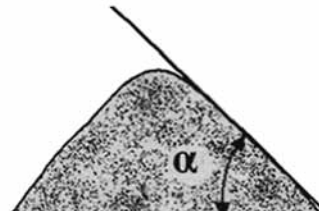


Рис. 3. Естественный угол откоса

Fig. 3. Angle of repose

ным условиям. МДЭ позволяет создавать различные частицы: сферы; составные частицы из совокупности сфер; полигональные; смешанные [9]. Наиболее распространенные – частицы-сферы, они наименее требовательны к вычислительным ресурсам [9, 17], что является важным критерием в случае моделирования частиц в ГП КС. Чтобы приблизить поведение частиц в виде сфер к поведению произвольных частиц в массиве, используют коэффициент сопротивления качению (μR) – отношение, определяющее силу, противодействующую движению, когда тело катится по поверхности.

Исследование модели угля МДЭ

Для исследования модели угля МДЭ применялся метод SAOR – Static Angle of Repose [11, 14, 18, 19, 20]. Метод SAOR позволял определять статический (естественный) угол откоса полученной геометрии шапки (насыпи) горной массы. Для этого вводились в ПО Rocky DEM параметры модели угля (см. табл. 1). Далее (рис. 4) сыпучий материал помещался в полый цилиндр, который затем поднимался с постоянной скоростью на высоту до полного высыпания сыпучего материала. В результате чего формировалась геометрия шапки (насыпи) исследуемого сыпучего материала и определялся статический угол откоса.

При моделировании геометрии угольных шапок (рис. 5) подбирались коэффициент сопротивления качению (μR) и сравнивался с полученным значением статического угла откоса, с эталонным.

Результаты значений координат положения центров масс частиц в пространстве – минимальные (min), максимальные (max) и средние (avg) – расположений частиц в зависимости от высоты (h , м) и расстояния от центра шапки (l , м) представлены в табл. 2 для коэффициента сопротивления качению $\mu R = 0,40$. Такой расчет значений координат расположений частиц позволил построить геометрию шапок (насыпей) горной массы для различных коэффициентов сопротивления качению (рис. б).

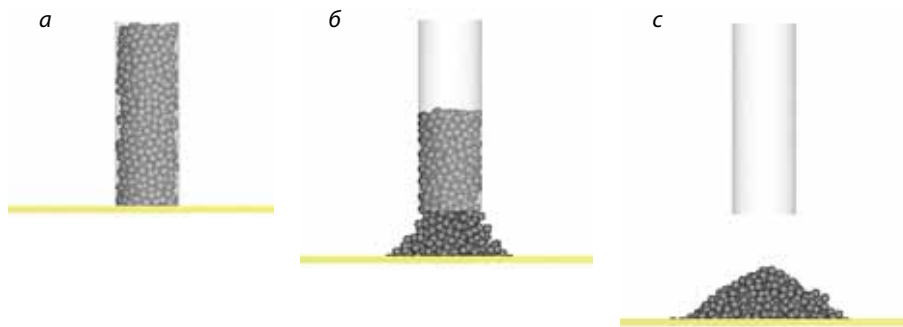


Рис. 4. Исследование модели угля МДЭ методом SAOR: $a - t = 0_s; b - t = 2_s; c - t = 4_s$
 Fig. 4. Research coal model of the DEM by the SAOR method: $a - t = 0_s; b - t = 2_s; c - t = 4_s$

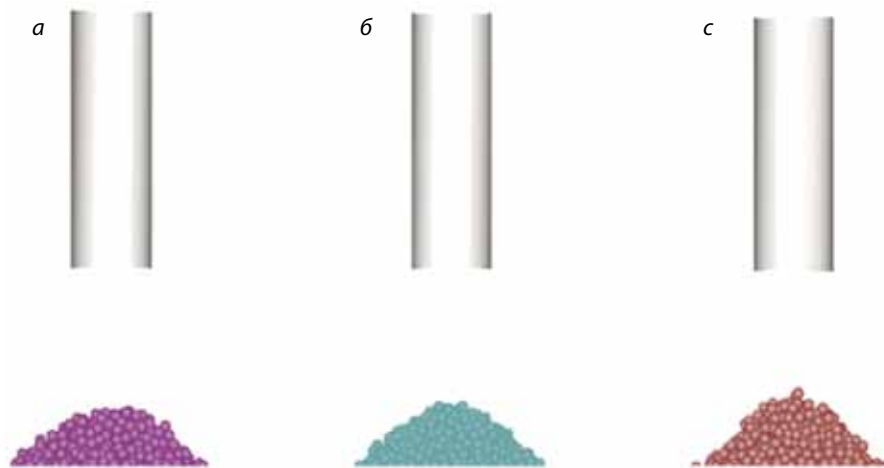


Рис. 5. Модели насыпей с различными коэффициентами сопротивления качению:
 $a - \mu R = 0,40; b - \mu R = 0,50; c - \mu R = 0,55$
 Fig. 5. Models of embankments with different rolling resistance coefficients:
 $a - \mu R = 0,40; b - \mu R = 0,50; c - \mu R = 0,55$

По полученным значениям средних координат частиц строилась линейная линия тренда, и графическим способом определялся естественный угол откоса (α , градус) модели угля (рис. 6).

Установлено, что среди рассмотренных моделей угля наиболее близкой к среднему эталонному естественному углу откоса ($\alpha = 37,5^\circ$) является модель угля с коэффициентом сопротивления качению $\mu R = 0,55$ (см. рис. 5, с; рис. 6, с).

Моделирование поведения частиц угля в виде сфер с заданными параметрами позволяет получить модель,

логическими поверхностями различных горных машин и механизмов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенных исследований:

- определены параметры модели угля с учетом реальных условий работы выемочного и транспортного оборудования: коэффициент сопротивления качению частиц угля $\mu R = 0,55$; естественный угол откоса модели угольной насыпи $\alpha = 38,9^\circ$; насыпная плотность $\rho_{\text{н}} = 0,85 \text{ т/м}^3$;

Таблица 2

Координаты расположений частиц в зависимости от высоты (h , м) и расстояния от центра шапки (l , м)

Coordinates of particle locations depending on height (h , m) and distance from the center of the cap (l , m)

| max | | min | | avg | |
|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| l , м | h , м | l , м | h , м | l , м | h , м |
| 0,00 | 1,61 | 0,00 | 1,72 | 0,00 | 1,63 |
| 0,45 | 1,53 | 0,45 | 1,72 | 0,90 | 1,63 |
| 0,90 | 1,36 | 0,90 | 1,50 | 1,35 | 1,26 |
| 1,35 | 0,96 | 1,35 | 1,16 | 1,80 | 0,93 |
| 1,80 | 0,72 | 1,80 | 7,83 | 2,25 | 0,57 |
| 2,25 | 0,23 | 2,25 | 4,26 | 2,70 | 0,30 |
| 2,70 | 0,15 | 2,70 | 0,15 | 3,00 | 0,00 |

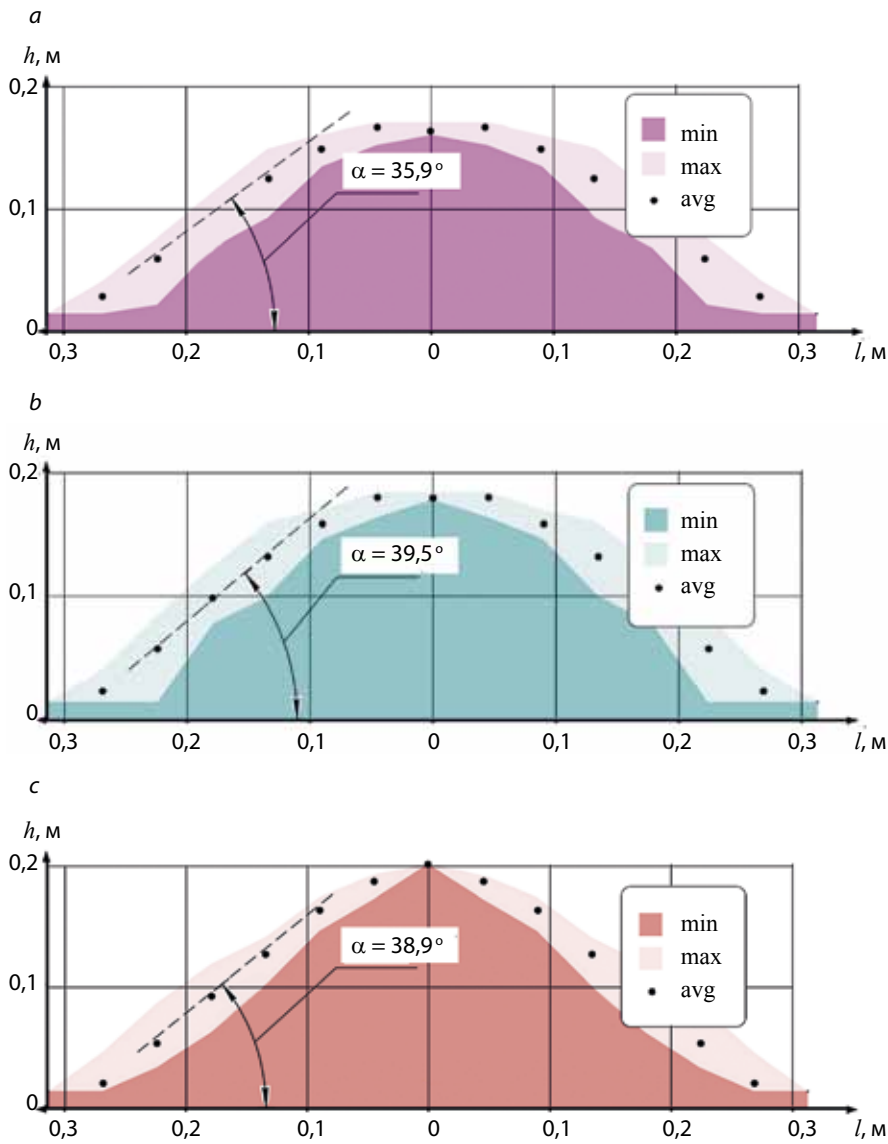


Рис. 6. Геометрии угольных шапок в зависимости от коэффициентов сопротивления качению: а – $\mu R = 0,40$; б – $\mu R = 0,50$; в – $\mu R = 0,55$
 Fig. 6. Geometry of coal caps depending on rolling resistance coefficients: а – $\mu R = 0,40$; б – $\mu R = 0,50$; в – $\mu R = 0,55$

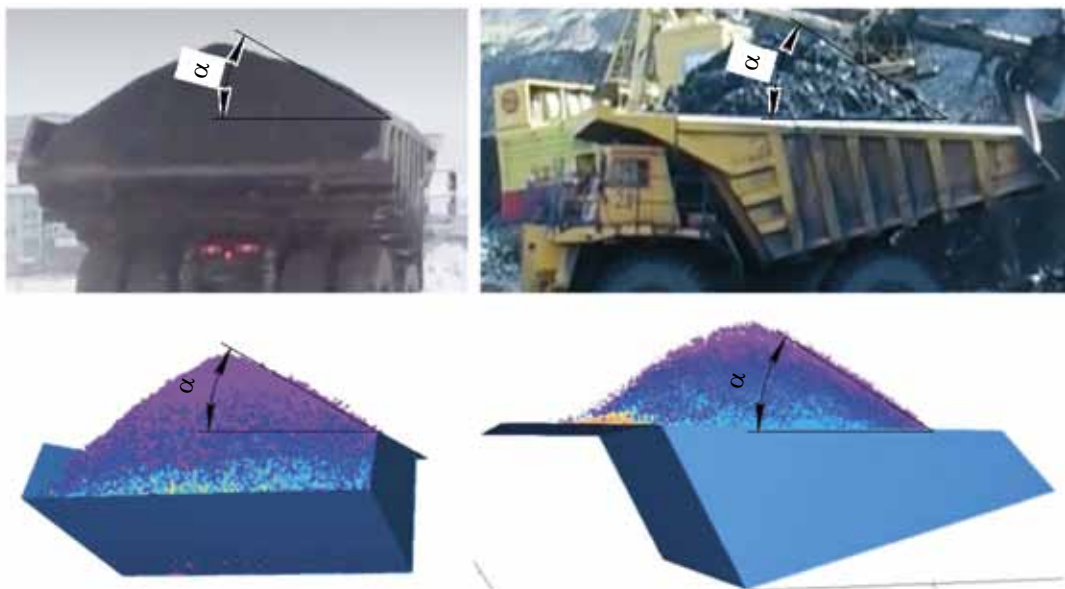


Рис. 7. Валидация моделируемой и реальной геометрии угольной шапки в грузовой платформе
 Fig. 7. Validation of the simulated and real geometry of the coal cap in the dump body

– проведена валидация моделируемой МДЭ и реальной геометрии угольной шапки, в результате которой выявлено соответствие моделируемой и реальной геометрии угольной шапки в ГП КС;

– полученные результаты параметров модели угля являются исходными данными для последующего имитационного моделирования процессов погрузки и разгрузки при разработке новых ГП КС грузоподъемностью 220 т.

Список литературы

1. Perspectives for the Transportless Mining Technology in Siberia and Far East Coal Deposits / S. Markov, Ju. Janočko M. Tyulenev et al. // E3S Web of Conferences. 2019. Vol. 105. Article 01021. DOI 10.1051/e3sconf/201910501021.
2. Оптимизация параметров экскаваторно-автомобильных комплексов разрезов / А.Ю. Воронов, А.А. Хорешок, Ю.Е. Воронов и др. // Горная промышленность. 2022. № 5. С. 92-98. DOI: 10.30686/1609-9192-2022-5-92-98.
3. Дубинкин Д.М. Основы цифрового создания автономных карьерных самосвалов // Горное оборудование и электромеханика. 2022. № 2. С. 39-50. DOI: 10.26730/1816-4528-2022-2-39-50.
4. Требования к совершенствованию конструкций карьерных автосамосвалов / В.Л. Яковлев, П.И. Тарасов, А.Г. Журавлев и др. // Механика машин, механизмов и материалов. 2012. № 3-4. С. 86-92.
5. Журавлев А.Г. Выбор рациональной грузоподъемности карьерных автосамосвалов для конкретных условий транспортирования // Транспорт Урала. 2014. № 4. С. 96-101.
6. Дубинкин Д.М., Ялышев А.В. Анализ конструкций и обоснование применения грузовых платформ карьерных самосвалов грузоподъемностью 90 тонн // Техника и технология горного дела. 2021. № 3. С. 61-78. DOI: 10.26730/2618-7434-2021-3-61-78.
7. Об изменении эффективной производительности экскаваторов при использовании карьерных самосвалов с различной вместимостью кузова / А.А. Хорешок, Д.М. Дубинкин, С.О. Марков и др. // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2021. № 6. С. 85-93. DOI: 10.26730/1999-4125-2021-6-85-93.
8. Анализ методик расчета производительности карьерных гидравлических экскаваторов / О.И. Литвин, А.А. Хорешок, Д.М. Дубинкин и др. // Горная промышленность. 2022. № 5. С. 112-120. DOI: 10.30686/1609-9192-2022-5-112-120.
9. Дубинкин Д.М., Ялышев А.В. Определение статических нагрузок на борт грузовой платформы карьерного самосвала // Горная промышленность. 2022. № 6. С. 137-144. DOI: 10.30686/1609-9192-2022-6-137-144.
10. Читалов Л.С., Львов В.В. Обзор компьютерных программ для моделирования процессов рудоподготовки и обогащения / Современные образовательные технологии в подготовке специалистов для минерально-сырьевого комплекса: Сборник научных трудов III Всероссийской научной конференции, Санкт-Петербург, 05–06 марта 2020 года. СПб.: Санкт-Петербургский горный университет, 2020. С. 1517-1523.
11. Chitalov L.S., Lvov V.V. New approaches in mineral raw materials comminution tests modelling. *Advances in Raw Material Industries for Sustainable Development Goals*, Saint-Petersburg, 27–29 November 2019. Saint-Petersburg, 2021. P. 146-151.
12. ГОСТ 25100-2020. Грунты. Классификация: межгосударственный стандарт: издание официальное: введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 21 июля 2020 г. № 384-ст: дата введения 2021-01-01. М.: Стандартинформ, 2020. III. 37 с. [1].
13. Teffo V.B., Naudé N. Determination of the coefficients of restitution, static and rolling friction of Eskom-grade coal for discrete element modelling // *Journal of The South African Institute of Mining and Metallurgy*. 2013. No 113. P. 351-356.
14. Dominik Müller, Eric Fimbinger, Clemens Brand. Algorithm for the determination of the angle of repose in bulk material analysis. *Powder Technology*. 2021. No 1. DOI:10.1016/j.powtec.2021.01.010.
15. The use of the photogrammetric method for measurement of the repose angle of granular materials / A. Wójcik, P. Klapa, B. Mitka et al. // *Measurement*. 2018. No 115. P. 19-26.
16. Перепелкин М.А., Перепелкина С.В. Исследование угла естественного откоса строительных и рудных материалов при проектировании и разработке строительного-дорожных, горных машин и оборудования // Горная промышленность. 2017. № 4.
17. DEM Investigation of the Influence of Particulate Properties and Operating Conditions on the Mixing Process in Rotary Drums: Part 1. Determination of the DEM Parameters and Calibration Process / J. Hlosta, L. Jezerska, J. Rozbroj et al. // *Processes*. 2020. No 8. 222. DOI:10.3390/pr8020222.
18. Heitor Otacilio Nogueira Altino, Giovanni Aud Lourenço, Carlos Henrique Ataíde. System development for bulk density data acquisition of granular materials: Effect of operational conditions and optimization // *Powder Technology*. 2021. DOI: 10.1016/j.powtec.2021.06.013.
19. ASTM D7891-15 Standard Test Method for Shear Testing of Powders Using the Freeman Technology FT4 Powder Rheometer Shear Cell.
20. ASTM D6773-02. Standard Shear Test Method for Bulk Solids Using the Schulze Ring Shear Tester. 2006.
21. Дубинкин Д.М. Методика определения нагрузок, действующих при погрузке и разгрузке грузовой платформы (кузова) карьерного самосвала // Горное оборудование и электромеханика. 2022. № 3. С. 31-49. DOI: 10.26730/1816-4528-2022-3-31-49.
22. Innovative numerical modelling of technogenic rock arrays structure / S. Markov, E. Tyuleneva, M. Tyulenev et al. // E3S Web of Conferences. 2017. Vol. 15. Article 01011. DOI 10.1051/e3sconf/20171501011.

Original Paper

UDC 622.271 © D.M. Dubinkin, A.V. Yalyshev, 2023
 ISSN 0041-5790 (Print) • ISSN 2412-8333 (Online) • Ugol' – Russian Coal Journal, 2023, № S12, pp. 4-10
 DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2023-S12-4-10>

Title
DETERMINATION OF PARAMETERS OF THE COAL MODEL FOR SIMULATION OF LOADING AND UNLOADING OF THE CARGO PLATFORM OF A QUARRY DUMP TRUCK

Authors

Dubinkin D.M.¹, Yalyshev A.V.¹

¹ T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, Kemerovo, 650000, Russian Federation

MINING EQUIPMENT

Authors Information

Dubinkin D.M., PhD (Engineering), Leading Researcher Associate, Associate Professor of the Department of Mining Machines and Complexes e-mail: ddm.tm@kuzstu.ru

Yalyshev A.V., Junior Researcher, Digital Technologies Research Center, Graduate Student, e-mail: yalyshevav@kuzstu.ru

Abstract

Justification of the design parameters of the dump body of a dump truck depends on various factors, among which is the transported mountain mass (coal). The purpose of this study is to determine the parameters of the bulk material (coal) model for the simulation of loading and unloading processes of a 220-ton dump truck mining truck tray by the discrete element method. The analysis of the parameters of coal as a loose medium is carried out. The parameters of the coal bulk medium model for simulation modeling by the method of discrete elements are determined. Studies are given to determine the parameters of the coal model depending on rolling resistance and bulk density. The validation of the obtained coal simulation results was carried out by comparing the slope angle of the obtained models and the real geometry of the coal cap.

Keywords

Mining, Open pit mining, Dump truck, Mining truck tray, Dump body, DEM, Coal.

References

1. Markov S., Janočko Ju., Tyulenev M. et al. Perspectives for the Transportless Mining Technology in Siberia and Far East Coal Deposits. *E3S Web of Conferences*, 2019, (105), Article 01021. DOI 10.1051/e3sconf/201910501021.2.
2. Voronov A.Yu., Horeshok A.A., Voronov Yu.E., Dubinkin D.M. & Voronov A.Yu. Optimization of parameters of excavator-automobile complexes of sections. *Gornaya promyshlennost*, 2022, (5), pp. 92-98. (In Russ.). DOI: 10.30686/1609-9192-2022-5-92-98.
3. Dubinkin D.M. Fundamentals of digital creation of autonomous mining dump trucks. *Gornoe oborudovanie i elektomekhanika*, 2022, (2), pp. 39-50. (In Russ.). DOI: 10.26730/1816-4528-2022-2-39-50.
4. Yakovlev V.L., Tarasov P.I., Zhuravlev A.G. & Mariev P.L. Requirements for the perfection of structures of quarry dump trucks. *Mekhanika mashin, mekhanizmov i materialov*, 2012, 3-4(20-21), pp. 86-92. (In Russ.).
5. Zhuravlev A.G. The choice of rational load capacity of quarry self-propelled trucks for specific transportation conditions. *Transport Urala*, 2014, (4), pp. 96-101. (In Russ.).
6. Dubinkin D.M. & Yalyshev A.V. Analysis of structures and justification of the use of heavy-duty platforms of quarry dump trucks with a lifting capacity of 90 tons. *Tekhnika i tekhnologiya gornogo dela*, 2021, (3), pp. 61-78. (In Russ.). DOI: 10.26730/2618-7434-2021-3-61-78.
7. Horeshok A.A., Dubinkin D.M., Markov S.O. & Tyulenev M.A. On the change in the effective productivity of excavators when using quarry dump trucks with different body capacity. *Vestnik Kuzbasskogo Gosudarstvennogo Tekhnicheskogo Universiteta*, 2021, (6), pp. 85-93. (In Russ.). DOI: 10.26730/1999-4125-2021-6-85-93.
8. Litvin O.I., Horeshok A.A., Dubinkin D.M., Markov S.O., Stenin D.V. & Tyulenev M.A. Analysis of methods for calculating the productivity of quarry hydraulic excavators. *Gornaya promyshlennost*, 2022, (5), pp. 112-120. (In Russ.). DOI: 10.30686/1609-9192-2022-5-112-120.
9. Dubinkin D.M. & Yalyshev A.V. Determination of static loads on board the cargo platform of a quarry dump truck. *Gornaya promyshlennost*, 2022, (6), pp. 137-144. (In Russ.). DOI: 10.30686/1609-9192-2022-6-137-144.
10. Chitalov L.S. & Lvov V.V. Review of computer programs for modeling ore preparation and enrichment processes. Modern educational technologies in the training of specialists for the mineral resource complex. Collection of scientific papers of the III All-Russian Scientific Conference, St. Petersburg, 05-06 March 2020. St. Petersburg, St. Petersburg Mining University Publ., 2020, pp. 1517-1523. (In Russ.).
11. Chitalov L.S. & Lvov V.V. New approaches in mineral raw materials comminution tests modelling. *Advances in Raw Material Industries for Sustainable Development Goals*, Saint-Petersburg, November 27-29, 2019. Saint-Petersburg, 2021, pp 146-151.

tainable Development Goals, Saint-Petersburg, November 27-29, 2019. Saint-Petersburg, 2021, pp 146-151.

12. GOST 25100-2020. Soils. Classification: interstate standard: official publication: put into effect by Order of the Federal Agency for Technical Regulation and Metrology dated July 21, 2020, No. 384-st: date of introduction 2021-01-01. Moscow, Standartinform Publ., 2020, III, 37 p. [1].
13. Teffo V.B. & Naudé N. Determination of the coefficients of restitution, static and rolling friction of Eskom-grade coal for discrete element modeling. *Journal of The South African Institute of Mining and Metallurgy*, 2013, (113), pp. 351-356.
14. Dominik Müller, Eric Fimbinger & Clemens Brand. Algorithm for the determination of the angle of repose in bulk material analysis. *Powder Technology*, 2021, (1). DOI:10.1016/j.powtec.2021.01.010.
15. Wójcik A., Klapa P., Mitka B. & Śladek J. The use of the photogrammetric method for measurement of the repose angle of granular materials. *Measurement*, 2018, (115), pp. 19-26.
16. Perepelkin M.A. & Perepelkina S.V. Investigation of the angle of repose of building and ore materials in the design and development of construction and road, mining machines and equipment. *Gornaya promyshlennost*, 2017, (4). (In Russ.).
17. Hlosta J., Jezerska L., Rozbroj J., Zurovec D., Necas J. & Zegzulka J. DEM Investigation of the Influence of Particulate Properties and Operating Conditions on the Mixing Process in Rotary Drums: Part 1. Determination of the DEM Parameters and Calibration Process. *Processes*, 2020, (8), 222. DOI: 10.3390/pr8020222.
18. Heitor Otacilio Nogueira Altino, Giovanni Aud Lourenço & Carlos Henrique Ataíde. System development for bulk density data acquisition of granular materials: Effect of operational conditions and optimization. *Powder Technology*, 2021. DOI: 10.1016/j.powtec.2021.06.013.
19. ASTM D7891-15 Standard Test Method for Shear Testing of Powders Using the Free-man Technology FT4 Powder Rheometer Shear Cell.
20. ASTM D6773-02. Standard Shear Test Method for Bulk Solids Using the Schulze Ring Shear Tester, 2006.
21. Dubinkin D.M. Method for determining the loads acting during loading and unloading of the cargo platform (body) of a mining dump truck. *Gornoe oborudovanie i elektomekhanika*, 2022, (3), pp. 31-49. (In Russ.). DOI: 10.26730/1816-4528-2022-3-31-49.
22. Markov S., Tyuleneva E., Tyulenev M. & Litvin O. Innovative numerical modelling of technogenic rock arrays structure. *E3S Web of Conferences*, 2017, (15), Article 01011. DOI 10.1051/e3sconf/20171501011.

Acknowledgements

This work was financially supported by the Ministry of Science and Higher Education of Russian Federation under Agreement № 075-15-2022-1198 dated 30.09.2022 with the Gorbachev Kuzbass State Technical University on complex scientific and technical program of full innovation cycle: "Development and implementation of complex technologies in the areas of exploration and extraction of solid 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" (the "Clean Coal – Green Kuzbass" Integrated Scientific and Technical Programme of the Full Innovation Cycle) as part of implementing the project "Development and creation of an unmanned shuttle-type mine truck with a payload of 220 tonnes" in terms of research, development and experimental-design work.

For citation

Dubinkin D.M. & Yalyshev A.V. Determination of parameters of the coal model for simulation of loading and unloading of the cargo platform of a quarry dump truck. *Ugol'*, 2023, (S12), pp. 4-10. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2023-S12-4-10.

Paper info

Received November 1, 2023

Reviewed November 15, 2023

Accepted November 30, 2023

УДК 622.271 © Д.М. Дубинкин, А.В. Ялышев, 2023

Влияние процесса погрузки угля в грузовую платформу на коэффициент использования грузоподъемности карьерного самосвала БелАЗ-7530 (220 т)*

DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2023-S12-11-19>

Определение коэффициента использования грузоподъемности карьерного самосвала с учетом особенностей горной массы и погрузки является одной из актуальных задач современного горного производства. Проанализированы параметры горного оборудования и схемы погрузки угля в грузовую платформу карьерного самосвала грузоподъемностью 220 тонн. Разработаны цифровые модели горного оборудования и имитационная модель процесса загрузки угля в грузовую платформу (МДЭ) процесса загрузки угля в грузовую платформу карьерного самосвала и получены значения массы груза как в ковше экскаватора, так и в грузовой платформе. Проведена валидация полученных результатов имитационного моделирования процесса загрузки угля путем сравнения полученных моделей и фактической геометрии угольной шапки в грузовой платформе карьерного самосвала БелАЗ-7530. Вычислена масса горной породы в грузовой платформе карьерного самосвала БелАЗ-7530 в зависимости от количества ковшей при погрузке экскаваторами Komatsu PC 2000 и ЭКГ-35. Выявлено влияние процесса погрузки угля в ГП на коэффициент использования грузоподъемности карьерного самосвала.

Ключевые слова: добыча полезных ископаемых, открытые горные работы, коэффициент использования грузоподъемности, карьерный самосвал, грузовая платформа, МДЭ, уголь.

Для цитирования: Дубинкин Д.М., Ялышев А.В. Влияние процесса погрузки угля в грузовую платформу на коэффициент использования грузоподъемности карьерного самосвала БелАЗ-7530 (220 т) // Уголь. 2023. № S12. С. 11-19. DOI: 10.18796/0041-5790-2023-S12-11-19.

ДУБИНКИН Д.М.

Канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры Горных машин и комплексов ФГБОУ ВО «КузГТУ им. Т.Ф. Горбачева», 650000, г. Кемерово, Россия, e-mail: ddm.tm@kuzstu.ru

ЯЛЫШЕВ А.В.

Младший научный сотрудник научного центра «Цифровые технологии», аспирант ФГБОУ ВО «КузГТУ им. Т.Ф. Горбачева», 650000, г. Кемерово, Россия, e-mail: yalyshavav@kuzstu.ru

* Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации по соглашению от 30.09.2022 № 075-15-2022-1198 с ФГБОУ ВО «Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева» в рамках 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 из угольного сырья при последовательном снижении экологической нагрузки на окружающую среду и рисков для жизни населения» (КНТП «Чистый уголь – Зеленый Кузбасс») в рамках реализации мероприятия «Разработка и создание беспилотного карьерного самосвала челночного типа грузоподъемностью 220 тонн» в части выполнения научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ.

ВВЕДЕНИЕ

При производственном планировании для транспортирования горной массы выбирают карьерные самосвалы (КС), в первую очередь, из имеющейся у горного предприятия техники и необходимой грузоподъемности. Наиболее широкое применение нашли КС грузоподъемностью 220 т от производителя БелАЗ модели 7530. Применять их можно как на вскрышных, так и на добычных работах.

Техническая производительность КС зависит в том числе от эффективности погрузочных работ и характеризуется коэффициентом использования грузоподъемности (K_p), который определяется как отношение массы груза в ГП КС ($P_r, т$) к номинальной грузоподъемности КС ($P_n, т$)

$$K_p = \frac{P_r}{P_n} \tag{1}$$

Из анализа работ [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7] установлено, что исследованию влияния порядка погрузки угля в грузовую платформу (ГП) на коэффициент использования грузоподъемности КС уделено недостаточно внимания. Поэтому данное исследование, с учетом изменяющихся физико-механических свойств горной массы и процесса погрузки на основе имитационного моделирования методом дискретных элементов (МДЭ), является актуальным.

ПОСТАНОВКА ЦЕЛИ И ЗАДАЧ

Целью работы является исследование влияния порядка погрузки угля в грузовую платформу на коэффициент использования грузоподъемности карьерного самосвала грузоподъемностью 220 тонн.

Для достижения цели должны быть решены следующие задачи:

- анализ параметров выемочного оборудования, применяемого при погрузке угля;
- анализ существующих схем загрузки угля в ГП КС;
- разработка цифровых моделей горного оборудования и проведение имитационного моделирования поведения сыпучей горной массы МДЭ при погрузке в транспортный сосуд [8, 9].

Данные исследования применялись в ходе выполнения работ по проекту «Разработка и создание беспилотного карьерного самосвала челночного типа грузоподъемностью 220 тонн» на этапе эскизного проек-

та, в части разработки математических моделей и проведения имитационного моделирования режимов эксплуатации ГП КС.

ПАРАМЕТРЫ ГОРНОГО ОБОРУДОВАНИЯ И СХЕМЫ ЗАГРУЗКИ УГЛЯ В ГП КС БЕЛАЗ-7530

Анализ экскаваторно-автомобильных комплексов, применяемых на разрезах Кемеровской области – Кузбасса, показал, что при транспортной технологии горных работ применяется множество технологических схем в зависимости от имеющегося парка горной техники [10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28]. Для исследований выбраны следующие комплексы выемочно-погрузочного и транспортного оборудования:

- экскаватор – обратная гидравлическая лопата Komatsu PC 2000 и КС БелАЗ-7530;
- экскаватор-мехлопата ЭКГ-35 и КС БелАЗ-7530.

Экскаватор Komatsu PC 2000 оснащается универсальным ковшом объемом с «шапкой» по SAE 2:1 – 12 м³, а ЭКГ-35 – 38 м³. Выбор данных экскаваторов обусловлен, с одной стороны, тем, что представленная модель гидролопаты является одной из самых популярных на разрезах, а с другой – необходимостью поэтапного импортозамещения оборудования на открытых горных работах [7, 11, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21].

Автосамосвалы БелАЗ-7530 могут оснащаться ГП шести различных объемов: геометрический – 80,0; 89,5; 92,0; 100,0; 103,0; 117,0 м³; и с «шапкой» 2:1 – соответственно 112; 131; 130; 138; 141; 147 м³. Для исследований выбрана широко применяемая ГП КС БелАЗ-7530 с геометрическим объемом 100,0 м³ и с «шапкой» 2:1 – 138 м³.

Выбранные для дальнейшего изучения схемы погрузки угля экскаваторами Komatsu PC 2000 и ЭКГ-35 в ГП КС БелАЗ-7530 представлены на рис. 1, где цифрами показана последовательность погрузки угля ковшами в ГП КС.

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ МДЭ ПРОЦЕССА ПОГРУЗКИ УГЛЯ В ГП КС

Для имитационного моделирования процесса погрузки угля в ГП разработаны цифровые модели ковшей экскаваторов Komatsu PC 2000 и ЭКГ-35, общий вид моделей ковшей с углем представлен на рис. 2.; а также модель ГП КС БелАЗ-7530 – рис. 3, рис. 4.

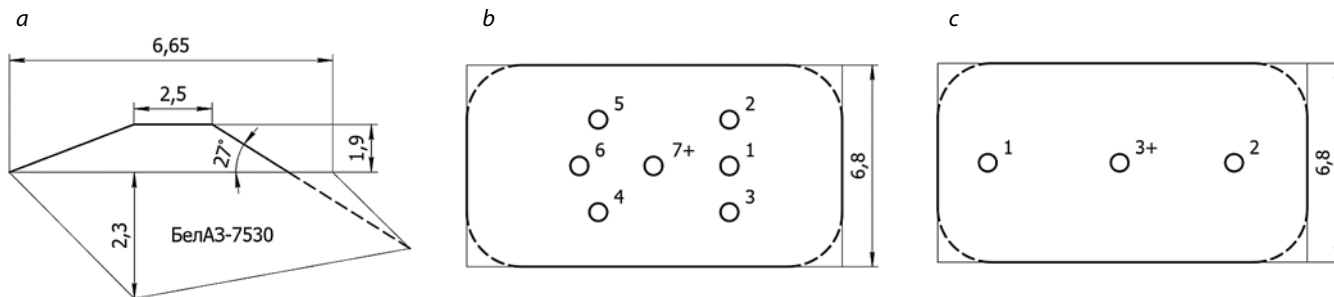


Рис. 1. Схема загрузки угля в грузовую платформу карьерного самосвала БелАЗ 7530: а – главный вид; б – для ковшей объемом < 20 м³ (РС 2000); с – для ковшей объемом > 20 м³ (ЭКГ-35)
 Fig. 1. Scheme of loading coal into the cargo platform of the BelAZ 7530 dump truck: a – main view; б – for buckets with a volume of < 20 m³ (PC 2000); с – for buckets with a volume of > 20 m³ (ECG-35)

Соответствие геометрии модели и существующих ГП КС БелАЗ 7530 показали высокую валидацию для имитационного моделирования МДЭ. Модели ковшей и ГП КС БелАЗ-7530 для имитационного моделирования МДЭ были упрощены, так как в процессе моделирования учитываются только те поверхности, которые непосредственно контактируют с сыпучей средой.

Параметры модели разрушенно-го угля были приняты из ранее проведенных исследований [8, 9, 29, 30, 31, 32, 33]. Насыпная плотность угля (ρ_n , т/м³) для имитационного моделирования МДЭ выбрана двух значений: min (0,79 т/м³) и max (0,96 т/м³), так как она может варьироваться из-за различных коэффициентов разрыхления полезного ископаемого при его дроблении в процессе черпания. Гранулометрический состав угля, используемый в имитационном моделировании, представлен в табл. 1.

В программное обеспечение *Rosky DEM* вводились параметры модели угля; экспортировались модели ковшей и ГП КС БелАЗ-7530; указывались места погрузки, высота высыпания и время процесса погрузки угля в ГП для ковшей различных моделей, полученные на основании схемы реальной последовательности погрузки угля в ГП КС БелАЗ-7530 (см. рис. 1).

Высота высыпания угля из ковша и время погрузки угля в ГП КС определены на основе визуальных и хронометражных измерений на разрезах Кузбасса. Для упрощения процесса моделирования уголь помещался в ковш без черпания. Моделировался тот объем, который характерен для черпания угля для каждого из ковшей, согласно SAE 2:1 [7]. Далее ковш с углем опрокидывался (или открывался, в зависимости от типа экскаватора) и высыпался в ГП КС БелАЗ-7530.

Имитационная модель процесса погрузки угля в ГП КС рассчитывалась МДЭ [6]. По результатам имитационного моделирования процесса погрузки угля в ГП получены кинограммы. Кинограмма моделирования при погрузке экскаватором

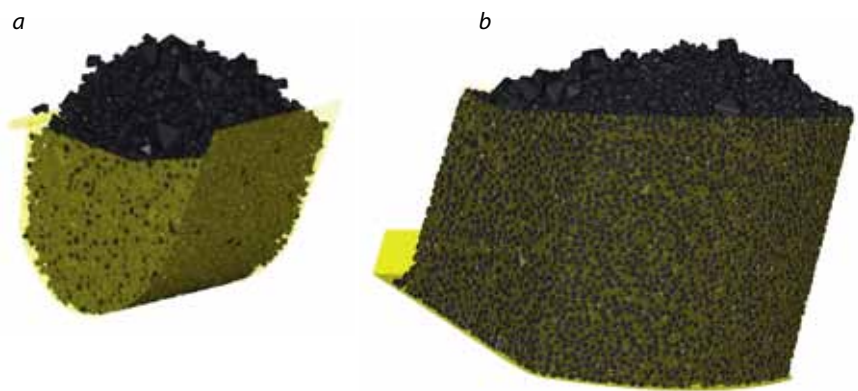


Рис. 2. Общий вид модели ковша с углем: а – РС 2000; б – ЭКГ-35

Fig. 2. General view of the coal bucket model: a – PC 2000; b – EKG-35



Рис. 3. Общий вид модели грузовой платформы карьерного самосвала БелАЗ 7530

Fig. 3. General view of the cargo platform model of the BelAZ 7530 dump truck

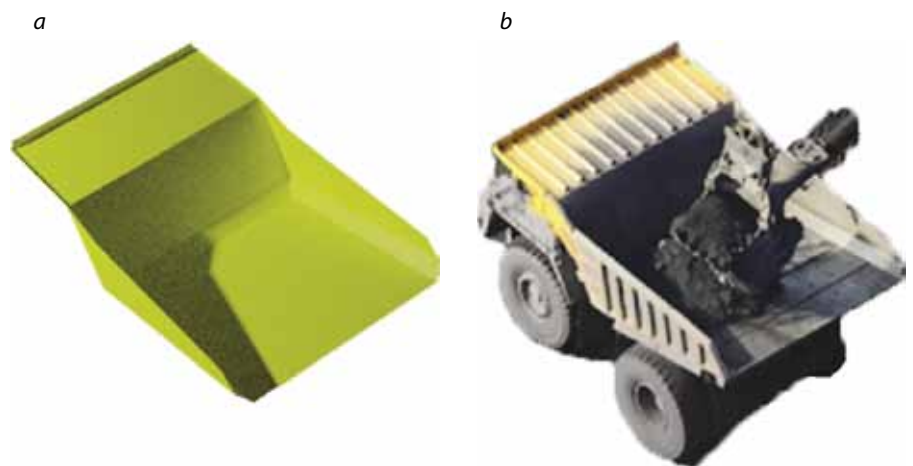


Рис. 4. Сравнение разработанной модели (а) и существующей (б) грузовой платформы карьерного самосвала БелАЗ 7530

Fig. 4. Comparison of the developed model (a) and the existing (b) cargo platform of the BelAZ 7530 dump truck

Таблица 1

Гранулометрический состав угля

Granulometric composition of coal

| Размер фракции | 0,10 | 0,15 | 0,20 | 0,40 |
|----------------|------|------|------|------|
| Содержание в % | 60,7 | 70,7 | 78,8 | 21,2 |

ЭКГ-35 в КС БелАЗ-7530 в зависимости от количества ковшей и минимальной насыпной плотности угля ($p_{н} = 0,79 \text{ т/м}^3$) представлена на рис. 5, где показаны: пустая ГП и первый ковш с углем (рис. 5, а), ГП с углем от выгрузки первого ковша (рис. 5, б) и т.д. На рис. 5 ф приведена полностью заполненная углем ГП КС БелАЗ-7530.

– параметры насыпей отличаются из-за особенностей погрузки разными экскаваторами, согласно схеме погрузки (см. рис. 1);

– полученная в результате последовательной загрузки угля ковшом экскаватора РС 2000 геометрия насыпи (см. рис. 7, б) соответствует фактической геометрии (см. рис. б).

РЕЗУЛЬТАТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССА ПОГРУЗКИ УГЛЯ В ГП КС

По результатам моделирования получены заполненные углем ГП КС БелАЗ-7530 и значения массы груза в ГП КС ($P_r, \text{т}$). Для сравнения геометрии моделей загруженного в кузов угля и фактической геометрии в ГП КС БелАЗ-7530 выполнена валидация полученных результатов. На рис. 6 показано сравнение полученной геометрии модели (а) и фактической насыпи (б) при погрузке экскаватором Komatsu РС 2000 с насыпной плотностью угля $p_{н} = 0,96 \text{ т/м}^3$.

По геометрии модельной и фактической установлена высокая валидация полученной геометрии модели и фактической насыпи в ГП КС БелАЗ-7530. Рассмотрим геометрию насыпи (см. рис. 1, а) согласно схеме погрузки угля экскаваторами Komatsu РС 2000 и ЭКГ-35 в ГП КС БелАЗ-7530, и сравним ее с полученными моделями при имитационном моделировании (рис. 7), где различными цветами показана последовательность погрузки угля с различной насыпной плотностью ковшами в ГП КС (см. рис. 1, б, с).

Из анализа полученных геометрических параметров насыпей и распределения угля в ГП КС БелАЗ-7530 (см. рис. 7) установлено, что:

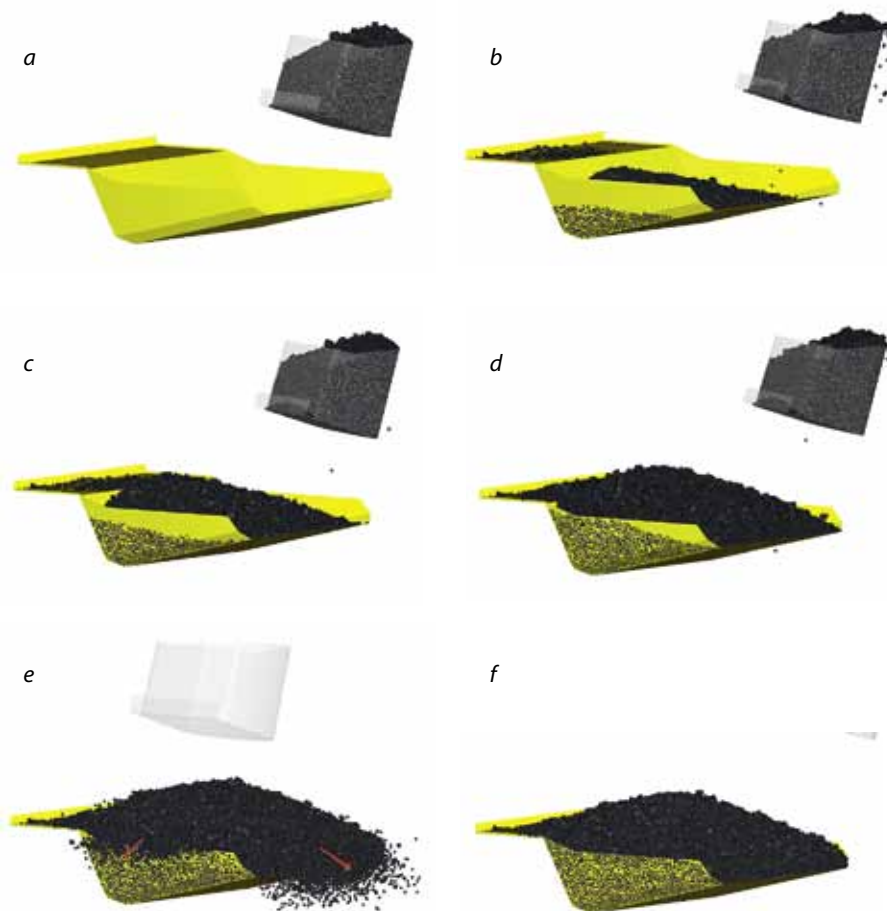


Рис. 5. Кинограмма с анимацией моделирования при погрузке грузовых платформ карьерного самосвала БелАЗ 7530
Fig. 5. Kinogram with animation of simulation during loading of cargo platforms of the BelAZ 7530 dump truck



Рис. 6. Сравнение полученной геометрии шапки модели (а) и фактической геометрии (б) в грузовой платформе карьерного самосвала БелАЗ 7530

Fig. 6. Comparison of the obtained geometry of the model cap (a) and the actual one (b) in the cargo platform of the BelAZ 7530 dump truck

– измеренные значения геометрических параметров насыпи угля в имитационных моделях (см. рис. 7 а, b, c) больше, чем в схеме погрузки угля: $h = 1,9$ м и $\alpha = 27^\circ$ (рис. 1, a). Эта разница в геометрических параметрах объясняется процессом погрузки угля в ГП, т.е. зависит от количества ковшей, высоты высыпания и плотности разрыхленного угля в ковше экскаватора, что определяет динамику движения отдельных частиц и, соответственно, формируют геометрию насыпи угля;

– рассчитанная в результате имитации погрузки ковшом экскаватора ЭКГ-35 геометрия насыпи (см. рис. 7 d) соответствует реальной (см. рис. 1 a).

По результатам моделирования получены значения массы груза как в единичном ковше, так и в целом в ГП КС. На основании массива экспериментальных данных построены гистограммы массы груза в ГП КС (P_r, τ) в зависимости от количества ковшей (N , шт.) – (рис. 8, 9).

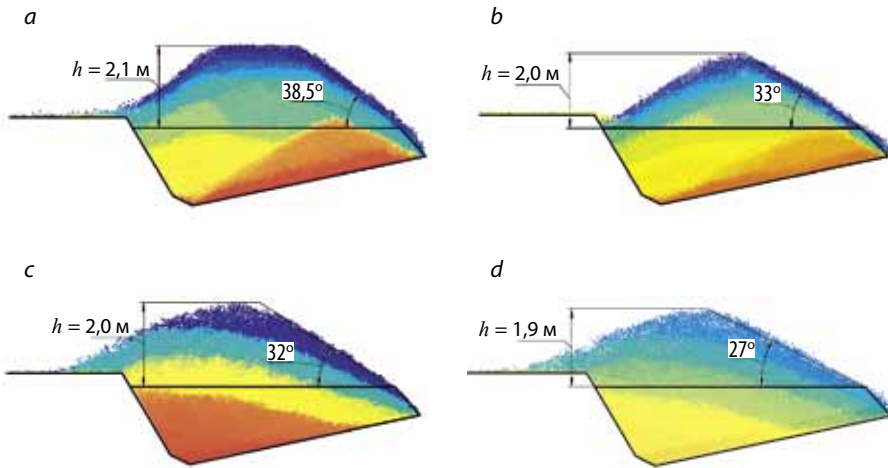


Рис. 7. Геометрия шапок и распределение угля в грузовой платформе карьерного самосвала БелАЗ 7530:

- a – РС 2000, $p_n = 0,79 \text{ т/м}^3$;
- b – РС 2000, $p_n = 0,96 \text{ т/м}^3$;
- c – ЭКГ-35, $p_n = 0,79 \text{ т/м}^3$;
- d – ЭКГ-35, $p_n = 0,96 \text{ т/м}^3$

Fig. 7. The geometry of the caps and the distribution of coal in the cargo platform of the BelAZ 7530 dump truck:

- a – PC 2000, $p_n = 0,79 \text{ t/m}^3$;
- b – PC 2000, $p_n = 0,96 \text{ t/m}^3$;
- c – EKG-35, $p_n = 0,79 \text{ t/m}^3$;
- d – EKG-35, $p_n = 0,96 \text{ t/m}^3$

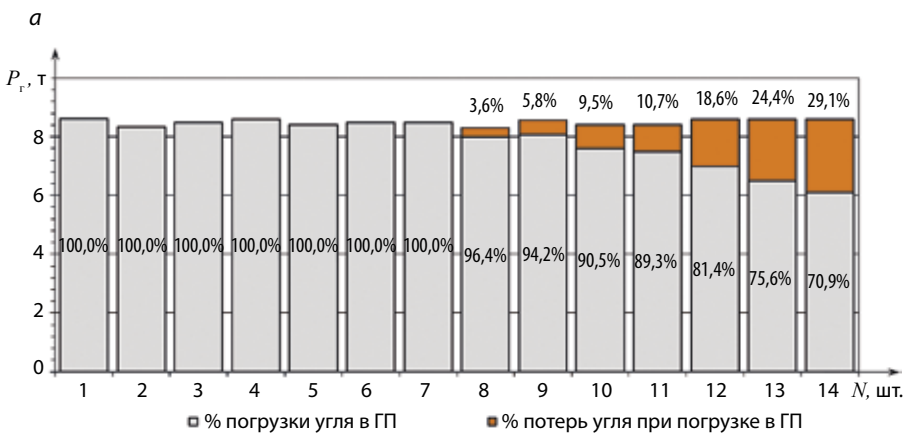
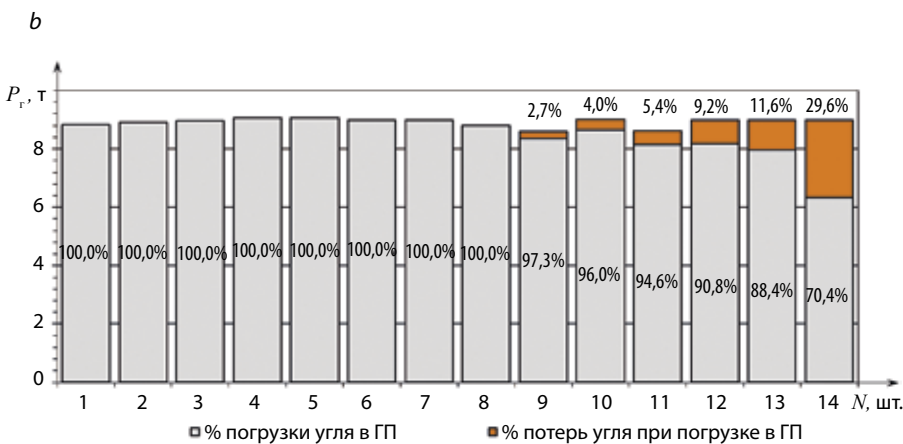


Рис. 8. Зависимость массы груза ($P_r, \text{т}$) в грузовой платформе карьерного самосвала БелАЗ 7530 от количества ковшей (N , шт.) при погрузке экскаватором РС 2000:

- a – $p_n = 0,79 \text{ т/м}^3$; b – $p_n = 0,96 \text{ т/м}^3$

Fig. 8. The dependence of the weight of the cargo (P_r, t) in the cargo platform of the BelAZ 7530 dump truck on the number of buckets (N , pcs.) when loading

- with the PC 2000 excavator: a – $p_n = 0,79 \text{ t/m}^3$; b – $p_n = 0,96 \text{ t/m}^3$



Параметры процесса погрузки угля в грузовую платформу

Parameters of the coal loading process into the cargo platform

| Параметр | Значения | | | |
|--|----------|--------|--------|--------|
| Модель экскаватора: объем ковша с шапкой по SAE 2:1 – м ³ | PC 2000 | | ЭКГ-35 | |
| | 12 | | 38 | |
| Грузоподъемность КС БелАЗ 7530 – P _н , т | 220 | | | |
| Насыпная плотность – p _н , т/м ³ | 0,79 | 0,96 | 0,79 | 0,96 |
| Масса груза в ГП КС – P _г , т | 110,21 | 119,24 | 96,04 | 107,63 |
| Коэффициент использования грузоподъемности – K _р | 0,50 | 0,54 | 0,44 | 0,49 |

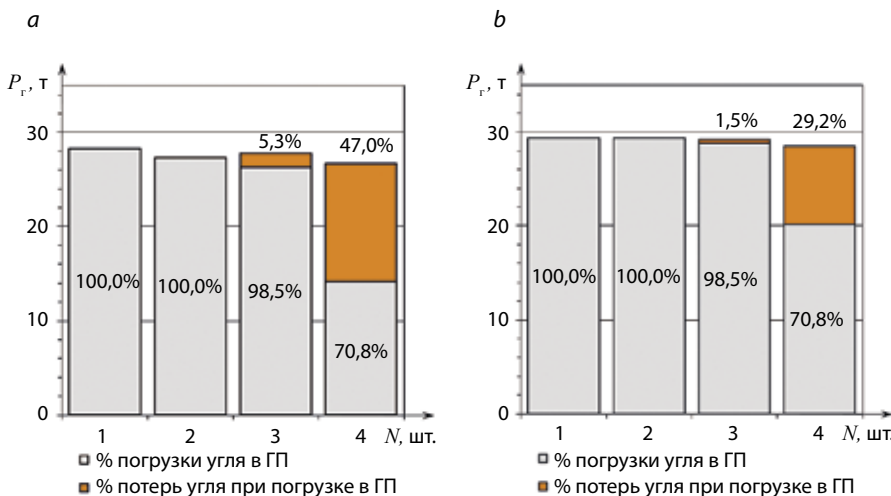


Рис. 9. Зависимость массы груза (P_г, т) в грузовой платформе карьерного самосвала БелАЗ 7530 от количества ковшей (N, шт.) при погрузке экскаватором ЭКГ-35: а – p_н = 0,79 т/м³; б – p_н = 0,96 т/м³
 Fig. 9. The dependence of the weight of the cargo (P_г, t) in the cargo platform of the BelAZ 7530 dump truck on the number of buckets (N, pcs.) when loading with the EKG-35 excavator: а – p_н = 0,79 t/m³; б – p_н = 0,96 t/m³

Из анализа зависимостей массы груза в ГП КС БелАЗ-7530 от количества ковшей установлено, что: при погрузке экскаватором PC 2000 на 8-м и 9-м ковшах (в зависимости от насыпной плотности) уголь начинает просыпаться из ГП; при погрузке экскаватором ЭКГ-35 в ГП потери угля происходят, начиная с третьего ковша; насыпная плотность влияет на массу угля в ГП; потери массы угля в ГП больше, если насыпная плотность имеет меньшие значения (0,79т/м³) и при погрузке экскаватором ЭКГ-35 (см. рис. 5, e).

Сведем в табл. 2 некоторые параметры процесса погрузки угля и рассчитаем коэффициент использования грузоподъемности по формуле (1) для каждого рассматриваемого случая.

Анализ зависимостей массы груза в ГП КС БелАЗ-7530 от количества ковшей при погрузке угля экскаваторами Komatsu PC 2000 и ЭКГ-35 (см. рис. 8, 9) и порядка погрузки угля в ГП (см. табл. 2) показал, что:

- коэффициент использования грузоподъемности при погрузке угля экскаватором Komatsu PC 2000 варьируется в диапазоне от 0,50 до 0,54, а экскаватором ЭКГ-35 – от 0,44 до 0,49 в зависимости от насыпной плотности и объема ковша экскаватора;

- загрузка угля ковшом экскаватора Komatsu PC 2000 является предпочтительней из-за более высоких значений коэффициента использования грузоподъемности, чем экскаватором ЭКГ-35, однако, хотя уменьшение

вместимости ковша увеличивает время погрузки, производительность автосамосвала в целом растет из-за увеличения K_р;

- во всех расчетных случаях при выполнении завершающего цикла погрузки весь объем угля в полностью заполненном ковше не помещается в ГП (рис. 5 e), поэтому необходимо намеренно уменьшать наполняемость ковша;
- ГП КС БелАЗ-7530 не удовлетворяет требованиям по достижению необходимого коэффициента использования грузоподъемности в пределах от 0,8 до 0,9 при работе в добычных забоях.

Полученный диапазон коэффициентов использования грузоподъемности КС при использовании автосамосвалов-породовозов в качестве углевозов согласуется с существующей ситуацией на разрезах Кузбасса, где в таких условиях он в среднем равняется 0,5.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе комбинированными методами имитационного моделирования процесса погрузки угля в ГП КС и МДЭ получены значения массы угля в ГП, выявлены зависимости массы груза в ГП КС БелАЗ-7530 от количества ковшей при погрузке экскаваторами PC 2000 и ЭКГ-35, оценено изменение коэффициента использования грузоподъемности в зависимости от типа применяемых экскаваторов для различной насыпной плотности материала.

Проанализированы параметры горного оборудования и особенности изменения наполняемости углем ГП КС. Разработанную комбинированную имитационную модель процесса погрузки угля в ГП КС возможно изменять и использовать для других расчетных случаев. Определены параметры процесса погрузки угля, необходимые для оценки коэффициента использования грузоподъемности для различных случаев. Выявлено влияние применяемого экскавационного оборудования на коэффициент использования грузоподъемности КС. Установлено, что коэффициент использования грузоподъемности КС можно повысить путем уменьшения объема ковша экскаватора (в том числе изменением применяемых марок и моделей экскаваторов), а также путем разработки новых конструкций ГП КС с учетом использования их именно для транспортировки угля. Проведенные исследования являются исходными данными для последующего имитационного моделирования процессов погрузки и разгрузки КС при создании новых ГП КС.

Список литературы

1. Методика определения рационального коэффициента использования грузоподъемности карьерных автосамосвалов / А.А. Хорешок, Н.А. Стенина, А.В. Кудреватых и др. // Горное оборудование и электромеханика. 2020. № 1. С. 3-9. DOI: 10.26730/1816-4528-2020-1-3-9.
2. Дубинкин Д.М., Ялышев А.В. Анализ конструкций и обоснование применения грузовых платформ карьерных самосвалов грузоподъемностью 90 тонн // Техника и технология горного дела. 2021. № 3. С. 61-78. DOI: 10.26730/2618-7434-2021-3-61-78.
3. Ялышев А.В. Необходимость создания грузовой платформы для аккумуляторного карьерного самосвала / Инновации в информационных технологиях, машиностроении и автотранспорте: Сборник материалов VI Международной научно-практической конференции, Кемерово, 30 ноября – 01 декабря 2022 года. Кемерово: Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, 2022. С. 706-710.
4. Оптимизация параметров экскаваторно-автомобильных комплексов разрезов / А.Ю. Воронов, А.А. Хорешок, Ю.Е. Воронов и др. // Горная промышленность. 2022. № 5. С. 92-98. DOI: 10.30686/1609-9192-2022-5-92-98.
5. Дубинкин Д.М., Голофастова Н.Н. Инженерные решения в повышении экологической безопасности карьерного транспорта // Экология и промышленность России. 2022. Т. 26. № 11. С. 8-12. DOI: 10.18412/1816-0395-2022-11-8-12.
6. Дубинкин Д.М. Методика определения нагрузок, действующих при погрузке и разгрузке грузовой платформы (кузова) карьерного самосвала // Горное оборудование и электромеханика. 2022. № 3. С. 31-49. DOI: 10.26730/1816-4528-2022-3-31-49.
7. Некоторые особенности отработки наклонных угольных пластов обратными гидролопатами в комплексе с автосамосвалами грузоподъемностью 220 тонн / А.А. Хорешок, С.Н. Данилов, Д.М. Дубинкин и др. // Транспортное, горное и строительное машиностроение: наука и производство. 2023. № 22. С. 91-99. DOI: 10.26160/2658-3305-2023-22-91-99.
8. Дубинкин Д.М., Ялышев А.В. Определение статических нагрузок на борт грузовой платформы карьерного самосвала // Горная промышленность. 2022. № 6. С. 137-144. DOI: 10.30686/1609-9192-2022-6-137-144.
9. Influence of geotechnical factors on the output of quarry haul trucks / D.M. Dubinkin, V.V. Aksenov, A.A. Khoreshok et al. / AIP Conference Proceedings. 2022. Vol. 2486. Article 040009. DOI: 10.1063/5.0106051.
10. Исследование закономерностей изменения показателей работы карьерных автосамосвалов в течение срока их эксплуатации / К.Ю. Анистратов, М.С. Градусов, В.Я. Стремиллов и др. // Горная промышленность. 2006. № 6. С. 30-34.
11. Шестаков И.Г., Косых С.В. Использование гидравлических экскаваторов типа «обратная лопата» в сложных горно-геологических условиях // Вологодские чтения. 2012. № 80. С. 168-170.
12. Ермолаев В.А., Селюков А.В. Сравнение горно-геологических условий горных работ карьеров // Техника и технология горного дела. 2018. № 2(2). С. 50-65. DOI: 10.26730/2618-7434-2018-2-50-64.
13. Производительность выемочно-погрузочного оборудования / И.В. Зырянов, Ю.И. Лель, Д.Х. Ильбульдин и др. // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. 2016. № 8. С. 11-20.
14. Холодняков Г.А., Логинов Е.В., Туан В.Д. Малоотходная открытая разработка полезных ископаемых с помощью гидравлических экскаваторов // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2017. № 1. С. 357-363.
15. Тюленева Е.А., Лесин Ю.В., Литвин Я.О. Исследование технологии отработки угленасыщенных зон на разрезах Кузбасса простыми и сложными забоями // Техника и технология горного дела. 2019. № 1. С. 35-49. DOI: 10.26730/2618-7434-2019-1-35-49.
16. Кацубин А.В., Федотов А.А. Систематизация горно-геологических условий угленасыщенных и безугольных зон разрезов Кузбасса // Техника и технология горного дела. 2019. № 3. С. 60-75. DOI: 10.26730/2618-7434-2019-3-60-75.
17. Мильный С.М. Оценка технологий отработки крутонаклонных угольных месторождений Кузбасса // Техника и технология горного дела. 2020. № 1. С. 45-73. DOI: 10.26730/2618-7434-2020-1-45-73.
18. Влияние горнотехнических факторов на производительность беспилотных карьерных автосамосвалов / Д.М. Дубинкин, В.В. Аксенов, М.А. Тюленев и др. // Техника и технология горного дела. 2020. № 4. С. 42-69. DOI: 10.26730/2618-7434-2020-4-42-69.
19. Selection of Excavating Equipment for the Outpacing Development of the Coal-bearing Zone / A. Katsubin, S. Markov, A. Khoreshok et al. // E3S Web of Conferences. 2020. No 174. 01027. DOI: 10.1051/e3sconf/202017401027.
20. Об определении параметров забойных блоков при ведении горных работ обратными гидравлическими лопатами / О.И. Литвин, Я.О. Литвин, М.А. Тюленев и др. // Горная промышленность. 2021. № 6. С. 76-81. DOI: 10.30686/1609-9192-2021-6-76-81.
21. Логинов Е.В., Тюленева Т.А. Управление параметрами карьера в целях повышения эффективности использования гидравлических экскаваторов типа обратная лопата // Уголь. 2021. № 12. С. 6-10. DOI: 10.18796/0041-5790-2021-12-6-10.
22. Логинов Е.В., Вольф В.В. Исследование параметров технологических схем разработки месторождений песчано-гравийных смесей обратными гидравлическими лопатами // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2022. № 8. С. 71-84.
23. Using of Shell Filtering Constructions for Concentrating Plant's Coal Slurry Dewatering / E. Murko, V. Kalashnikov, A. Gorbachev et al. // E3S Web of Conferences. 2019. Vol. 105. Article 02029. DOI: 10.1051/e3sconf/201910502029.

24. Mikhailov V., Kudrevatykh N., Tyuleneva T. The research of environmental-and-economic risks of the coal mining enterprise impact on water resources // E3S Web of Conferences. 2019. Vol. 134. Article 01019. DOI: 10.1051/e3sconf/201913401019.
25. Theoretical Background of Quarry Wastewater Filtering Through Filters of Coarse-Grained Blasted Overburden Rocks / E. Makridin, S. Markov, E. Murko et al. // E3S Web of Conferences. 2020. Vol. 174. Article 01056. DOI 10.1051/e3sconf/202017401056.
26. Recent Application of Dijkstra's Algorithm in the Process of Production Planning / M. Behún, D. Knežo, M. Cehlár et al. // Applied Sciences. 2022. 12(14). 7088. DOI: 10.3390/app12147088.
27. Numerical modelling of retaining structure displacements in multibench retained excavations / Hai-zuo Zh., Gang Zh., Xiao-pei H. et al. // Acta Geotechnica. 2020. 15(9). 2691. DOI: 10.1007/s11440-020-00947-3.
28. Самусев П.А. Исследование влияния технологических процессов добычи угля на его грансостав // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 1999. № 2(9). С. 50-51.
29. Самусев П.А. Развитие фотолиннейного метода определения granulometric composition of угля при открытой разработке месторождений: автореферат дис. ... канд. техн. наук: 05.15.11 / Кузбасский государственный технический университет. Кемерово, 2000. 17 с.
30. On the need to consider the lithological composition of overburden rocks in the design of waste water treatment plants at open pit mines / E. Murko, Ju. Janočko, E. Makridin et al. // E3S Web of Conferences. 2021. Vol. 315. Article 02013. DOI: 10.1051/e3sconf/202131502013.
31. Universal Approach for DEM Parameters Calibration of Bulk Materials / A. Boikov, R. Savelev, V. Payor et al. // Symmetry. 2021. DOI: 10.3390/sym13061088.
32. Zhang S., Zsáki A.M. Effect Geometric Detail on the Outcome of DEM Simulations with Polyhedral Particles. Geomech. Geoengin. 2022.
33. The shape parameters of coal and gangue particles derived from 3D scanning / D. Yang, J. Tang, N. Hu et al. // Sci Data. 2023. 10. 107. <https://doi.org/10.1038/s41597-023-02019-z>.

Original Paper

UDC 622.271 © D.M. Dubinkin, A.V. Yalyshev, 2023
 ISSN 0041-5790 (Print) • ISSN 2412-8333 (Online) • Ugol' – Russian Coal Journal, 2023, № S12, pp. 11-19
 DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2023-S12-11-19>

Title

THE EFFECT OF THE COAL LOADING PROCESS ON THE LOADING PLATFORM ON THE UTILIZATION FACTOR OF THE BELAZ-7530 MINING DUMP TRUCK (220 T).

Authors

Dubinkin D.M.¹, Yalyshev A.V.¹

¹ T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, Kemerovo, 650000, Russian Federation

Authors Information

Dubinkin D.M., PhD (Engineering), Leading Researcher Associate, Associate Professor of the Department of Mining Machines and Complexes, e-mail: ddm.tm@kuzstu.ru Student, e-mail: yalyshevav@kuzstu.ru

Yalyshev A.V., Junior Researcher Digital Technologies Research Center, Graduate student, e-mail: yalyshevav@kuzstu.ru

Abstract

Determining the utilization factor of a mining dump truck, taking into account the characteristics of the rock mass and loading, is one of the urgent tasks of modern mining production. The purpose of this study is to study the effect of the coal loading process into a dump body on the utilization factor of a 220-ton mining dump truck. The parameters of mining equipment and schemes for loading coal into the dump body of a mining dump truck of 220 tons are analyzed. Models of mining equipment and a simulation model of the process of loading coal into the cargo platform of a dump truck have been developed. Simulation modeling by the method of discrete elements of the coal loading process into the cargo platform of a quarry dump truck was carried out and the values of the weight of the cargo were obtained both by a single bucket and in the cargo platform as a whole. The validation of the obtained results of the simulation of the coal loading process was carried out by comparing the obtained models and the actual geometry of the coal cap in the dump body of the BelAZ 7530 dump truck. The dependences of the weight of the cargo in the dump body of the BelAZ 7530 dump truck on the number of buckets when loading with Komatsu PC 2000 and EKG-35 excavators are presented. The influence of the coal loading process in the SOE on the utilization factor of the mining dump truck load capacity has been revealed.

Keywords

Mining, Open-pit mining, Load capacity utilization factor, Mining dump truck, Dump body, DEM, Coal.

References

1. Khoreshok A.A., Stenina N.A., Kudrevatykh A.V. & Ascheulov A.S. Methodology for determining the rational coefficient of utilization of the lifting capacity of quarry dump trucks. *Gornoe oborudovanie i electromekhanika*, 2020, (1), pp. 3-9. (In Russ.). DOI: 10.26730/1816-4528-2020-1-3-9.
2. Dubinkin D.M. & Yalyshev A.V. Analysis of structures and justification of the use of cargo platforms of quarry dump trucks with a lifting capacity of 90 tons. *Tekhnika i tekhnologiya gornogo dela*, 2021, (3), pp. 61-78. (In Russ.). DOI: 10.26730/2618-7434-2021-3-61-78.
3. Yalyshev A.V. The need to create a cargo platform for a battery mining dump truck. Innovations in information technology, mechanical engineering and motor transport: Proceedings of the VI International Scientific and Practical Conference, Kemerovo, November 30 – December 01, 2022. Kemerovo, Kuzbass State Technical University named after T.F. Gorbachev, 2022, pp. 706-710. (In Russ.).
4. Voronov A.Yu., Khoreshok A.A., Voronov Yu.E., Dubinkin D.M. & Voronov A.Yu. Optimization of parameters of excavator-automobile complexes of sections. *Gornaya promyshlennost*, 2022, (5), pp. 92-98. (In Russ.). DOI: 10.30686/1609-9192-2022-5-92-98.
5. Dubinkin D.M. & Golofastova N.N. *Engineering solutions in improving the environmental safety of quarry transport. Ecologiya i promyshlennost Russii*, 2022, Vol. 26, (11), pp. 8-12. (In Russ.). DOI: 10.18412/1816-0395-2022-11-8-12.
6. Dubinkin D.M. Methodology for determining the loads acting during loading and unloading of the cargo platform (body) of a quarry dump truck.

MINING EQUIPMENT

- Gornoe oborudovanie i electromekhanika*, 2022, (3), pp. 31-49. (In Russ.). DOI: 10.26730/1816-4528-2022-3-31-49.
7. Khoreshok A.A., Danilov S.N., Dubinkin D.M., Markov S.O. & Tyulenev M.A. Some features of mining inclined coal seams with reverse hydraulic shovels in combination with dump trucks with a lifting capacity of 220 tons. *Transportnoe, goirnoe i stroitelnoe mashinostroenie: nauka i proizvodstvo*, 2023, (22), pp. 91-99. (In Russ.). DOI: 10.26160/2658-3305-2023-22-91-99.
8. Dubinkin D.M. & Yalyshev A.V. Determination of static loads on board the cargo platform of a quarry dump truck. *Gornaya promyshlennost*, 2022, (6), pp. 137-144. (In Russ.). DOI: 10.30686/1609-9192-2022-6-137-144.
9. Dubinkin D.M., Aksenov V.V., Khoreshok A.A. et al. Influence of geotechnical factors on the output of quarry haul trucks. AIP Conference Proceedings, 2022, (2486), Article 040009. DOI: 10.1063/5.0106051.
10. Anistratov K.Yu., Degrees M.S., Stremilov V.Ya. & Teterin M.V. Investigation of patterns of changes in performance indicators of dump trucks during their service life. *Gornaya promyshlennost*, 2006, (6), pp. 30-34. (In Russ.).
11. Shestakov I.G. & Kosykh S.V. The use of hydraulic excavators of the "reverse shovel" type in difficult mining and geological conditions. *Vologdinskije chteniya*, 2012, (80), pp. 168-170. (In Russ.).
12. Ermolaev V.A. & Selyukov A.V. Comparison of mining and geological conditions on quarries. *Tekhnika i tekhnologiya gornogo dela*, 2018, (2), pp. 50-64. (In Russ.). DOI: 10.26730/2618-7434-2018-2-50-64.
13. Zyryanov I.V., Lel Yu.I., Ilbuldin D.H., Martynov N.V. & Ganiev R.S. Productivity of the dredging and loading equipment. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenij. Gornyj zhurnal*, 2016, (8), pp. 11-20. (In Russ.).
14. Kholodnyakov G.A., Loginov E.V. & Tuan V.D. Low-waste open-pit mining of minerals using hydraulic excavators. *Gornyj informatsionno-analyticheskij bulletin*, 2017, (1), pp. 357-363. (In Russ.).
15. Tyuleneva E.A., Lesin Yu.V. & Litvin Ya.O. Investigation of the technology of mining coal-saturated zones in Kuzbass sections with simple and complex faces. *Tekhnika i tekhnologiya gornogo dela*, 2019, (1), pp. 35-49. (In Russ.). DOI: 10.26730/2618-7434-2019-1-35-49.
16. Katsubin A.V. & Fedotov A.A. Systematization of mining and geological conditions of coal-saturated and coal-free zones of Kuzbass sections. *Tekhnika i tekhnologiya gornogo dela*, 2019, (3), pp. 60-75. (In Russ.). DOI: 10.26730/2618-7434-2019-3-60-75.
17. Mily S.M. Evaluation of technologies for mining steep-slope coal deposits in Kuzbass. *Tekhnika i tekhnologiya gornogo dela*, 2020, (1), pp. 45-73. (In Russ.). DOI: 10.26730/2618-7434-2020-1-45-73.
18. Dubinkin D.M., Aksenov V.V., Tyulenev M.A. & Markov S.O. The influence of mining engineering factors on the productivity of unmanned mining dump trucks. *Tekhnika i tekhnologiya gornogo dela*, 2020, (4), pp. 42-69. (In Russ.). DOI: 10.26730/2618-7434-2020-4-42-69.
19. Katsubin A., Markov S., Khoreshok A. & Tyulenev M. Selection of Excavating Equipment for the Outpacing Development of the Coal-bearing Zone. *E3S Web of Conferences*, 2020, (174), 01027 DOI: 10.1051/e3s-conf/202017401027.
20. Litvin O.I., Litvin Ya.O., Tyulenev M.A. & Markov S.O. On determining the parameters of downhole blocks during mining operations with reverse hydraulic shovels. *Gornaya promyshlennost*, 2021, (6), pp. 76-81. (In Russ.). DOI: 10.30686/1609-9192-2021-6-76-81.
21. Loginov E.V. & Tyuleneva T.A. Control of quarry parameters to improve the efficiency of hydraulic backhoes. *Ugol*, 2021, (12), pp. 6-10. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2021-12-6-10.
22. Loginov E.V. & Wolf V.V. Investigation of the parameters of technological schemes for the development of deposits of sand and gravel mixtures with reverse hydraulic shovels. *Gornyj informatsionno-analyticheskij bulletin*, 2022, (8), pp. 71-84. (In Russ.).
23. Murko E., Kalashnikov V., Gorbachev A. & Mukhomedzyanov I. Using of Shell Filtering Constructions for Concentrating Plant's Coal Slurry De-watering. *E3S Web of Conferences*, 2019, (105), 02029. DOI: 10.1051/e3s-conf/201910502029.
24. Mikhailov V., Kudrevatykh N. & Tyuleneva T. The research of environmental-and-economic risks of the coal mining enterprise impact on water resources. *E3S Web of Conferences*, 2019, (134), 01019. DOI: 10.1051/e3s-conf/201913401019.
25. Makridin E., Markov S., Murko E. et al. Theoretical Background of Quarry Wastewater Filtering Through Filters of Coarse-Grained Blasted Overburden Rocks. *E3S Web of Conferences*, 2020, (174), Article 01056. DOI: 10.1051/e3sconf/202017401056.
26. Behún M., Knežo D., Cehlár M., Knapčíková L. & Behúnová A. Recent Application of Dijkstra's Algorithm in the Process of Production Planning. *Applied Sciences*, 2022, 12(14), 7088. DOI: 10.3390/app12147088.
27. Hai-zuo Zh., Gang Zh., Xiao-pei H., En-yu W., Zhi-yi G., Dong-qing N. & Shao-kun M. Numerical modelling of retaining structure displacements in multibench retained excavations. *Acta Geotechnica*, 2020, 15(9), 2691. DOI: 10.1007/s11440-020-00947-3.
28. Samusev P.A. Research into the impact of technological processes of coal mining on its particle size distribution. *Vestnik Kuzbasskogo Gosudarstvennogo Tekhnicheskogo Universiteta*, 1999, (2), pp. 50-51. (In Russ.).
29. Samusev P.A. Development of the photoliner method to determine the particle size distribution of coal in surface mining. PhD eng. sci. diss.: 05.15.11 / Kuzbass State Technical University, Kemerovo, 2000, 17 p. (In Russ.).
30. Murko E., Janočko Ju., Makridin E. & Kapko M. On the need to consider the lithological composition of overburden rocks in the design of waste water treatment plants at open pit mines. *E3S Web of Conferences*, 2021, (315), Article 02013. DOI: 10.1051/e3sconf/202131502013.
31. Boikov A., Savelev R., Payor V. & Potapov A. Universal Approach for DEM Parameters Calibration of Bulk Materials. *Symmetry*, 2021. DOI: 10.3390/sym13061088.
32. Zhang S. & Zsáki A.M. Effect Geometric Detail on the Outcome of DEM Simulations with Polyhedral Particles. *Geomech. Geoenjin*, 2022.
33. Yang D., Tang J., Hu N. et al. The shape parameters of coal and gangue particles derived from 3D scanning. *Sci Data*, 2023, (10), 107. <https://doi.org/10.1038/s41597-023-02019-z>.

Acknowledgements

This work was done with the financial support of the Ministry of Science and Higher Education of Russian Federation under the agreement dated 30.09.2022 № 075-15-2022-1198 with FSBEI HE "T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University" Integrated scientific and technical program of the full innovation cycle "Development and implementation of a set of technologies in the areas of exploration and mining of solid minerals, industrial safety, bioremediation, creation of new products of deep processing of coal raw materials with a consistent reduction of the environmental impact and risks to human life" (CSTP "Clean Coal – Green Kuzbass") in the implementation of the event "Development and creation of unmanned shuttle-type dump truck of 220 tons carrying capacity" in terms of research and development works.

For citation

Dubinkin D.M. & Yalyshev A.V. The effect of the coal loading process on the loading platform on the utilization factor of the BelAZ-7530 mining dump truck (220 t). *Ugol*, 2023, (S12), pp. 11-19. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2023-S12-11-19.

Paper info

Received November 1, 2023

Reviewed November 15, 2023

Accepted November 30, 2023

Обоснование схемного решения цифровой системы диспетчеризации угольного карьера*

DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2023-S12-20-31>

СЫРКИН И.С.

Канд. техн. наук, доцент кафедры
Информационных и автоматизированных
производственных систем ФГБОУ ВО
«КузГТУ им. Т.Ф. Горбачева»,
650000, г. Кемерово, Россия,
e-mail: syrkin@kuzstu.ru

ДУБИНКИН Д.М.

Канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры
Горных машин и комплексов ФГБОУ ВО
«КузГТУ им. Т.Ф. Горбачева»,
650000, г. Кемерово, Россия,
e-mail: ddm.tm@kuzstu.ru

САДОВЕЦ В.Ю.

Канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры
Информационных и автоматизированных
производственных систем ФГБОУ ВО
«КузГТУ им. Т.Ф. Горбачева»,
650000, г. Кемерово, Россия,
e-mail: svyu.pmh@kuzstu.ru

В статье представлено обоснование схемного решения цифровой системы диспетчеризации угольного карьера, которая представляет собой автоматизированную систему управления горнотранспортным комплексом при добыче полезного ископаемого. С этой целью были выявлены ведущие мировые и отечественные разработчики систем автоматизации процесса диспетчеризации на угольном предприятии и определены основные достоинства и недостатки этих систем. Кроме этого, представлены функционально-структурные схемы взаимодействия подсистем существующих автоматизированных решений систем управления диспетчеризацией карьерного транспорта. Исходя из опыта разработки рассмотренных технологий, используемых при создании автоматизированных систем горнотранспортного комплекса, были выделены шесть основных подсистем, из которых должна состоять разрабатываемая цифровая система диспетчеризации угольного карьера. Необходимость разработки каждой из подсистем цифровой системы диспетчеризации угольного карьера определяется ее функциональным назначением. Для этого предварительно сформирован состав оборудования и компонент, которые должны входить в структуру системы и обеспечивать бесперебойное и надежное функционирование всей цифровой системы диспетчеризации. На основании выделенных передовых технологий разработки автоматизированных систем горнотранспортного комплекса, сформированных требований к системам диспетчеризации и их программному обеспечению было разработано схемное решение цифровой системы диспетчеризации угольного карьера. На данном этапе разработки и проведенных исследований сформулированные аспекты создания автоматизированных систем диспетчеризации позволяют оценить функциональность структурных единиц и опре-

* Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации по соглашению от 30.09.2022 № 075-15-2022-1198 с ФГБОУ ВО «Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева» в рамках 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 из угольного сырья при последовательном снижении экологической нагрузки на окружающую среду и рисков для жизни населения» (КНТП «Чистый уголь – Зеленый Кузбасс») в рамках реализации мероприятия «Разработка и создание беспилотного карьерного самосвала челночного типа грузоподъемностью 220 тонн» в части выполнения научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ.

делить аппаратную и информационную взаимосвязь между ними. Направлением дальнейших исследований являются разработка алгоритмов взаимодействия компонент, входящих в структуру цифровой системы диспетчеризации, как между собой, так и с внешними системами, а также проектирование конструктивного решения цифровой системы диспетчеризации угольного карьера.

Ключевые слова: добыча полезных ископаемых, открытые горные работы, система диспетчеризации, программное обеспечение, беспилотный карьерный самосвал.

Для цитирования: Сыркин И.С., Дубинкин Д.М., Садовец В.Ю. Обоснование схемного решения цифровой системы диспетчеризации угольного карьера // Уголь. 2023. № S12. С. 20-31. DOI: 10.18796/0041-5790-2023-S12-20-31.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время созданием автоматизированных систем диспетчеризации угольных предприятий занимаются достаточно много разработчиков. На российском рынке систем диспетчеризации представлены как отечественные разработки, так и зарубежные системы, предназначенные для автономного управления транспортными средствами разных видов. Для обоснования схемного решения цифровой системы диспетчеризации угольного карьера (ЦСДУК) необходимо провести анализ опыта разработчиков, чьи решения в сфере автономного управления транспортом и создания автоматизированных систем диспетчеризации уже показали свою эффективность [1]. К таким проектам стоит отнести разработки, проводимые: ВИСТ Групп, Россия; БЕЛАЗ, Беларусь; Modular Mining Systems, США; Caterpillar, США.

ОБЗОР СУЩЕСТВУЮЩИХ СИСТЕМ ДИСПЕТЧЕРИЗАЦИИ

Разработкой ВИСТ Групп является автоматизированная система управления горнотранспортным комплексом «Карьер», которая успешно применяется не только на территории России, но и за ее пределами. Система «Карьер» обеспечивает следующие функции управления экскаваторно-автомобильным комплексом угольного карьера:

- управление оборудованием в режиме реального времени и управление качеством руды при погрузке и ее разгрузке на складе;
- контроль движения руды, вскрыши и в целом горной массы, контроль соблюдения маршрутов движения, а также загрузки автосамосвалов;
- мониторинг работы двигателей и узлов автосамосвалов, эксплуатации шин, заправок и расхода топлива, времени технического обслуживания оборудования и т.д. [2, 3, 4].

В основе программно-аппаратного комплекса системы «Карьер» лежит распределенная архитектура, выделяющая серверную часть, отвечающую за управление всеми данными, используемыми в системе, и автоматизированные рабочие места (АРМ) пользователей различных назначений. Вследствие этого достигается гибкость системы, позволяющая расширять ее функциональность без из-

менения основных компонентов. Серверная часть, в свою очередь, разделяется на сервер баз данных для хранения данных и сервер приложений для обработки данных и взаимодействия с АРМ и бортовым оборудованием автотранспорта (рис. 1). В качестве системы управления базами данных используется программный продукт Oracle.

Ввиду большого объема разнообразной информации, получаемой от мобильных объектов, обработкой и распределением данных занимается отдельный процесс, что позволяет выделить отдельно задачу сбора данных для повышения надежности при конфигурации процесса выгрузки.

Среди программных модулей, реализованных в системе «Карьер», стоит выделить наличие следующих:

- модуль для управления работой в карьере в режиме реального времени;
- картографический модуль, позволяющий наблюдать за мобильными объектами на карте (входит в предыдущий модуль);
- модули для анализа работы карьера;
- модуль оптимизации работы карьера;
- модули для диагностики и мониторинга состояния объектов и др. [3, 4].

Важным требованием к оснащению оборудованием мобильных объектов является наличие систем навигации, передачи данных, контроля загрузки, наличие топлива и давления в шинах (см. рис. 1).

Рабочие места пользователей автоматизированной системы управления горнотранспортным комплексом «Карьер» могут произвольно формироваться администратором системы. Общую функциональность системы можно произвольно разделить, настраивая меню и права доступа пользователя.

Совместно с ВИСТ Групп Белорусский автомобильный завод занимается внедрением собственной линейки беспилотных карьерных самосвалов, а также центров для автономного управления ими. Ими была разработана система управления самосвалом, включающая как дистанционное управление с удаленного рабочего места, так и контроль за автономным управлением от бортового компьютера, расположенного на борту карьерного самосвала [5, 6, 7].

Особенности данной системы заключаются в следующем:

- возможность оператора переключаться между режимами дистанционного управления и автономного управления;
- наличие графической станции для обеспечения видеонаблюдения БКС на основе данных с видеосистемы;
- обеспечение дистанционного управления за счет оснащения системы комфортабельным сиденьем, приборной панелью, рулевым колесом и органами управления, как в кабине серийного самосвала (рис. 2).

Несколько дисплеев, размещенных перед оператором, обеспечивают возможность мультиэкранного режима для вывода изображений от нескольких видеокамер на один дисплей и автоматическую коммутацию видеосигналов с видеокамеры переднего обзора на заднюю и наоборот. Кроме того, на одном из дисплеев может отображаться

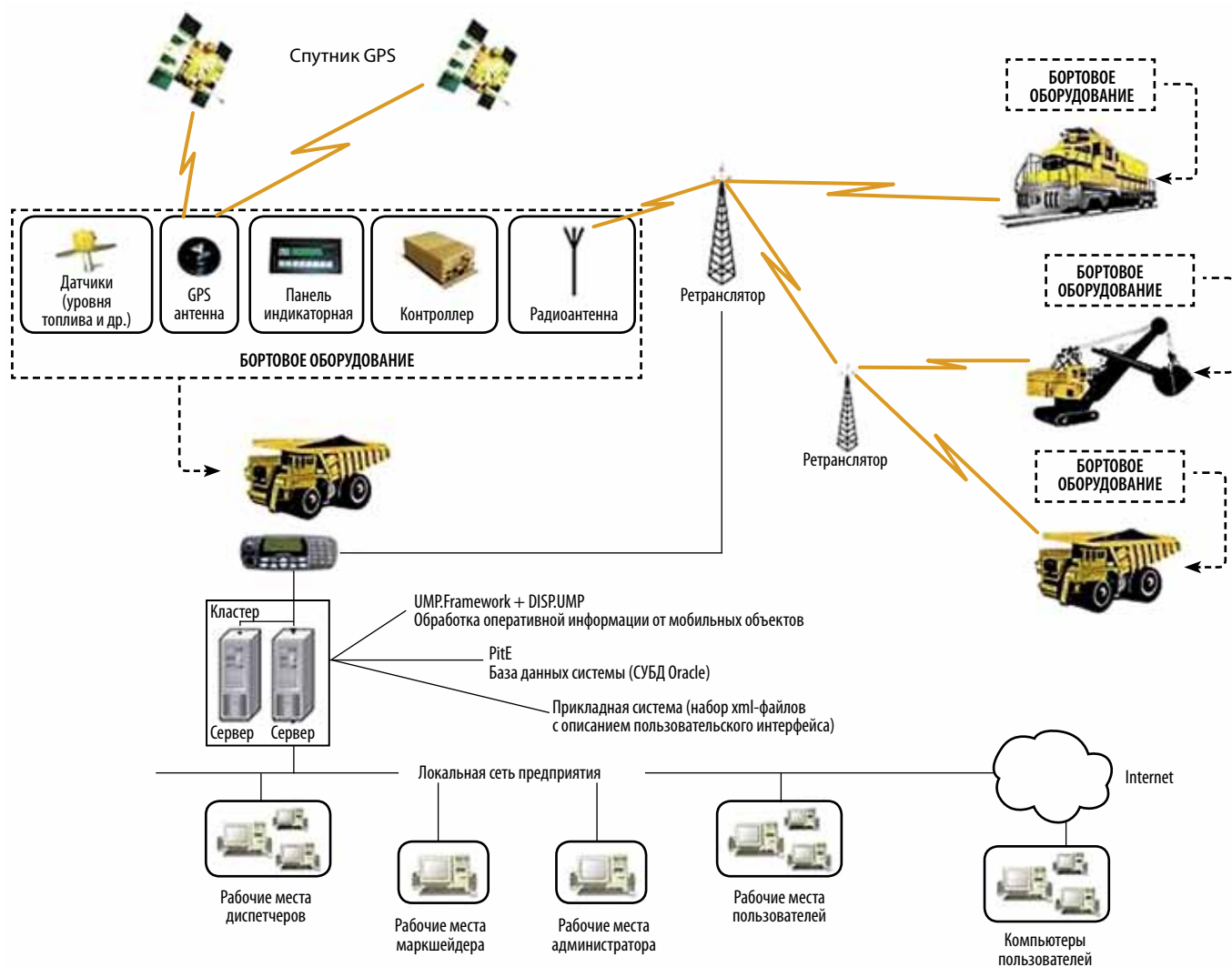


Рис. 1. Схема распределенной архитектуры программно-аппаратного комплекса «Карьер»

Fig. 1. Diagram of the distributed architecture of the "Karier" hardware and software complex



Рис. 2. Организация АРМ оператора на примере разработки БЕЛАЗ

Fig. 2. Organization AWP of the operator's workstation using the example of the development of BELAZ

цифровая карта местности с отображением местоположения и координат автономного самосвала [8, 9, 10]. Отдельно стоит отметить наличие аудиосистемы для прослушивания работы дизельного двигателя, что повышает имитацию нахождения в кабине карьерного самосвала.

Для обеспечения дистанционного и автономного управления карьерным самосвалом используется система широкополосной беспроводной передачи данных в диапазонах частот 2,4 и 5 ГГц, которая обеспечивает передачу и прием команд управления и сигналов, видео- и аудиоинформации, навигационных поправок в режиме RTK, активацию автономного режима и удаленную загрузку в память бортового компьютера маршрутов движения (рис. 3).

Алгоритмы управления системы обеспечивают выполнение основных функций карьерного самосвала:

- пуск, остановка и управление оборотами дизельного двигателя;
- сборка схемы в тяговом режиме;
- управление электромеханической трансмиссией в соответствии с логикой работы системы управления тяговым электроприводом;

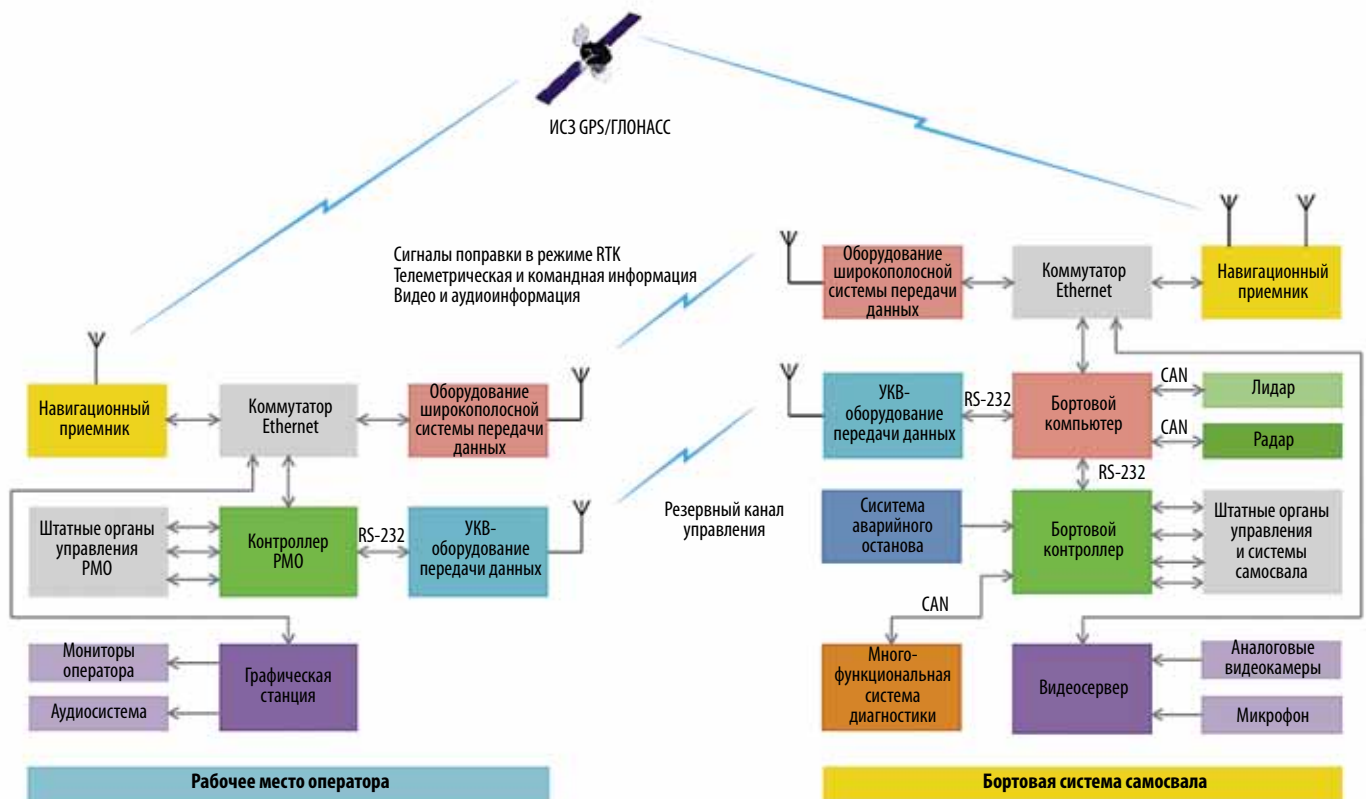


Рис. 3. Структурная схема дистанционного и автономного управления карьерным самосвалом – разработка БЕЛАЗ
 Fig. 3. Block diagram of remote and autonomous control of a mining dump truck – developed by BELAZ

- поворот управляемых колес в выбранном направлении движения самосвала;
- управление стояночным тормозом и рабочей тормозной системой;
- управление опрокидывающим механизмом;
- управление оборудованием системы освещения, световой и звуковой сигнализации самосвала и управление жалюзи радиатора двигателя, аналогичное штатному;
- аварийная остановка.

Компания Modular Mining Systems является крупнейшим в мире поставщиком программного и аппаратного обеспечения для горнодобывающих предприятий. Система компании Modular DISPATCH считается промышленным стандартом систем диспетчеризации горнотранспортного комплекса, вследствие чего целесообразно опираться на опыт компании по применению передовых технологий оптимизации и диспетчеризации.

Система DISPATCH, входящая в состав пакета IntelliMine, аналогично системе «Карьер» предлагает распределенную архитектуру программного комплекса с выделением центрального сервера и пользовательского оборудования [11]. Также особое внимание уделяется технологиям беспроводной передачи данных, для обеспечения чего Modular внедряет собственную сеть с включением стационарных точек доступа, обеспечивающих основное радиопокрытие, и мобильных точек доступа для обеспечения дополнительной надежности системы (рис. 4).

Центральный сервер управления DISPATCH обладает следующими особенностями:

- возможность подключения неограниченного числа пользователей с разделением прав доступа в соответствии с ролями;
- использование резервного сервера для обеспечения отказоустойчивой работы системы («зеркалирование» основного сервера на резервный), что позволяет при выходе из строя основного сервера без потери времени и данных переключиться на резервный;
- модульная структура программного обеспечения, что позволяет гибко настраивать систему под текущие потребности клиента.

Программный комплекс DISPATCH обладает большим набором форм, отображающих различную информацию для выполнения функций управления и контроля горнотранспортным комплексом. Среди основных форм можно назвать следующие:

- экран маршрутов транспорта, показывающий текущие маршруты движения каждого самосвала, а также их состояние (рис. 5);
- окно оперативных данных о самосвалах и экскаваторах;
- план карьера, содержащий карту с указанием местоположений и свойств всех важных объектов (рис. 6);
- система отчетности, позволяющая диспетчерской службе оперативно получать информацию по работе смены, по отслеживанию заданий производственных смен и их выполнения, по учету выполняемых рейсов и работы погрузочного парка в режиме реального времени;
- модули для контроля топлива, скорости, эксплуатации шин, простоев, неисправностей и др. [12,13].

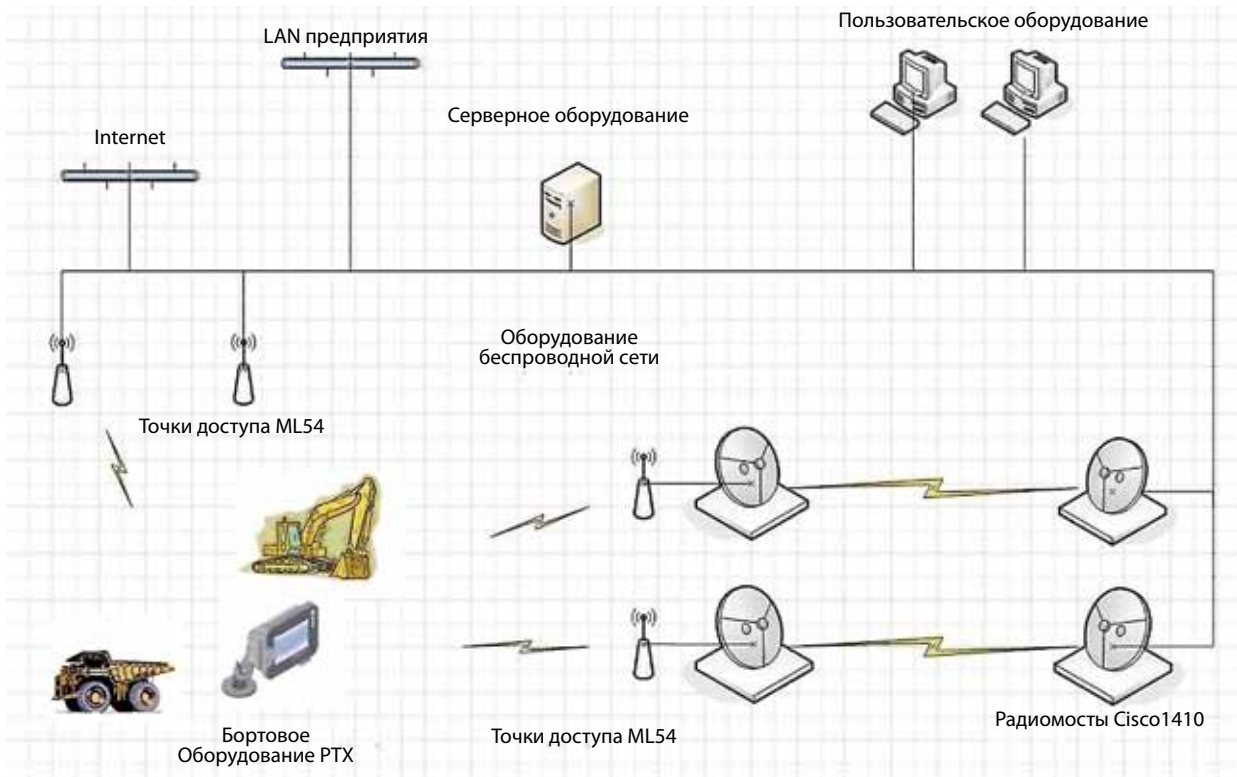


Рис. 4. Сетевая структура системы DISPATCH

Fig. 4. Network structure of the DISPATCH system

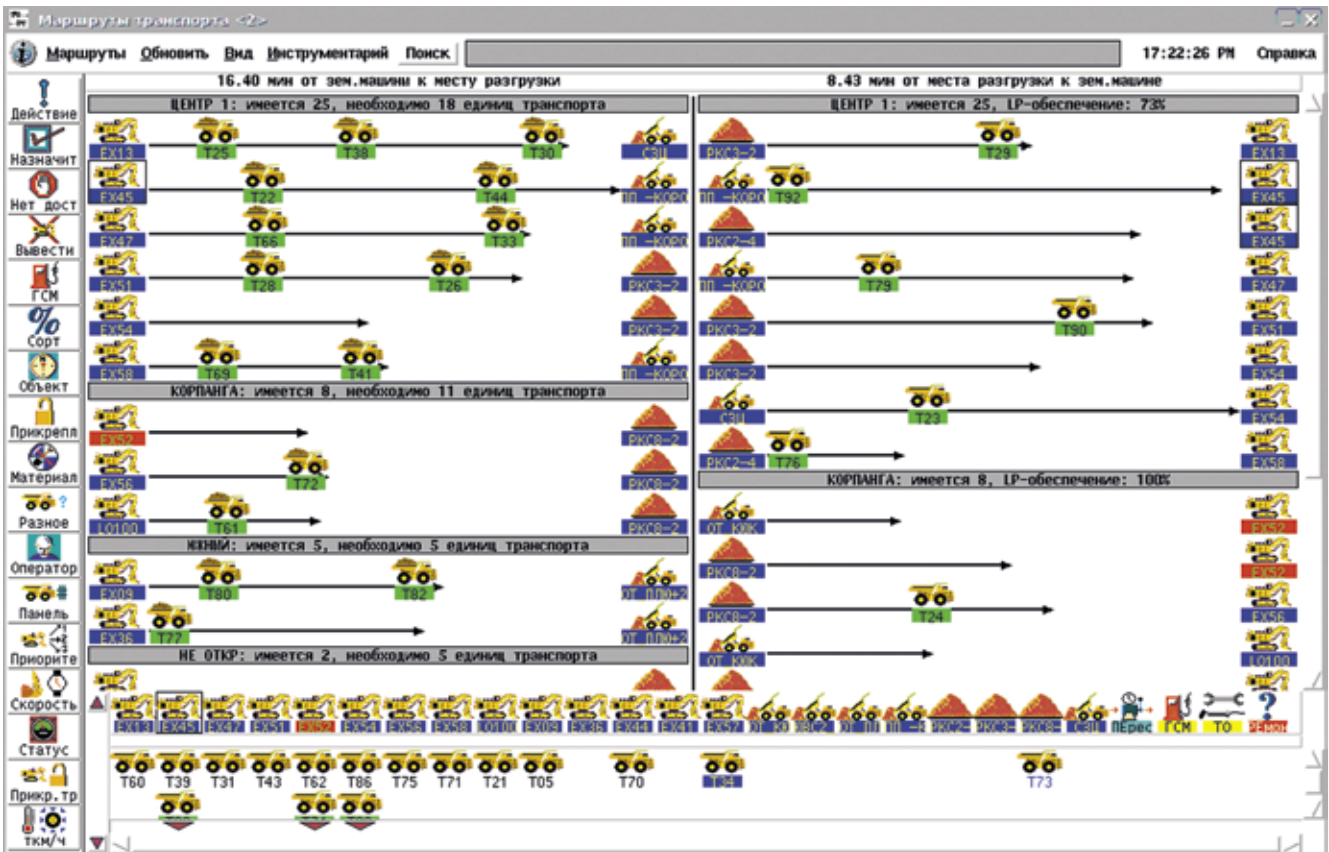


Рис. 5. Окно маршрутов транспорта в системе DISPATCH

Fig. 5. Window of transport routes in the DISPATCH system

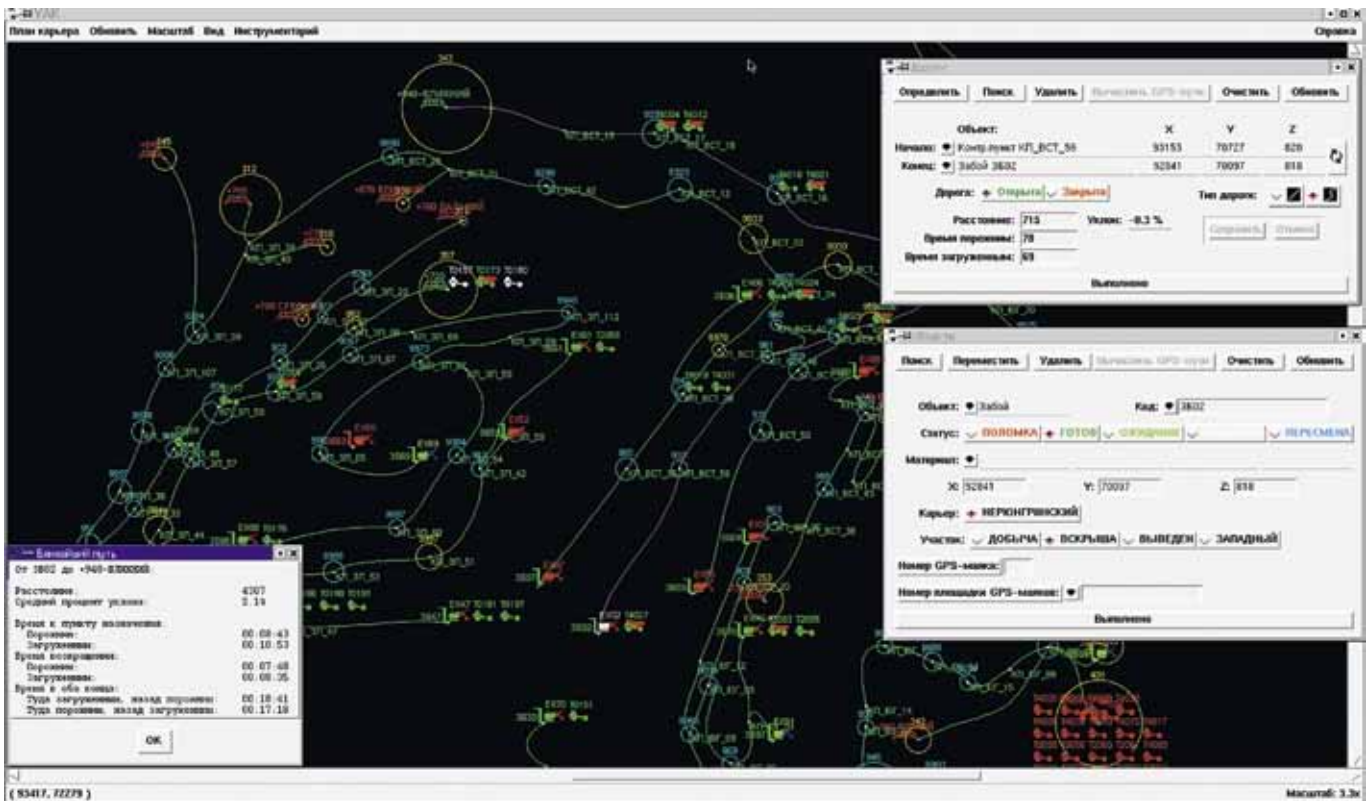


Рис. 6. Окно плана карьера в виде карты в системе DISPATCH
 Fig. 6. Pit plan window in the form of a map in the DISPATCH system

Компания Caterpillar предоставляет самый полный в отрасли пакет программ для автоматизированного управления технологическими комплексами карьеров Cat MineStar. Он состоит из нескольких систем, вместе позволяющих достичь полной автоматизации деятельности горнотранспортного комплекса.

Cat MineStar – наиболее разносторонняя и полностью интегрированная система управления работой карьера и мобильного оборудования во всей добывающей отрасли. Технологии Cat MineStar позволяют отслеживать, контролировать и управлять всеми техническими средствами, обеспечивая обзор состояния парка машин, вплоть до отдельных деталей. Пакет Cat MineStar состоит из отдельных систем, вместе позволяющих достичь полной автоматизации:

- Fleet автоматически оптимизирует распределение самосвалов по пунктам погрузки и разгрузки в привязке к установленной целевой задаче;
- Terrain обеспечивает высокоточное управление работой экскаваторов и погрузчиков, буровых установок, драглайнов, грейдеров и бульдозеров с помощью высокоточной навигации, что позволяет увеличить производительность машины и эффективность ее использования за счет обратной связи с ней в реальном времени;
- Detect позволяет контролировать слепые зоны самосвала с помощью видеокамер, радаров и контроля сближения по датчикам GPS;
- Health отслеживает состояние жизненно важных систем машины и ее производительности и выдает полученную информацию в виде графиков, таблиц, диаграмм с це-

лю прогнозированию крупных поломок и предотвращению их путем принятия превентивных мер;

- Command обеспечивает дистанционное, полуавтоматическое и автоматическое управление горными машинами [14].

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Таким образом, на основе анализа перечисленных разработок российских и зарубежных компаний возможно определить эффективное схемное решение ЦСД УК в части аппаратного и программного обеспечения.

Обоснование схемного решения ЦСД УК в части аппаратного обеспечения

Исходя из опыта рассмотренных ранее технологий, используемых в автоматизированных системах горнотранспортного комплекса, были выделены шесть основных подсистем ЦСД УК: вычислительный комплекс, система связи, система мониторинга, система автоматизированного места диспетчера, система автоматизированного места оператора, система автономного питания [10, 11, 12, 13, 14, 15].

Вычислительный комплекс

Данная подсистема является базовой и отвечает за хранение, обработку и анализ данных, полученных от других подсистем и от беспилотного карьерного самосвала. Указанные процессы реализуются за счет наличия вычислительного блока и программного комплекса, а также храни-

лица данных. Мощность вычислительного блока должна быть достаточной для обработки данных и визуализации программных модулей в режиме реального времени. Вычислительный блок традиционно состоит из центрального графического процессора, видеокарты, материнской платы, хранилища данных, блока питания и вспомогательных объектов (корпуса, системы охлаждения и др.). Особенно-стью вычислительного комплекса также является наличие резервного хранилища программного обеспечения для быстрого возобновления работы в случае отказа основного хранилища как реализовано в системе DISPATCH [10].

Вычислительный комплекс реализует серверную часть распределенной архитектуры сети. Это позволяет сосредоточить логику работы системы на одном мощном устройстве, которое будет сконфигурировано именно для этого. Такой подход позволяет обеспечить более эффективное масштабирование сетевой структуры в плане увеличения числа пользователей [16, 17, 18]. Взаимодействие с пользователями системы производится путем реализации клиентских систем, каждая из которых предназначена для осуществления определенных функций.

Система связи

Данная подсистема представлена во всех рассмотренных выше проектах, она предполагает реализацию набора оборудования для обеспечения беспроводного соединения вычислительного комплекса и всех беспилотных карьерных самосвалов. Оборудование, входящее в систему связи, включает точки доступа и антенны, способные работать в частотных диапазонах 2,4 и 5 ГГц [19, 20].

Система мониторинга

Система мониторинга предназначена для обеспечения только визуального контроля за деятельностью, происходящей в карьере. Выделение подобной подсистемы позволяет снизить стоимость расширения числа наблюдателей, не имеющих необходимости в непосредственном взаимодействии с ЦСД УК. Она состоит из набора мониторов, отображающих видеоданные от системы технического зрения беспилотного карьерного самосвала и окон пользовательского интерфейса, а также из микрокомпьютера, обрабатывающего подключение к серверу [13, 14, 15].

Система автоматизированного места диспетчера

Данная подсистема расширяет возможности вышеупомянутой подсистемы мониторинга и позволяет взаимодействовать с пользовательским интерфейсом посредством клавиатуры и компьютерной мыши. Вследствие этого пользователь подсистемы может настраивать компоненты интерфейса для повышения удобства выполнения определенных задач диспетчеризации, а также посылать определенные сигналы системе беспилотного движения или другим пользователям.

Система автоматизированного места оператора

Она предназначена для осуществления ручного дистанционного управления, когда оператору необходимо взять контроль за исполнительными устройствами беспилотного карьерного самосвала в случае возникновения исклю-

чительных ситуаций. Функции управления и базовый состав реализуются аналогично разработке БелАЗ с включением пульта управления, мониторов и вычислительного устройства для взаимодействия с сервером [4, 5].

Система автономного питания

Для удовлетворения условию автономности работы и возможности сохранения информации при переносимости программно-аппаратного комплекса целесообразно использовать автономные источники питания – аккумуляторы и генераторы.

Программный комплекс

Отдельно необходимо выделить Программный комплекс ЦСД УК, который может быть основан на технологиях описанных ранее проектов ввиду выполнения аналогичных задач: контроль всех видов работ; контроль состояния транспортных средств; оптимизация деятельности и др. Анализ существующих разработок позволил выделить несколько базовых программных компонентов, которые должны входить в Программный комплекс.

Компонент для сбора и распределения данных. Этот компонент реализует процесс, описанный в [2], позволяет организовать надежную и прозрачную выгрузку всех необходимых данных от беспилотного карьерного самосвала, а также разместить эти данные в базу данных в удобном для дальнейшего использования виде.

Компонент для взаимодействия с базой данных, содержит все алгоритмы обращения к системе управления базами данных, что позволяет в случае замены или обновления последней не затрагивать алгоритмы других компонентов.

Компонент для построения и визуализации картографической информации. Карты используются во всех рассмотренных системах диспетчеризации, так как позволяют удобно наблюдать за общей ситуацией и деятельностью всех транспортных средств.

Компонент для отслеживания состояния всех беспилотных карьерных самосвалов. Аналогично системе Health пакета Cat MineStar (а также похожих модулей других систем) данный компонент проводит анализ состояния органов управления, программных модулей и других элементов беспилотного карьерного самосвала на основе полученных данных.

Компонент пользовательского интерфейса. Данный компонент отвечает за визуализацию окон, графиков, отчетов и другой информации, необходимой для организации контроля и управления оператором системы. Набор окон аналогичен списку модулей DISPATCH [7].

Компонент оптимизации. Данный компонент также является во всех описанных выше разработках, он отвечает за построение оптимальных маршрутов для беспилотного карьерного самосвала с целью экономии времени, топлива и других параметров технологического цикла [15-17].

Компонент для мониторинга систем ЦСД УК, включая оценку качества беспроводной связи, состояния источников питания, оборудования бортового вычислительного комплекса, состояния программного обеспечения и т.д. Мониторинг позволяет повысить надежность системы и оперативно принять меры по исправлению неполадок.

Компонент для конфигурации программной системы. Данный компонент позволяет настроить управляемые параметры других программных компонентов, а также отвечает за настройку прав доступа и предпочтений пользователей при многопользовательской работе, отмеченной в системах «Карьер» и DISPATCH.

Компонент для обработки команд ручного и автоматического управления самосвалами. Организацию связи с беспилотным карьерным самосвалом целесообразно выделить в отдельный модуль. Кроме того, необходимо реализовать алгоритмы корректировки управляющих сигналов.

Формирование требований к системам ЦСД УК

Основные предпосылки для проведения исследований в области создания ЦСД УК были представлены в работах [8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15]. Для разработки схемного решения необходимо сформировать требования как к ЦСД УК, так и к отдельным ее подсистемам. Основываясь на опыте применения существующих разработок в направлении автоматизации диспетчеризации и разработок, представленных в работах [12, 13], разрабатываемая ЦСД УК должна отвечать следующим требованиям:

- обеспечение непрерывного соединения с системой базы данных карьерного самосвала для обмена данными;
- своевременная сигнализация и оповещение об опасности столкновений беспилотного карьерного самосвала, возможных наездов, приближении к опасным зонам, нарушений технологических параметров и режимов эксплуатации беспилотного карьерного самосвала;
- непрерывное отслеживание координат и скоростей движения беспилотного карьерного самосвала с отображением навигационных параметров и точности позиционирования на терминалах операторов;
- обеспечение автоматизированного режима комплексного управления объектами горнотранспортного

комплекса с применением оптимизирующих алгоритмов на основе руководящей информации (планов, сменно-суточных заданий) и с учетом изменяющейся обстановки, получаемой в режиме реального времени от телеметрической аппаратуры системы и от других источников;

- непрерывный контроль расходования топлива и электроэнергии беспилотным карьерным самосвалом;
- обеспечение доступа пользователей только к тем данным, которые необходимы им для выполнения своих служебных обязанностей, т.е. предусматривать разграничение доступа к информации на основе ролей и прав пользователей;
- наличие распределенной архитектуры компьютерной сети ЦСД УК, состоящей из центральной серверной части и набора клиентов;
- устойчивость к вредным факторам воздействия специфических промышленных условий эксплуатации;
- автономность работы системы, независимость от внешних источников питания;
- наличие автоматического и автоматизированного интерфейса с действующей системой автоматизированного планирования и проектирования горных работ, компьютерной системой геолого-маркшейдерского обслуживания и т.п.

Кроме этого, были сформированы требования к отдельным подсистемам ЦСД УК, которые представлены в таблице.

Отдельно были сформированы функциональные требования к программному обеспечению ЦСД УК, которое должен обеспечивать:

- непрерывное получение данных от систем беспилотного движения карьерного самосвала;
- непрерывное получение данных от устройств управления органами управления карьерным самосвалом;
- отправление команд управления системе беспилотного движения;

Требования к подсистемам ЦСД УК

Requirements for subsystems DSK CC

| Название подсистемы | Требования |
|-----------------------------------|---|
| Система вычислительного комплекса | <ul style="list-style-type: none"> – обеспечение непрерывной, стабильной и высокопроизводительной работы с установленным программным обеспечением; – достаточный уровень производительности сервера для обслуживания всех клиентов с запасом на случай расширения сети; – наличие защиты от неблагоприятных условий среды: высоких температур, пыли, влаги и т.п.; – достаточный объем хранилища данных для обеспечения работы программного комплекса, а также для реализации «зеркалирования». |
| Система связи | <ul style="list-style-type: none"> – обеспечение передачи данных в режиме реального времени; – возможность работы на достаточном расстоянии для стабильного обмена данными со всеми беспилотными карьерными самосвалами; – совместимость точек доступа со стандартами IEEE 802.11b, 802.11g и 802.11a; – поддержка протоколов защиты данных беспроводных ЛВС IEEE 802.11i, WPA и WPA2 на аппаратном уровне. |
| Система автономного питания | <ul style="list-style-type: none"> – независимость от внешних источников питания; – обеспечение питания системы на необходимое время ее работы; – обеспечение необходимой надежности (бесперебойности) питания, соответствующего качества электроэнергии (допустимые отклонения и колебания напряжения, несинусоидальность формы кривой, пульсация напряжения); – безопасность обслуживания; – выходное напряжение 220 В; – наличие датчиков, позволяющих оценить качество работы источников питания. |

| Название подсистемы | Требования |
|---|---|
| Система мониторинга | – возможность передачи пользователю графической информации посредством дисплеев; – непрерывное беспроводное подключение к вычислительному комплексу; – непрерывное отображение информации, полученной от вычислительного комплекса; – достаточное качество дисплея и совместимость ПО для исключения неправильной интерпретации переданных визуальных элементов. |
| Система автоматизированного рабочего места диспетчера | – возможность взаимодействия пользователя с визуальным интерфейсом посредством устройств ввода (компьютерной мыши и клавиатуры); – безопасное отправление введенных пользователем команд и сформированных запросов на сервер. Кроме этого, система также должна отвечать требованиям, сформированным к системе мониторинга. |
| Система автоматизированного рабочего места оператора | – наличие устройств ввода команд управления исполнительными устройствами БКС, достаточных для организации управления всеми необходимыми аппаратными компонентами, в том числе наличие устройств для аварийной остановки БКС; – размещение оборудования таким образом, который позволяет обеспечить имитацию кабины водителя БКС, в том числе при помощи технологий виртуальной реальности; – наличие аудиосистемы для прослушивания двигателя БКС; – наличие достаточного количества дисплеев для обеспечения одновременного обзора как обстановки вокруг управляемого БКС, так и пользовательского интерфейса. Кроме этого, система также должна отвечать требованиям, сформированным к АРМ диспетчера. |

– непрерывное определение текущего местоположения, скорости и направления движения всех беспилотных карьерных самосвалов;

– непрерывное определение текущего состояния всех беспилотных карьерных самосвалов, включая массу перевозимой горной массы, наличие топлива, износ оборудования, статус программных и аппаратных компонентов системы базы данных;

– построение, хранение и редактирование интерактивной карты местности с отображенными на ней рельефом, дорогами, транспортными средствами и прочими объектами;

– оптимальное распределение порожних и груженых самосвалов к погрузочным и разгрузочным пунктам и возможность перераспределения;

– контроль выполнения сменного задания каждым автосамосвалом (экскаватором, погрузчиком);

– формирование внутрисменной информации, необходимой для оптимизации работы автосамосвалов;

– учет выполненной работы за смену, сутки, месяц и т. д.;

– сохранение информации о предыдущей деятельности всех беспилотных карьерных самосвалов;

– наличие пользовательского интерфейса для отображения карты, отчетов, настроек и другой информации;

– возможность одновременного вывода нескольких окон пользовательского интерфейса.

Архитектура программного обеспечения АРМ оператора должна быть построена на основе схемы использования шаблона проектирования – паттерна «модель-представление-контроллер» (MVC). В программном обеспечении АРМ оператора должны быть разделены бизнес-логика и ее виртуализация (представление). Под моделью понимается часть, содержащая в себе функциональную бизнес-логику приложения. Модель должна быть полностью независима от остальных частей продукта. Модельный слой не должен обладать информацией об элементах дизайна и способах его отображения пользователю. В обязанности представления должно входить отобра-

жение данных, полученных от модели. Однако представление не должно напрямую влиять на модель. Представление должно обладать доступом к данным «только для чтения». Представление не должно реализовывать соответствующий интерфейс.

Выбранный язык программирования должен удовлетворять следующим требованиям:

– многопоточность должна поддерживаться как минимум в рамках возможности создания одновременно выполняющихся потоков в количестве, равном количеству процессоров;

– типизация должна обладать строгостью, но являться динамической;

– система типов должна быть полностью расширяемой;

– пользовательские типы данных не должны отличаться от встроенных в программный комплекс.

Расширение системы типов не должно существенно сказываться на быстродействии программ, использующих только стандартные типы.

Хранение данных различного типа должно осуществляться посредством использования базы данных либо в файлах. Для работы с базой данных должна использоваться совокупность программных и лингвистических средств общего назначения, обеспечивающих управление созданием и использованием баз данных.

Разработка схемного решения структуры ЦСД УК

На основании выявленных особенностей, существующих автоматизированных систем управления и диспетчеризации угольных предприятий было разработано схемное решение ЦСД УК (рис. 7), отвечающее сформированным требованиям как к самой системе, так и к ее подсистемам. В представленной схеме ЦСД УК выделены компоненты, относящиеся к аппаратным и программным средствам. Для обеспечения функционирования всех систем между собой необходимо программное обеспечение, которое представляет собой отдельную подсистему – Программный комплекс. Он является частью вычислительно-

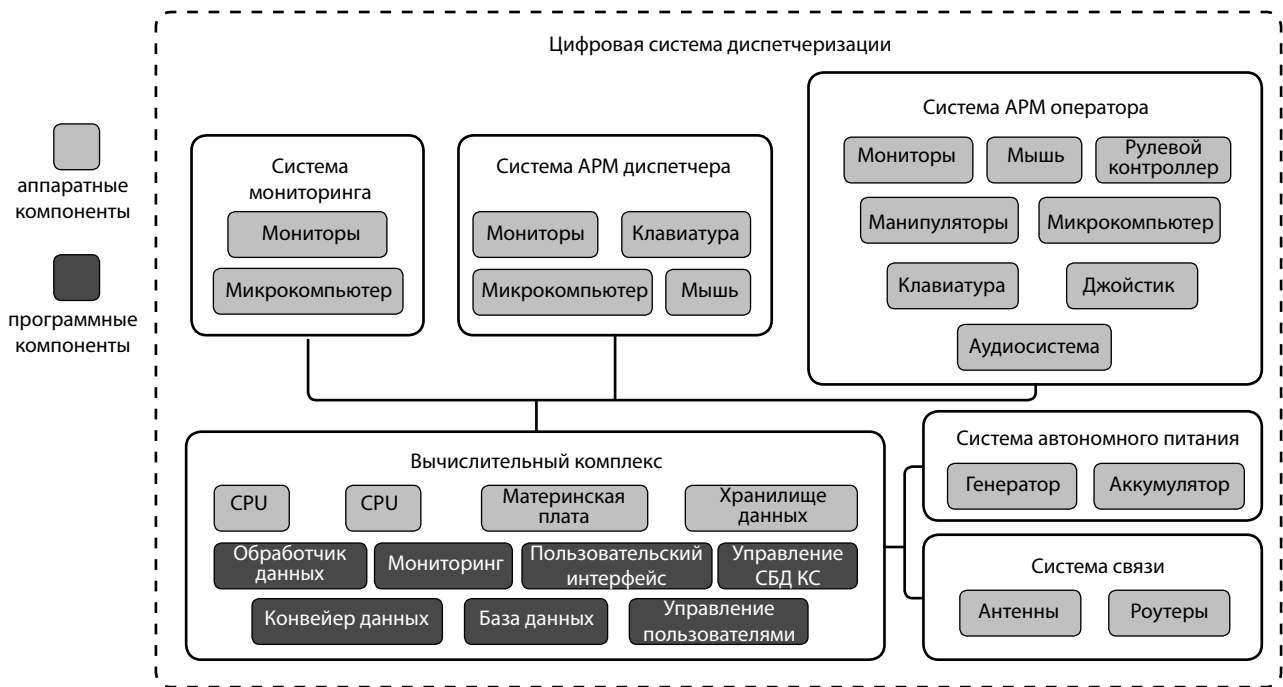


Рис. 7. Схемное решение ЦСД УК

Fig. 7. Circuit design DSK CC

го комплекса и в разрабатываемой ЦСД УК должен состоять из семи основных компонентов.

Конвейер данных. Предназначен для реализации процесса Extract-Transform-Load [11], целью которого является устранение несовместимости между источником (система баз данных карьерных самосвалов) и приемником (ЦСД УК) данных. Данный компонент получает данные от всех беспилотных карьерных самосвалов и преобразует их в необходимый формат для дальнейшей загрузки в базу данных и использования в программных модулях. Кроме того, данный компонент сигнализирует о состоянии соединения и связи с самосвалами.

База данных. Данный компонент содержит систему управления базами данных, а также заранее подготовленные запросы для управления информацией, содержащейся в базе данных. К данному компоненту обращаются все другие компоненты, производящие обработку данных. Среди содержащейся в базе данных информации можно выделить: записи о состоянии, целях и задачах, а также истории деятельности каждого транспортного средства; данные о работе ЦСД УК и отдельного пользователя; параметры настроек отдельных программных модулей и др.

Управление беспилотным карьерным самосвалом. Данный компонент предназначен для обработки сигналов, полученных от устройств ручного управления беспилотным карьерным самосвалом: рулевого контроллера, пульта управления и джойстика. Входящие сигналы проверяются на корректность и посылаются к управляемому транспортному средству. Кроме этого, данный компонент отправляет автоматические сигналы на основе стратегий поведения, рассчитанных вычислительным комплексом.

Обработчик данных. Данный компонент содержит алгоритмы для обработки данных, находящихся в базе дан-

ных, с целью нахождения оптимальных стратегий управления автосамосвалами, включающих распределение их работы с учетом данной местности, затрат времени и топлива, износ аппаратуры, занятость экскаваторов и др. факторы. Кроме этого, обработчик данных занимается управлением данными, связанными с интерактивной картой местности, на которой работают беспилотные карьерные самосвалы, а также связанными с предоставлением отчетов пользователю о состоянии карьерного транспорта, эффективности их работы и др.

Пользовательский интерфейс. Предназначен для управления отображением различных окон, включая интерактивную карту, отчеты о состоянии карьерного самосвала и об эффективности деятельности, параметры настроек и др.

Мониторинг. Предназначен для сбора информации и оценки состояния всех систем ЦСД УК, включая аппаратные и программные компоненты. Впоследствии эти данные выводятся на экран для осведомления оператора о неполадках в системе, а также отслеживания состояния всех систем.

Управление пользователями. Данный компонент предназначен для управления пользовательскими настройками, а также распределением прав доступа при необходимости работы с учетом назначенных прав доступа.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенный анализ существующих автоматизированных систем диспетчеризации горнотранспортного комплекса позволил выявить их достоинства и недостатки как в плане организационной структуры, так и программного обеспечения взаимодействия их компонент. В результате проведенных научных исследований были выявлены системы, из которых должна состоять ЦСД УК, пред-

ставляющая собой сложную автоматизированную систему управления.

На основании выделенных передовых технологий разработки автоматизированных систем горнотранспортного комплекса, сформированных требований к системам диспетчеризации и его программному обеспечению было разработано схемное решение ЦСД УК, определены семь компонентов Программного комплекса, а также сформировано их функциональное назначение, обеспечивающее работоспособность всей ЦСД УК.

Направлением дальнейших исследований являются разработка алгоритмов взаимодействия компонентов, входящих в структуру цифровой системы диспетчеризации, как между собой, так и с внешними системами, а также проектирование конструктивного решения ЦСД УК.

Список литературы

1. Современные системы управления горнотранспортными комплексами / К.Н. Трубецкой, А.А. Кулешов, А.Ф. Клебанов и др. СПб.: Наука, 2007. 306 с.
2. Владимиров Д.Я., Клебанов А.Ф., Перепелицын А.И. Система диспетчеризации «Карьер»: от мониторинга большегрузных автосамосвалов к управлению горнотранспортным комплексом и оптимизации работ в карьере // Горная промышленность. 2004. № 4.
3. Официальный сайт Цифра/ВИСТ. URL: <https://www.zyfra.com/ru/industries/mining/> (дата обращения: 15.11.2023).
4. Клебанов Д.А., Кузнецов И.В., Бигель Н.В. Принципы построения системы дистанционного и автономного управления карьерным самосвалом // Горная промышленность. 2013. № 4. С. 8-13.
5. Использование системы диспетчерского управления для повышения производительности работы автосамосвалов (на примере угольного разреза) / А.В. Федорина, А.А. Шаронова, Н.А. Осинцев и др. // Современные проблемы транспортного комплекса России. 2015. Т. 5. № 1. С. 29-33.
6. Клебанов Д.А., Кузнецов И.В., Бигель Н.В. Принципы построения системы дистанционного и автономного управления карьерным самосвалом // Горная промышленность. 2013. № 4. С. 8.
7. Официальный сайт Modular Mining Systems. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.modularmining.com/ru/> (дата обращения: 15.11.2023).
8. Аппарат вейвлет-преобразований в автоматизированной системе управления перемещением карьерных беспилотных транспортных средств / И.В. Чичерин, Б.А. Федосенков, И.С. Сыркин и др. // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. 2021. № 3. С. 106-114. DOI: 10.21440/0536-1028-2021-3-106-114.
9. Чичерин И.В., Федосенков Б.А. Формирование сигналов текущих траекторий в автоматизированной системе модального управления движением беспилотных транспортных средств в условиях открытых горных работ // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Управление, вычислительная техника и информатика. 2021. № 4. С. 35-44. DOI: 10.24143/2072-9502-2021-4-35-44.
10. Чичерин И.В., Федосенков Б.А., Динамическое модальное управление движением беспилотных транспортных средств в условиях открытых горных работ // Науки о Земле и недропользование. 2021. Т. 44. № 3. С. 271-284. DOI: 10.21285/2686-9993-2021-44-3-271-284.
11. Диспетчеризация в карьерных экскаваторно-автомобильных комплексах с беспилотным транспортом / Ю.Е. Воронов, А.Ю. Воронов, Д.М. Дубинкин и др. // Уголь. 2023. № 9. С. 75-83. DOI: 10.18796/0041-5790-2023-9-75-83.
12. Воронов А.Ю., Дубинкин Д.М., Воронов Ю.Е. Обзор моделей диспетчеризации карьерного автотранспорта // Горная промышленность. 2022. № 6. С. 111-121. DOI: 10.30686/1609-9192-2022-6-111-121.
13. The wavelet transforms technique in the computer-aided system for controlling the quarry unmanned vehicles / I.V. Chicherin, B.A. Fedosenkov, D.M. Dubinkin et al. / E3S Web of Conferences: V1th International Innovative Mining Symposium, Kemerovo, 19-21 October 2021. Vol. 315. Kemerovo: EDP Sciences, 2021. P. 03022.
14. Developing the concept of autonomous control of the quarry vehicles movement / I.V. Chicherin, B.A. Fedosenkov, D.M. Dubinkin et al. / E3S Web of Conferences: V1th International Innovative Mining Symposium, Kemerovo, 19-21 October 2021. Vol. 315. Kemerovo: EDP Sciences, 2021. P. 03023. DOI: 10.1051/e3sconf/202131503023.
15. Обзор систем безлюдных грузовых перевозок на карьерах / А.Ю. Воронов, Ю.Е. Воронов, И.С. Сыркин и др. // Уголь. 2022. № S12. С. 30-36. DOI: 10.18796/0041-5790-2022-S12-30-36.
16. Цифровизация открытого способа добычи угля на основе структурного сдвига технологического уклада / Б.Г. Шелегеда, М.Н. Корнев, Н.В. Погоржельская и др. // Вестник НГУЭУ. 2019. № 2. С. 226-242. DOI: 10.34020/2073-6495-2019-2-226-242.
17. Официальный сайт Caterpillar. URL: <https://www.caterpillar.com/ru.html> (дата обращения: 15.11.2023).
18. Что такое распределенные вычисления? Amazon Web Services. [Электронный ресурс]. URL: <https://aws.amazon.com/ru/what-is/distributed-computing/> (дата обращения: 15.11.2023).
19. Наговицын О.В., Лукичев С.В. Горно-геологические информационные системы, область применения и особенности построения // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2016. № 7. С. 71-83.
20. Толмачев А. Как ETL-процессы помогают анализировать большие данные. [Электронный ресурс]. URL: <https://practicum.yandex.ru/blog/chto-takoe-etl/> (дата обращения: 15.11.2023).

Original Paper

UDC 622.23.05, 622.013.3 © I.S. Syrkin, D.M. Dubinkin, V.Yu. Sadovets, 2023
ISSN 0041-5790 (Print) • ISSN 2412-8333 (Online) • Ugol' – Russian Coal Journal, 2023, № S12, pp. 20-31
DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2023-S12-20-31>

Title

JUSTIFICATION OF THE CIRCUIT DESIGN OF A DIGITAL DISPATCH SYSTEM FOR A COAL OPEN-PIT MINES

Authors

Syrkin I.S.¹, Dubinkin D.M.¹, Sadovets V.Yu.¹

¹T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, Kemerovo, 650000, Russian Federation

MINING EQUIPMENT

Authors Information

Syrkin I.S., PhD (Engineering), Associate Professor of the Department of Information and Automated Production Systems, e-mail: syrkin@kuzstu.ru
Dubinkin D.M., PhD (Engineering), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Mining Machines and Complexes, e-mail: ddm.tm@kuzstu.ru
Sadovets V.Yu., PhD (Engineering), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Information and Automated Production Systems, e-mail: svyu.pmh@kuzstu.ru

Abstract

The article presents the rationale for the schematic design of a digital dispatch system for a coal mine, which is an automated control system for the mining and transport complex during mineral extraction. For this purpose, leading global and domestic developers of automation systems for the dispatch process at a coal enterprise were identified and the main advantages and disadvantages of these systems were identified. In addition, functional and structural diagrams of the interaction of subsystems of existing automated solutions for quarry transport dispatch control systems are presented. Based on the experience of developing the considered technologies used in the creation of automated systems for the mining and transport complex, six main subsystems were identified, which should comprise the developed digital dispatch system for a coal mine. The need to develop each of the subsystems of the digital coal mine dispatch system is determined by its functional purpose. For this purpose, the composition of the equipment and components has been preformed, which must be included in the structure of the system and ensure the uninterrupted and reliable functioning of the entire digital dispatch system. Based on the identified advanced technologies for the development of automated systems for the mining and transport complex, the formed requirements for dispatch systems and its software, a circuit design for a digital dispatch system for a coal mine was developed. At this stage of development and research, the formulated aspects of creating automated dispatch systems make it possible to evaluate the functionality of structural units and determine the hardware and information relationship between them. The direction of further research is the development of algorithms for the interaction of the components included in the structure of the digital dispatch system, both among themselves and with external systems, as well as the design of a constructive solution for the digital dispatch system for a coal mine.

Keywords

Mining, Open pit mining, Dispatch system, Software, Unmanned mining dump truck.

References

1. Trubetskoy K.N., Kuleshov A.A., Klebanov A.F. & Vladimirov D.Ya. Modern control systems for mining transport complexes. St. Petersburg, Nauka Publ., 2007, 306 p. (In Russ.).
2. Vladimirov D.Ya., Klebanov A.F. & Perepelitsin A.I. Dispatch system "Quarry": from monitoring heavy-duty dump trucks to managing the mining transport complex and optimizing work in the quarry. *Gornaya promyshlennost*, 2004, (4). (In Russ.).
3. Official website Digital/VIST. Available at: <https://www.zyfra.com/ru/industries/mining/> (accessed 15.11.2023). (In Russ.).
4. Klebanov D.A., Kuznetsov I.V. & Bigel N.V. Principles of constructing a system for remote and autonomous control of a mining dump truck. *Gornaya promyshlennost*, 2013, (4), pp. 8-13. (In Russ.).
5. Fedorina A.V., Sharonova A.A., Osintsev N.A. & Pytalev I.A. Using a dispatch control system to increase the productivity of dump trucks (using the example of a coal mine). *Sovremennye problemy transportnogo kompleksa Rossii*, 2015, Vol. 5, (1), pp. 29-33. (In Russ.).
6. Klebanov D.A., Kuznetsov I.V. & Bigel N.V. Principles of constructing a system for remote and autonomous control of a mining dump truck. *Gornaya promyshlennost*, 2013, (4), pp. 8. (In Russ.).
7. Official website of Modular Mining Systems. Available at: <https://www.modularmining.com/ru/> (accessed 15.11.2023).
8. Chicherin I.V., Fedosenkov B.A., Syrkin I.S., Sadovets V.Yu. & Dubinkin D.M. Wavelet transform apparatus in an automated control system for the movement of quarry unmanned vehicles. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Gornyy zhurnal*, 2021, (3), pp. 106-114. (In Russ.). DOI: 10.21440/0536-1028-2021-3-106-114.

9. Chicherin I.V., Fedosenkov B.A. Formation of signals of current trajectories in an automated modal control system for the movement of unmanned vehicles in open-pit mining // Bulletin of the Astrakhan State Technical University. Series: Management, computer technology and information science. 2021. No. 4. P. 35-44. (In Russ.). DOI: 10.21443/2072-9502-2021-4-35-44.
10. Chicherin I.V., Fedosenkov B.A. Dynamic modal control of the movement of unmanned vehicles in open-pit mining // Earth Sciences and Subsoil Use. 2021. Vol. 44, No. 3(76). pp. 271-284. (In Russ.). DOI: 10.21285/2686-9993-2021-44-3-271-284.
11. Voronov Yu.E., Voronov A.Yu., Dubinkin D.M. & Maksimova O.S. Dispatching in truck-shovel systems with unmanned transport at open-pit mines. *Ugol*, 2023, (9), pp. 75-83. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2023-9-75-83.
12. Voronov A.Yu., Dubinkin D.M., Voronov Yu.E. Review of dispatch models for quarry vehicles. *Gornaya promyshlennost*, 2022, (6), pp. 111-121. (In Russ.). DOI: 10.30686/1609-9192-2022-6-111-121.
13. Chicherin I.V., Fedosenkov B.A., Dubinkin D.M. & Zhenbo W. The wavelet transforms technique in the computer-aided system for controlling the quarry unmanned vehicles. E3S Web of Conferences. VIth International Innovative Mining Symposium, Kemerovo, 19–21 October 2021, Vol. 315. Kemerovo, EDP Sciences, 2021, 03022.
14. Chicherin I.V., Fedosenkov B.A., Dubinkin D.M. & Zhenbo W. Developing the concept of autonomous control of the quarry vehicles movement. E3S Web of Conferences. VIth International Innovative Mining Symposium, Kemerovo, 19–21 October 2021, Vol. 315. Kemerovo, EDP Sciences, 2021, 03023. DOI: 10.1051/e3sconf/202131503023.
15. Voronov A.Yu., Voronov Yu.E., Syrkin I.S., Nazarenko S.V. & Yunusov I.F. A review of unmanned haulage systems at open-pit mines. *Ugol*, 2022, (S12), pp. 30-36. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2022-S12-30-36.
16. Shelegeda B.G., Kornev M.N., Pogorzhefskaya N.V., Russiyan S.A. & Neklyudova V.L. Digitalization of the open method of coal mining based on a structural shift in the technological structure. *Vestnik NGUEU*, 2019, (2), pp. 226-242. (In Russ.). DOI: 10.34020/2073-6495-2019-2-226-242.
17. Official website of Caterpillar. [Electronic resource]. Available at: <https://www.caterpillar.com/ru.html> (accessed 15.11.2023).
18. What is distributed computing? Amazon Web Services. [Electronic resource]. Available at: <https://aws.amazon.com/ru/what-is/distributed-computing/> (accessed 15.11.2023).
19. Nagovitsyn O.V. & Lukichev S.V. Mining and geological information systems, scope and design features. *Gornyy informatsionno-analyticheskij zhurnal*, 2016, (7), pp. 71-83. (In Russ.).
20. Tolmachev A. How ETL processes help analyze big data. [Electronic resource]. Available at: <https://practicum.yandex.ru/blog/chto-takoe-etl/> (accessed 15.11.2023).

Acknowledgements

This work was financially supported by the Ministry of Science and Higher Education of Russian Federation under Agreement № 075-15-2022-1198 dated 30.09.2022 with the Gorbachev Kuzbass State Technical University on complex scientific and technical program of full innovation cycle: "Development and implementation of complex technologies in the areas of exploration and extraction of solid 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" (the "Clean Coal – Green Kuzbass" Integrated Scientific and Technical Programme of the Full Innovation Cycle) as part of implementing the project "Development and creation of an unmanned shuttle-type mine truck with a payload of 220 tonnes" in terms of research, development and experimental-design work.

For citation

Syrkin I.S., Dubinkin D.M. & Sadovets V.Yu. Justification of the circuit design of a digital dispatch system for a coal open-pit mines. *Ugol*, 2023, (S12), pp. 20-31. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2023-S12-20-31.

Paper info

Received November 1, 2023

Reviewed November 15, 2023

Accepted November 30, 2023

Обоснование необходимости нормирования выбросов мелкодисперсных частиц, образующихся в результате деятельности горнодобывающих предприятий *

DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2023-S12-32-37>

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

БЕГЛОВ Д.Е.

Министр здравоохранения Кузбасса, 650064, г. Кемерово, Россия, e-mail: depart@kuzdrav.ru

ГАДЖИЕВА Л.А.-С.

Младший научный сотрудник Института проблем комплексного освоения недр имени академика Н.В. Мельникова РАН; 111020, г. Москва, Россия, e-mail: gadzhieva_l@ipkonran.ru

В статье приведены результаты анализа данных о влиянии предприятий горнодобывающей отрасли на уровень загрязнения воздуха частицами PM_{10} и $PM_{2.5}$. Оценены риски воздействия на организм человека мелкодисперсных частиц, образующихся в ходе эксплуатации месторождений. Обоснована необходимость нормирования выбросов частиц PM_{10} и $PM_{2.5}$ предприятиями по добыче и переработке полезных ископаемых

Ключевые слова: выбросы загрязняющих веществ, горная экология, $PM_{2.5}$, PM_{10} , качество воздуха, пыль, аэрозоли, предельно допустимая концентрация.

Для цитирования: Захаров В.Н., Беглов Д.Е., Гаджиева Л.А.-С. Обоснование необходимости нормирования выбросов мелкодисперсных частиц, образующихся в результате деятельности горнодобывающих предприятий // Уголь. 2023. № S12. С. 32-37. DOI: 10.18796/0041-5790-2023-S12-32-37.

ВВЕДЕНИЕ

Известно, что добыча и переработка полезных ископаемых оказывают негативное воздействие на окружающую среду. Горное производство оказывает наиболее широкое воздействие на биосферу, затрагивая практически все ее элементы: воздушный и водный бассейны, земную поверхность, недра, флору и фауну [1]. Еще в 1976 г. проф. В.Д. Горловым была предложена классификация техногенных нарушений природной среды в практике открытых горных работ с выделением двух видов нарушений: ландшафтные, включающие выработанные пространства, отвальные площади и земельные участки под промышленными объектами, и экологические, к которым автор относит изменение гидрогеологических условий района разработки, загрязнение прилегающих территорий воздушного и водного бассейнов, сейсмические нарушения [2]. Горнодобывающая промышленность оказывает на воздушный бассейн воздействие средней силы, вызывая загрязнение атмосферы техногенными аэрозолями. Анализ литературы свидетельствует о наличии корреляции между интенсивностью добычи, каче-

* Исследования проведены 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.

ством воздуха на прилегающих территориях в части содержания аэрозолей и степенью воздействия на организм человека [3, 4, 5, 6, 7, 8].

Масштабы запыленности во многом зависят от вида добываемого минерального сырья, объемов, способа добычи и ряда других факторов. Все основные виды горнодобывающей деятельности прямо или косвенно способствуют возникновению проблемы загрязнения воздуха аэрозолями. По данным исследования, проведенного *Mineral Planning Authorities* в Великобритании, вклад месторождений различных видов полезных ископаемых в общую запыленность воздуха варьируется в широких пределах и требует проведения мер по контролю и снижению уровня воздействия (рис. 1) [9]. Наибольшую опасность представляют месторождения магматического типа, угля и нерудных полезных ископаемых. Так, основными источниками пыли при разработке угольных разрезов являются такие технологические и природные процессы, как вскрышные работы, бурение, взрывные работы, погрузка, разгрузка, транспортирование, дробление и ветровая эрозия обнажений и отходов добычи [10].

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Пыль – это общий термин, используемый для описания мелких частиц, находящихся во взвешенном состоянии в атмосфере. Согласно Международной организации по стандартизации (*International Standardization Organisation*) и Британскому институту стандартов (*British Standard Institute*), пыль определяется как мелкие твердые частицы, обычно менее 75 мкм в диаметре, которые оседают под собственным весом, но могут оставаться во взвешенном состоянии в течение некоторого времени. В соответствии с принятой в отечественной угледобывающей отрасли терминологией [11], к рудничной или производственной пыли относится совокупность минеральных тонкодисперсных твердых частиц разнообразной формы, размера и физико-химических свойств, образующихся в процессе ведения горных работ и частично поступающих в шахту с поверхности, находившихся во взвешенном состоянии в рудничной атмосфере либо осевших на поверхности горных выработок.

Систематизация пыли производится по ряду признаков: размеру дисперсной фазы, способу воздействия на организм человека, механизму образования.

По степени дисперсности аэрозоли традиционно принято подразделять на:

- ультрадисперсные аэрозоли, или наночастицы с размерами в интервале 0,001-0,01 мкм;
- высокодисперсные аэрозоли (ВДА) с размерами частиц в интервале 0,01-0,1 мкм;

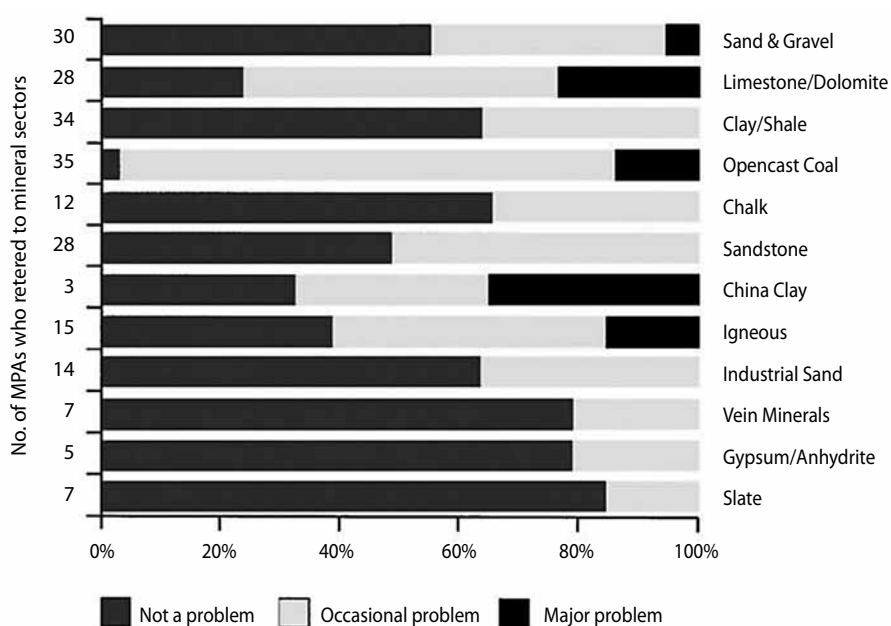


Рис. 1. Влияние вида добываемого полезного ископаемого на степень запыленности
 Fig. 1. Influence of the type of mined mineral on the degree of dust content

– среднedisперсные аэрозоли (иногда используется термин тонкодисперсные) с размерами частиц в интервале 0,1-10 мкм;

– грубодисперсные аэрозоли с размерами частиц в интервале 10-100 мкм.

В зарубежной практике принята классификация на четыре категории в зависимости от размера частиц: крупные, PM_{10} , $PM_{2,5}$ и PM_1 . Крупные частицы PM имеют размер 10 микрометров (мкм) или больше, тогда как PM_{10} и $PM_{2,5}$ состоят из частиц диаметром 10 и 2,5 мкм и менее соответственно [12,13] (рис. 2). Они образуются в результате целого ряда процессов: крупные частицы, размер которых превышает 2,5 мкм, но не превышает 10 мкм (PM_{10}), обычно выбрасываются из таких источников, как транспортные средства, движущиеся по грунтовым дорогам, операции по измельчению материалов, а также ветровая эрозия [14]. В работе [15] установлено, что в ходе ведения горных работ до 50% частиц, выбрасываемых в атмосферу, имеют размер менее 5 мкм.

В связи с потенциальной опасностью для здоровья работников горнодобывающих предприятий Европейским комитетом по стандартизации и Британским институтом стандартов установлена классификация пыли по механизму воздействия на организм человека: на общую выдыхаемую, торакальную, респираторную.

Многие негативные последствия для здоровья при воздействии твердых частиц связаны с их малым размером и способностью проникать в организм, перемещаться в дыхательные пути и легкие и даже попадать в кровотоки.

Кратковременное воздействие твердых частиц в течение нескольких часов или дней может усугубить заболевание легких, вызвать приступы астмы и острый бронхит, а также повысить восприимчивость к респираторным инфекциям. Длительное воздействие, то есть проживание в течение многих лет в районе с высокой концентрацией

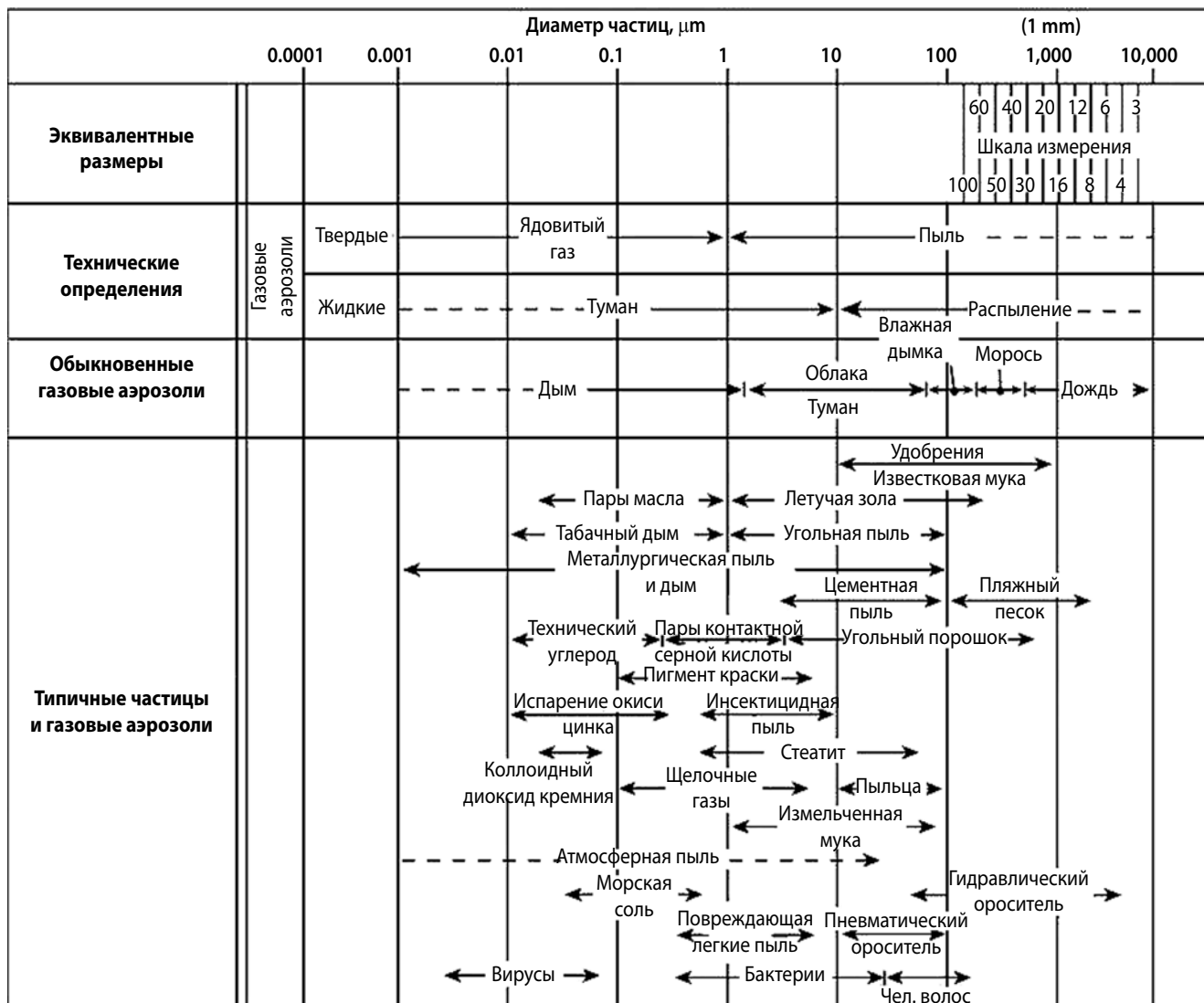


Рис. 2. Характеристика аэрозолей и твердых частиц

Fig. 2. Characteristics of particles and particle dispersoids

пыли, связано со снижением функции легких, хроническим бронхитом и преждевременной смертью.

Пыль может вызывать множество заболеваний, связанных с деятельностью горнодобывающих предприятий, наиболее распространенными из которых являются [16, 17, 18]:

- заболевания легких, такие как пневмококиоз, в частности силикоз, асбестоз, пневмококиоз работников угольной промышленности, а также рак (рис. 3);
- заболевания носа, горла и глаз;
- заболевания кожи: различные виды дерматитов, которые являются широко распространенной и часто серьезной проблемой, или даже рак кожи;
- системное отравление и всасывание через кожу: может произойти, если водорастворимые материалы растворяются в поте и попадают через кожу в кровь (например, свинец);
- раздражение желудочно-кишечного тракта при проглатывании при несоблюдении правил гигиены в запыленных, грязных рабочих местах;

- ишемические заболевания сердца;
- раздражение и воспалительные поражения легких; некоторые виды пыли могут вызывать хронический бронхит, который может привести к хронической эмфиземе (например, соединения хрома и марганца);
- аллергические реакции, такие как профессиональная астма или кожные высыпания и эрозии.

Вдыхание пыли может привести к целому ряду профессиональных заболеваний в зависимости от:

- размера частиц пыли;
- состава частицы пыли и ее влияния на организм;
- концентрации частиц пыли в зоне дыхания работника;
- как часто и как долго человек дышит пылью.

Различные виды пыли могут по-разному воздействовать на организм в зависимости от индивидуальных физических и химических свойств пыли [19]. В таблице представлены возможные последствия влияния пыли различного минерального состава на организм человека.

Множество исследований подтверждают, что частицы $PM_{2.5}$ представляют наибольшую опасность для здоровья,

поскольку обладают способностью проникать в легкие, повреждать легочную ткань и перемещаться дальше, тогда как частицы PM_{10} имеют тенденцию накапливаться в верхних дыхательных путях.

Кроме того, установлена четкая связь между концентрацией частиц $PM_{2,5}$ и PM_{10} в атмосфере и повышением смертности от сердечно-сосудистых заболеваний, респираторных расстройств и рака легких. Оценки говорят о том, что высокое содержание $PM_{2,5}$ в воздухе стало причиной 4,2 миллионов случаев преждевременной смерти по всему миру в 2015 году. В 2010 году в Китае из-за воздействия $PM_{2,5}$ зарегистрировано 1,3 миллиона преждевременных смертей, в Индии – 575 000, в Пакистане – 105 000. Ситуация аналогична и в 28 странах Европейского союза (ЕС), где годовая смертность составила 173 000 человек, а также в Соединенных Штатах Америки (США), где уровень смертности достигал 52 000 человек [20]. Авторы [21] установили, что увеличение содержания твердых частиц $PM_{2,5}$ в воздухе на 10% приводит к увеличению средней смертности взрослого населения в США на 1,1%.

Особого внимания заслуживают результаты, полученные специалистами Научно-исследовательского института комплексных проблем сердечно-сосудистых заболеваний (г. Кемерово) и Института углехимии и химического материаловедения ФИЦ УУХ СО РАН. Так, в статье [23] показано, что все фракции пылевых частиц, выделяемых в атмосферный воздух при угледобыче и углепереработке, значительно увеличивают риск развития сердечно-сосудистых заболеваний и обуславливающих их заболеваний дыхательной системы. Помимо непосредственного токсического действия частиц пыли от угольных предприятий опасность представляют также собственно хи-



Рис. 3. Нормальное легкое (слева) и легкое шахтера с диагнозом пневмокозиоз (справа)

Fig. 3. Normal lung (left) and a lung from miner diagnosed with CWP (right)

мические элементы и соединения, входящие в их состав, которые обладают собственными, не связанными с корпускулярной природой частиц токсическими эффектами.

Для пылевого загрязнения как от угольной промышленности в целом, так и от угледобывающих и углеперерабатывающих предприятий характерны его высокие уровни, малый аэродинамический диаметр пылевых частиц (менее 1,0 мкм), способствующий их вдыханию и проникновению в альвеолы, склонность частиц пыли к агрегации в кластеры с аэродинамическим диаметром от 2,5 до 10 мкм, а также специфический химический состав (углерод, диоксид кремния, оксид алюминия, сульфаты, карбонаты, нитраты, летучие органические соединения). Все это определяет высокую токсичность пылевых частиц от угольной и углеперерабатывающей промышленности для

Влияние пыли различного минерального состава на организм человека [22]

Impact of dust of different mineral composition on human health [22]

| Тип горной породы/руды / Rock type/ore | Влияние на здоровье человека/ Impact on human health |
|--|--|
| Асбест | Асбестоз, рак легкого; рак желудочно-кишечного тракта; рак плевры, мезотелиома |
| Слюды | Фиброз легких; силикоз; сильная связь со свободным кремнеземом, который, вероятно, является основным фактором развития фиброза |
| Полевой шпат | Силикоз |
| Глины | Пневмокозиоз без массивного фиброза и узелков; некоторые сопутствующие силикозы |
| Гранит, кварцит, песчаник, сланец | Силикоз; силикотуберкулез; узелковый силикоз; фиброз; увеличенные и затвердевшие лимфатические железы |
| Известняк, мрамор, доломит | Бронхит, эмфизема, ожог едким веществом; дерматит |
| Кремнезем, кварц, кремень, кристобалит, тридимит | Силикоз; силикотические узелки в селезенке; силикотуберкулез; прогрессирующий фиброз легких; кристобалит-тридимит более фиброгенны |
| Тальк | Талькоз; тальковый пневмокозиоз |
| Бокситовая руда; корунд | Алюминоз; рубцевание легких; пневмокозиоз; эмфизема |
| Хромит | Рак легких; руда может быть связана с хризотил-асбестом |
| Железная руда (гематит, магнетит, таконит) | Сидероз; сообщения о росте заболеваемости раком легких среди таконитовой руды |
| Свинцовая руда (галенит, церуссит, англезит) | Пневмокозиоз; заболевания центральной нервной системы; нефрит; анемия |
| Урановые, ториевые и ванадиевые руды | Повышенная заболеваемость раком легких |
| Олово, титан | Тяжелые рентгенологические изменения у шахтеров; оловянный пневмокозиоз; тяжелое рубцевание легких; титаниоз |
| Уголь | Пневмокозиоз с последующим фиброзом, силикоз |

сердечно-сосудистой системы, однако при этом остается открытым вопрос, ответственны ли PM_{10} и $PM_{2,5}$ непосредственно за развитие сердечно-сосудистых заболеваний или лишь за потенцирующие их патогенез заболевания дыхательной системы.

В свою очередь, анализ связи проникающих в системный кровотоки PM_{10} с сердечно-сосудистыми заболеваниями затруднен вследствие отсутствия или недостаточности мониторинга их уровня в атмосферном воздухе. Эти результаты подчеркивают актуальность принятия немедленных мер для снижения уровня загрязнения воздуха частицами $PM_{2,5}$ и PM_{10} с целью защиты общественного здоровья.

Механизмы транспортирования твердых частиц как на небольшие, так и значительные расстояния являлись предметом большого числа научных исследований. Распределение пыли и пути ее переноса в атмосфере пространственно и во времени неоднородны и определяются главным образом распределением основных регионов-источников и связанными с ними преобладающими ветровыми режимами. В зависимости от интенсивности источников и метеорологических процессов пыль может переноситься даже через континенты и океаны.

Размер, форма, химический состав, массовая концентрация и плотность частиц также являются важными параметрами, характеризующими поведение пыли. Процессы перемещения мелкодисперсных частиц подчиняются следующим механизмам: гравитационное осаждение, броуновское движение, вихревая диффузия, агломерация. Частицы размером более 30 мкм оседают в пределах 100 м от источника. Частицы среднего размера (10-30 мкм) могут перемещаться на расстояние до 200-500 м. Более мелкие частицы (менее 10 мкм) составляют небольшую долю пыли, образующуюся в результате добычи, и оседают медленно [24]. В ходе эксперимента авторами работы [25] установлено, что частицы PM_{10} , образованные в ходе деятельности горнодобывающего предприятия, в течение месяца перемещаются на расстояние до 140 км.

Измерение концентрации пыли в воздухе является важным аспектом оценки качества воздуха и его влияния на здоровье людей. В мире существуют различные стандарты и протоколы для измерения пыли $PM_{2,5}$ и PM_{10} , устанавливающие спецификации и методики измерений. Из них особое внимание уделяется частицам $PM_{2,5}$, поскольку они в большей степени связаны с неблагоприятным воздействием на здоровье человека.

Всемирная организация здравоохранения устанавливает нормативные значения $PM_{2,5}$ в размере 10 мкг/м³ (годовой) и 25 мкг/м³ (24-часовой). Существующие годовые стандарты в разных странах мира варьируются от 8 до 75 мкг/м³. Однако, большинство годовых нормативов превышали установленные ВОЗ ориентировочные пределы загрязнения $PM_{2,5}$. Причем из 62 регионов по всему миру, рассмотренных в работе [26], лишь в 11 стандарты качества воздуха в части содержания в нем частиц $PM_{2,5}$ носят обязательный характер, в большинстве же случаев – добровольный или целевой. Кроме того, реальное загрязнение атмосферного воздуха в большинстве стран мира превышало локальные нормативы и рекомендации ВОЗ.

Так, Индия выделяется относительно строгим годовым стандартом $PM_{2,5}$ в 40 мкг/м³, несмотря на то, что загрязнение воздуха $PM_{2,5}$ значительно превышает этот показатель и достигает 70 мкг/м³. В России Санитарными правилами и нормами СанПиН 1.2.3685-21 установлены следующие предельно допустимые концентрации загрязняющих веществ в атмосферном воздухе городских и сельских поселений:

для взвешенных частиц PM_{10} :

- концентрация, предотвращающая раздражающее действие, рефлекторные реакции, запахи при воздействии до 20–30 минут (максимальная разовая) – 300 мкг/м³;

- концентрация, обеспечивающая допустимые (приемлемые) уровни риска при воздействии не менее 24 часов (среднесуточная) – 60 мкг/м³;

- концентрация, обеспечивающая допустимые (приемлемые) уровни риска при хроническом (не менее 1 года) воздействии (среднегодовая) – 40 мкг/м³;

для взвешенных частиц $PM_{2,5}$:

- концентрация, предотвращающая раздражающее действие, рефлекторные реакции, запахи при воздействии до 20–30 минут (максимальная разовая) – 160 мкг/м³;

- концентрация, обеспечивающая допустимые (приемлемые) уровни риска при воздействии не менее 24 часов (среднесуточная) – 35 мкг/м³;

- концентрация, обеспечивающая допустимые (приемлемые) уровни риска при хроническом (не менее 1 года) воздействии (среднегодовая) – 25 мкг/м³.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Вместе с тем, несмотря на доказанное негативное влияние деятельности различных отраслей промышленности, в том числе горной, на уровень загрязнения воздуха мелкодисперсными аэрозолями, в России отсутствуют методические основы и отраслевые стандарты, позволяющие контролировать деятельность конкретных предприятий в части выбросов частиц $PM_{2,5}$ и PM_{10} . Утвержденные приказом Минприроды РФ от 06.06.2017 № 273 методы расчетов рассеивания выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферном воздухе устанавливают в том числе методы расчета разовых и долгопериодных средних концентраций мелкодисперсных аэрозолей для определения степени загрязнения воздуха. Фоновые концентрации определяются расчетным путем с использованием данных о выбросах загрязняющих веществ, по которым в расчетах учитывается не менее 95% суммарного выброса рассматриваемого загрязняющего вещества от всех источников города.

Учитывая, что в пределах одного предприятия расположено большое количество точечных источников, данный метод является весьма трудозатратным и не отражает вклад каждого конкретного предприятия в общее загрязнение мелкодисперсными аэрозолями. Кроме того, стремительное развитие инструментальной базы, позволяющей измерять массовые концентрации и фракционный состав аэрозольных частиц в реальном времени, позволяет значительно снизить время, затрачиваемое на определение уровня загрязнения атмосферного воздуха частицами $PM_{2,5}$ и PM_{10} .

В этой связи совершенствование методов нормирования выбросов мелкодисперсных частиц в результате деятельности горнодобывающих предприятий является весьма актуальной задачей, а разработка мер по контролю и снижению воздействия горных работ в части выбросов ча-

стиц $PM_{2.5}$ и PM_{10} позволит в значительной мере повысить качество атмосферного воздуха и снизить экологическую нагрузку на горнопромышленный регион.

Список литературы – см. References

Original Paper

UDC 622.872:504.3.054 © V.N. Zakharov, D.E. Beglov, L.A.-S. Gadzhieva, 2023
ISSN 0041-5790 (Print) • ISSN 2412-8333 (Online) • Ugol' – Russian Coal Journal, 2023, № S12, pp. 32-37
DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2023-S12-32-37>

Title

SUBSTANTIATION OF THE NECESSITY TO STANDARDISE EMISSIONS OF PARTICULES MATTER GENERATED BY MINING OPERATIONS

Authors

Zakharov V.N.¹, Beglov D.E.², Gadzhieva L.A.-S.¹

¹ Institute of Comprehensive Exploitation of Mineral Resources Russian of Academy of Sciences, Moscow, 111020, Russian Federation

² Ministry of Health of Kuzbass, Kemerovo, 650064, Russian Federation

Authors Information

Zakharov V.N., Doctor of Engineering Sciences, Professor, Academician of the Russian Academy of Sciences, Director, e-mail: ipkon-dir@ipkonran.ru

Beglov D.E., Minister of Health of Kuzbass, e-mail: depart@kuzdrav.ru

Gadzhieva L.A.-S., Junior Researcher, e-mail: gadzhieva_l@ipkonran.ru

Abstract

The article presents the results of data analysis on the influence of mining enterprises on the level of air pollution by PM_{10} and $PM_{2.5}$ particles. The risks of human body exposure to fine particles formed while mining operations are assessed. The necessity of PM_{10} and $PM_{2.5}$ particles emission rationing by the enterprises on mining and processing of mineral deposits is substantiated.

Keywords

Pollutant emissions, $PM_{2.5}$, PM_{10} , Air quality, Dust, Aerosols, Concentration limits.

References

- Kolesnikova L.A. Environmental condition analysis in the mining regions. *Ugol'*, 2017, (4), pp. 68-69. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2017-4-68-69.
- Gorlov V.D. Recultivation of land in quarries. Moscow, Nedra Publ., 1981. (In Russ.).
- Khazini L., Dehkharghanian M.E. & Vaezihir A. Dispersion and modeling discussion of aerosol air pollution caused during mining and processing of open-cast mines. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 2021. DOI: 10.1007/S13762-021-03225-1.
- Wilhen Huaman-Hinostroza, Brian Meneses-Claudio & Alexi Delgado. Implementation of an Air Pollution Measurement System in Mining Areas of Cerro de Pasco-Peru. *International journal emerging technology and advanced engineering*, 2022, Vol. 12, (1), pp 99-110.
- Sridevi, Jena, Atahar, Perwez, Gurdeep, Singh, Ashok & Dubey. Investigation of Impacts of Mining and Transportation Activities on Ambient Air Quality of Dhanbad City. *Current World Environment*, 2015. DOI: 10.12944/CWE.10.3.35.
- Aditya, Kumar, Patra, Sneha, Gautam, Prashant & Kumar. Emissions and human health impact of particulate matter from surface mining operation. A review. *Environmental Technology and Innovation*, 2016. DOI: 10.1016/J.ETI.2016.04.002.
- Ratnesh, Trivedi, Chakraborty M.K. & Tewary B.K. Generation and Dispersion of Total Suspended Particulate Matter Due to Mining Activities in an Indian Opencast Coal Project, 2011. DOI: 10.5772/20828.
- Pokorná P., Hovorka J. & Brejcha J. Impact of Mining Activities on the Air Quality in The Village Nearby a Coal Strip Mine, 2016. DOI: 10.1088/1755-1315/44/3/032021.
- Arup Environmental 1995. The environmental effects of dust from surface mineral workings, HMSO, London, PECD 7/1/468.
- Ghose M.K. & Majee S.R. Environmental Monitoring and Assessment, 2000, 61(2), pp. 257–265.
- GOST R 58196-2018 Mining. Dust control at coal mining enterprises. Terms and definitions. (In Russ.).
- EPA (United States Environmental Protection Agency). Latest findings on national air quality: 1997 status and trends. Washington, DC: Office of Air Quality Planning and Standards, 1998.
- Miller B. Particulate formation and control technologies. *Fossil Fuel Emissions Control Technologies*, 2015, pp. 145–196. DOI: 10.1016/b978-0-12-801566-7.00003-8.
- Wark K., Warner C.F. & Davis W.T. Air pollution: its origin and control. 3rd ed. Menlo Park, California, Addison Wesley Longman, Inc, 1998.

15. Korchagina T., Bykov A. & Schastlivcev E. Air pollution by coal dust as a factor of ecological compatibility for coal mining enterprises. 2019;134:02001. DOI: 10.1051/E3SCONF/201913402001.

16. Trade Union Congress 2001. Hazards at work—TUC guide to health and safety, Trade Union Congress, UK.

17. World Health Organization 1999. Hazard Prevention and Control in the Work Environment: Airborne Dust, World Health Organization, Switzerland, WHO/SDE/OEH/99.14.

18. Chen J. & Hoek G. Long-term exposure to PM and all-cause and cause-specific mortality: a systematic review and meta-analysis. *Environ Int.*, 2020, 143, 105974. DOI: 10.1016/j.envint.2020.105974.

19. Health and Safety Executive 1997. Dust: General principles of protection, Health and Safety Executive, UK, EH 44.

20. Giannadaki D., Lelieveld J. & Pozzer A. Implementing the US air quality standard for $PM_{2.5}$ worldwide can prevent millions of premature deaths per year. *Environ Health*, 2016;08.23;15(1):88. DOI: <http://dx.doi.org/10.1186/s12940-016-0170-8>. PMID: 27552859.

21. Akshaya Jha & Nicholas Z. Muller. The local air pollution cost of coal storage and handling: Evidence from U.S. power plants. *Journal of Environmental Economics and Management*, 2018, (92), pp. 360-396. DOI: 10.1016/j.jeem.2018.09.005.

22. Banks D.E. & Parker J.E. Occupational Lung Disease. An International Perspective. Chapman & Hall, London, U.K., 1998.

23. Kutikhin A.G., Efimova O.S., Ismagilov Z.R. & Barbarash O.L. The influence of dust pollution from the coal and coal chemical industry on the risk of cardiovascular diseases. *Khimiya v interesakh ustojchivogo razvitiya*, (26), pp. 647-655 (In Russ.).

24. Office of the Deputy Prime Minister 2003. Mineral Policy Statement 2. Controlling and mitigating the environmental effects of minerals extraction in England, UK, MPS2.

25. Kgabi N. & Mokgwetsi T. Dilution and dispersion of inhalable particulate matter. 2009;127:229-238. DOI: 10.2495/RAV090201.

26. Yevgen Nazarenko, Devendra Pal. & Parisa A. Ariya. Air quality standards for the concentration of particulate matter 2.5, global descriptive analysis. *Bulletin of The World Health Organization*, 2021;99(2):125. DOI: 10.2471/BLT.19.245704.

Acknowledgements

The research was performed 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., Beglov D.E. & Gadzhieva L.A.-S. Substantiation of the necessity to standardise emissions of particules matter generated by mining operations. *Ugol'*, 2023, (S12), pp. 32-37. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2023-S12-32-37.

Paper info

Received November 1, 2023

Reviewed November 15, 2023

Accepted November 26, 2023

Особенности минерального состава пыли из районов, прилегающих к действующим открытым горнорудным комплексам*

DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2023-S12-38-45>

КОПОРУЛИНА Е.В.

Канд. геол.-минер. наук
Института проблем комплексного освоения недр имени академика Н.В. Мельникова РАН,
Геологический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова,
111020, г. Москва, Россия,
e-mail: e_koporulina@mail.ru

КАРТАШОВ П.М.

Научный сотрудник
Института проблем комплексного освоения недр им. академика Н.В. Мельникова РАН,
Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии РАН,
119017, г. Москва, Россия,
e-mail: ptk@igem.ru

ФЕДОТЕНКО В.С.

Доктор техн. наук, заместитель
директора по научной работе
Института проблем комплексного освоения недр им. академика Н.В. Мельникова РАН,
111020, г. Москва, Россия,
e-mail: victorfedotenko@gmail.com

ВОЛКОВА Е.А.

Канд. хим. наук, доцент Геологического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова,
119991, г. Москва, Россия,
e-mail: el_volkova@rambler.ru

* Исследования проведены 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.

В работе приводятся результаты инструментального анализа проб пыли из районов, в том числе крупных населенных пунктов, расположенных за пределами санитарно-защитных зон ряда действующих предприятий открытых горнорудных комплексов. Показано, что в зависимости от геологического строения рассмотренных областей минеральный состав проб варьирует от преимущественно силикатного и алюмосиликатного до карбонатного. В то же время общим для проб из всех районов является присутствие тонкодисперсных частиц слюдяных и глинистых минералов фракций $PM_{2,5}$ и PM_{10} , представляющих значительную опасность для здоровья человека.

Ключевые слова: пыль, фракции $PM_{2,5}$ и PM_{10} , минеральный состав, аналитическая сканирующая электронная микроскопия, филлосиликаты.

Для цитирования: Особенности минерального состава пыли из районов, прилегающих к действующим открытым горнорудным комплексам / Е.В. Копорулина, П.М. Карташов, В.С. Федотенко и др. // Уголь. 2023. № S12. С. 38-45. DOI: 10.18796/0041-5790-2023-S12-38-45.

ВВЕДЕНИЕ

Деятельность горнодобывающих предприятий, сопровождающаяся газопылевыми выбросами и рудничными стоками, оказывает негативное воздействие на окружающую среду. Транспортная инфраструктура этих объектов также является немаловажным источником загрязнения. В значительной степени это относится к комплексам с открытой разработкой полезных ископаемых с использованием буровзрывных работ, при которых объемы поступающих в атмосферу газопылевых смесей возрастают многократно. Эти смеси содержат тонкодисперсные фрагменты всех горных пород вскрываемого объекта, частицы сажи и сорбированные на них компоненты взрывчатых веществ.

Наибольшую опасность для здоровья человека представляют частицы фракций $PM_{2,5}$ и PM_{10} , которые в силу своих размеров обладают высокой проникающей способностью через клеточные мембраны. В результате долго-

го нахождения человека в контакте с воздухом, содержащим такую тонкую минеральную взвесь, могут возникнуть различные аллергические реакции на сорбированные на поверхности частиц компоненты взрывчатых веществ, раздражение слизистых оболочек глаз, носоглотки, желудочно-кишечного тракта и другие заболевания. В частности, проникновение в дыхательную систему и накопление в ней тонких силикатных частиц провоцируют развитие силикоза и связанных с ним легочно-респираторных заболеваний [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8].

Эта проблема остро стоит перед всеми технически развитыми странами мира. Для идентификации и изучения состава, метрологии и морфологических особенностей пылевых частиц используется широкий спектр современных аналитических методов: нефелометрия, рентгенофазовый и рентген-флуоресцентный анализы, масс-спектрометрия и атомно-эмиссионная спектрометрия и другие [9, 10, 11, 12].

Целью настоящего исследования было изучение элементного, фазового и гранулометрического состава образцов пыли, отобранных в районах, прилегающих к открытым разработкам предприятий горнорудного комплекса.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Отбор пылевых проб непосредственно из воздушных аэрозолей сопряжен с рядом методических сложностей, в первую очередь из-за низких концентраций твердых компонентов. Полученный в результате такого прямого отбора физический объем материала существенно ограничивает набор аналитических методов для его исследования. Вследствие этого в настоящей работе дополнительно было проанализировано вещество из мест естественной аккумуляции пылевых частиц на различных поверхностях и в природных водотоках.

Представленные для исследования воздушно-сухие образцы пыли можно разделить на две группы: пробы с большим (более 1 г, 1-я группа) и малым (менее 1 г, 2-я группа) количеством предоставленного материала.

Отбор проб первой группы проводился в мае 2023 г. вдоль крупных автомобильных дорог, на участках, расположенных вне санитарно-защитных зон (СЗЗ), в том числе в крупных городах и населенных пунктах. Всего было проведено опробование восьми таких областей. Для анализа использовались усредненные методом квартования по 3-5 точкам отбора пробы.

Ко второй группе относятся:

- образцы нерастворимого осадка, полученные в феврале-марте 2023 г. при вытапливании и последующем выпаривании при комнатной температуре загрязненного снежного покрова (6 точек отбора);

- образцы частиц пыли, перенесенные на органическую клейкую подложку при ее контакте с различными поверхностями городских и пригородных сооружений, отобранные в тот же период времени (8 точек отбора);

- образцы частиц пыли, поступающие в принудительном токе в, на высоте человеческого роста (1,7-1,8 м) от поверхности земли. Интенсивность поступления частиц с воздухом определялась сечением воздухозаборника (22 мм) и мощностью всасывания (7,4 В), продолжительность от-

бора проб составляла 10 мин. Время отбора проб – май 2023 г. (20 точек отбора).

Для получения достоверных аналитических данных для образцов второй группы было получено от трех до пяти препаратов с каждой точки отбора.

Изучение элементного и фазового состава пыли усредненных проб первой группы проводилось с использованием современных методов: аналитической сканирующей электронной микроскопии (АСЭМ, микроскоп Leo1420VP с системой микроанализа INCA 350), рентгеноспектрального флуоресцентного анализа (РФЛА, вакуумный спектрометр последовательного действия Axios mAX с дисперсией по длине волны) и рентгенофазового анализа (РФА, порошковый дифрактометр Rigaku MiniFlex-600 (Rigaku Corp., Japan): CuK α -излучение ($\lambda = 1,54056 \text{ \AA}$), непрерывный режим съемки, интервал углов 2θ – от 3 до 90°), скорость сканирования 4°/мин. Для идентификации использовался программный пакет Profex [13]). Все полученные данные сравнивались с эталонными, за которые принимались результаты, полученные для проб, отобранных в непосредственной близости от карьера.

Для второй группы образцов, в силу малого количества вещества, основным методом изучения являлась аналитическая сканирующая электронная микроскопия. Микронный размер частиц пыли и используемая при подготовке препаратов углеродная подложка позволяли проводить исследования без дополнительного напыления токопроводящего материала. Полученные при различных увеличениях изображения большого числа произвольно выбранных участков препаратов с достаточной степенью достоверности показывали различия в морфологии, размерах, степени агрегирования частиц пыли как в пределах одной пробы, так и между пробами, отобранными из разных мест. Для каждого препарата было получено от 10 до 15 СЭМ-изображений. Разделение частиц на фазы проводилось на основании контраста по среднему атомному номеру на изображениях в отраженных электронах (Backscattered Electrons – BSE) и данных качественного и полуколичественного микрорентгеноспектрального анализа.

В отдельную (третью) группу выделены пробы воды из системы водоочистных сооружений одного из угольных разрезов, отобранные для анализа содержащихся в них нерастворимых минеральных фаз методом АСЭМ. Были подготовлены две серии препаратов. Препараты первой серии этой группы представляли собой осадки, сформировавшиеся при высыхании нанесенных на токопроводящий углеродный скотч капель исходных водных проб. Препараты второй серии были приготовлены из осажденного центрифугированием твердого материала водных взвесей. Разделение вещества проводилось на лабораторной центрифуге марки UC-1536 E, ULAB при частоте вращения 4000 об./мин (2055 g) в течение 5 минут. Выделенное таким образом твердое вещество высушивалось и также наносилось тонким слоем на токопроводящий скотч. Весь отделенный твердый материал взвешивался, и исходя из измеренных объемов водных растворов рассчитывалось ориентировочное (с учетом возможного неполного разделения вещества при центрифугировании) содержание осадка в пробах.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Пробы с большим объемом исследуемого материала (придорожная пыль)

Анализ данных химического состава проб позволяет разбить их на две группы. К первой относятся пробы с высоким значением потерь при прокаливании (ППП, 24-32%) и содержанием CaO (25-41 мас.%) и одновременно с пониженным количеством кремнезема (12-34 мас.%) (зеленые точки на рис. 1). Пробы второй группы, включая эталонную, за которую был принят материал, взятый вблизи содержанием CaO (9-19 мас.%) и величиной

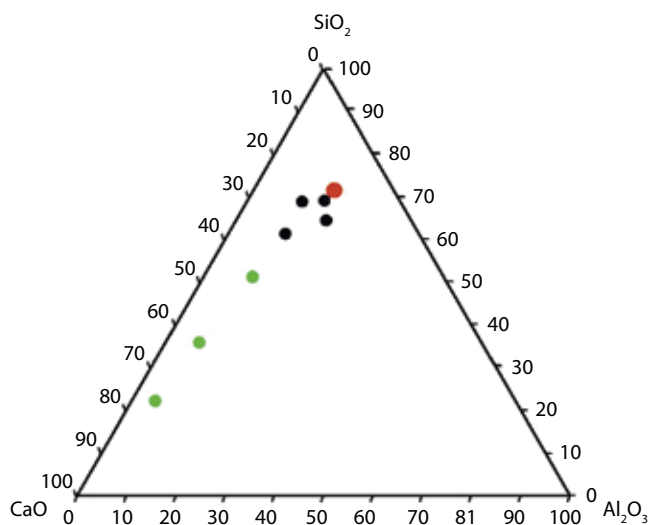


Рис. 1. Тройная диаграмма составов проб придорожной пыли в координатах CaO-SiO₂-Al₂O₃

Fig. 1. A triple diagram of the roadside dust sample compositions in the CaO-SiO₂-Al₂O₃ coordinates

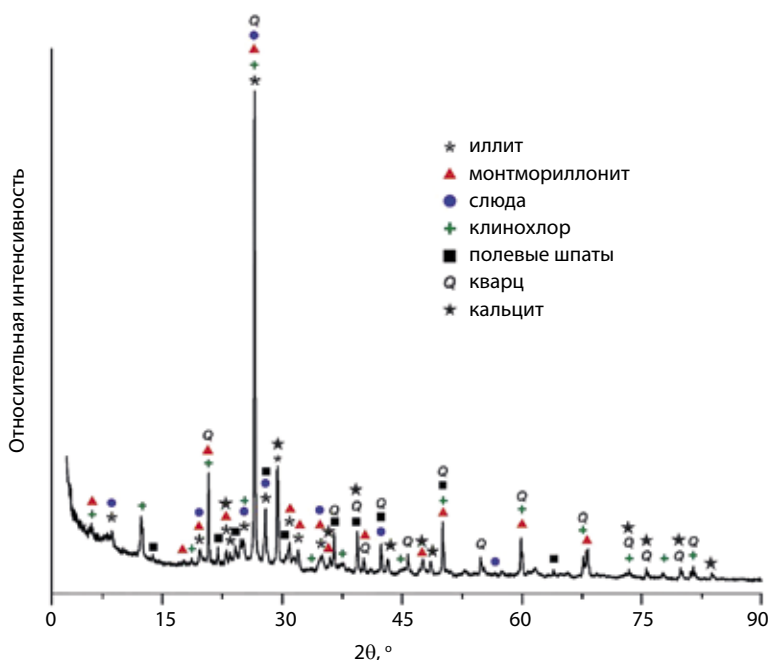


Рис. 2. Дифрактограмма эталонной пробы пыли, отобранной в непосредственной близости от открытых горных выработок

Fig.2. An XRD pattern of a reference dust sample collected in the immediate vicinity of open-pit mine workings

ППП (12-17 мас.%) (черные точки на рис. 1). При этом эталонный образец (красная точка на рис. 1) попадает на диаграммах в поле алюмосиликатных пород, занимая в нем крайнее положение.

Выявленные особенности химического состава проб хорошо коррелируют с их минеральным составом. Так, согласно данным РФА, во всех пробах зафиксированы следующие минералы: кварц (SiO₂), кальцит (CaCO₃), минералы группы полевых шпатов, в основном представленные плагиоклазами ряда Na[AlSi₃O₈] – Ca[Al₂Si₂O₈], филлосиликаты: слюды – мусковит KAl₂(AlSi₃O₁₀)(OH)₂ и биотит K(Mg, Fe)₃[Si₃AlO₁₀](OH, F)₂, гидрослюды – иллит/гидромусковит K_{0,65}Al_{2,0}[Al_{10,65}Si_{3,35}O₁₀](OH)₂ и гидробиотит K_{1-x}(Mg, Fe₂₊)₃(Si, Al)₄O₁₀(OH)₂; минералы группы хлорита (Mg, Fe)₆(Si, Al)₄O₁₀(OH)₈ (в частности ее магниезальный представитель клинохлор Mg₅Al(AlSi₃O₁₀)(OH)₈) и минералы группы смектитов, представленные в основном монтмориллонитом – (Na, Ca)_{0,33}(Al, Mg)₂(Si₄O₁₀)(OH)_{2n}H₂O. Между собой пробы отличаются содержанием этих фаз.

На дифрактограмме эталонной пробы выделяются интенсивные рефлексы кварца и более слабые, но, тем не менее, хорошо проявленные пики кальцита и минералов группы полевых шпатов (рис. 2). Остальные перечисленные фазы, согласно низким интенсивностям их диагностических пиков, присутствуют в пробе в существенно меньшем количестве.

Пробы, обогащенные CaO, согласно рентгенографическим данным, имеют преимущественно кальцитовый состав и обеднены слюдыстыми и гидрослюдыстыми минералами, что объясняет установленные для них высокие значения ППП при удалении из минерала углекислого газа при температурах ~930°C. Минеральный состав существенно более кремнеземистых проб имеет много общего с эталонной пробой. Практически идентичен ей материал, отобранный со стройплощадки в крупном населенном пункте, что позволяет предполагать прямой перенос и использование вещества непосредственно из предполагаемого источника загрязнения при строительных работах

Данные АСЭМ-наблюдений подтверждают особенности элементного и фазового состава проб, выявленные по данным РФА и РФА. Общим для всех рассмотренных образцов является присутствие различного количества тонких пластинчатых и чешуйчатых частиц хлорита, слюдыстых (гидрослюдыстых) и глинистых минералов, размер которых соответствует фракциям PM_{2,5} и PM₁₀ (рис. 3).

Пробы с малыми объемами исследуемого материала

По данным АСЭМ, материал проб пыли, отобранных из загрязненного снежного покрова, представлен совокупностью вещества природного (частицы минеральных фаз) и техногенного (сферические частицы золы) происхождения. Соотношение этих типов вещества в пробах различно в зависимости от места отбора.

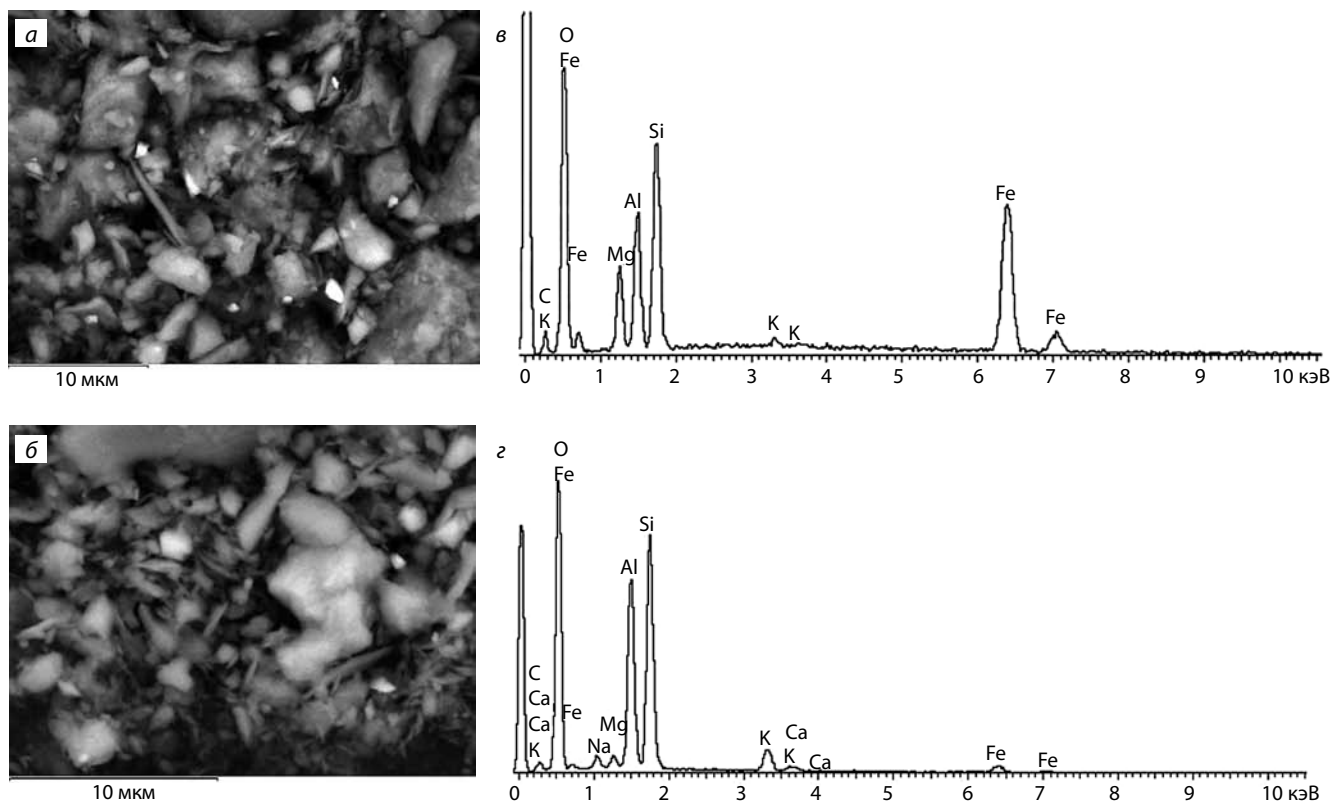


Рис. 3. Частицы филлосиликатов (а – хлорита, б – гидромусковита) фракций $PM_{2,5}$ и PM_{10} в препаратах проб придорожной пыли и их энергодисперсионные (ЭДС) спектры (в и г, соответственно)

Fig. 3. Phyllosilicate particles (а – chlorite, б – hydromuscovite) of the $PM_{2,5}$ and PM_{10} fractions in specimens of the roadside dust samples and their energy dispersive spectra (EDS) (в and г, respectively)

Так, в образцах из прилегающих к карьеру районов среди частиц пыли установлены, главным образом крупные обломки углистого вещества и минералов вмещающих пород а также агрегаты тонкодисперсных алюмосиликатных и силикатных минеральных фаз микронного и субмикронного размера фракций $PM_{2,5}$ и PM_{10} . В веществе проб, отобранных вдали от карьера в крупном населенном пункте и его окрестностях, помимо минеральных компонентов

дополнительно диагностированы частицы золы, имеющие также алюмосиликатный состав (рис. 4). По мере удаления от карьера в пробах наблюдается увеличение доли тонкодисперсных минеральных частиц фракций $PM_{2,5}$ и PM_{10} (представляющих повышенную опасность для здоровья человека) и их агрегатов на фоне уменьшения содержания более крупных обособленных обломков. Этот факт подтверждает высокую мобильность частиц этих фракций.

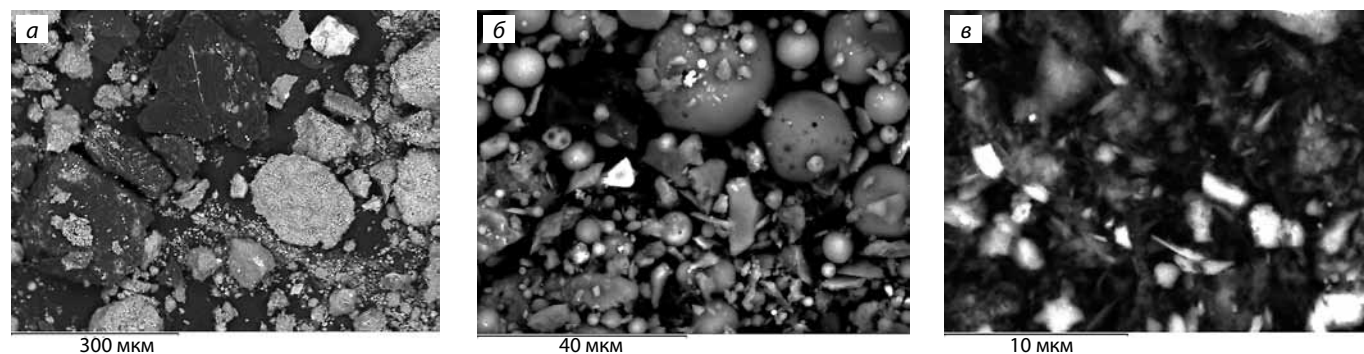


Рис. 4. Сравнительные BSE-изображения характерных участков препаратов пыли из снежного покрова вблизи открытого карьера с преобладанием крупных обломков минералов (а) и в крупном населенном пункте (за пределами СЗЗ), обогащенных фракциями P_{10} и $P_{2,5}$ и сферическими частицами золы (б и в)

Fig. 4. Comparative BSE images of characteristic areas of snow dust specimens near an open pit with predominance of large mineral fragments (а) and in a large-scale settlement (outside the sanitary protection zone) enriched with the P_{10} and $P_{2,5}$ fractions and spherical ash particles (б and в)

Материал проб, полученный прямым переносом с поверхностей городских построек и сооружений на клейкую подложку, в значительной мере схож с содержимым нерастворимого осадка снежного покрова. В полученных препаратах диагностированы как сравнительно крупные (20-30 мкм) обломки силикатных, алюмосиликатных и карбонатных минералов и сферулы золы, так и их более тонкоразмерные разновидности.

Учитывая высоту отбора проб пыли из воздуха (до двух метров от поверхности земли), одним из наиболее вероятных способов поступления твердых частиц в эти приземные слои атмосферы является их выдувание с ограниченных по площади открытых участков почвенных покровов и дорог, прилегающих к месту отбора. Также не менее значимым вкладом является осаждение из вышележащих слоев атмосферы тонких фракций пыли, мигрирующих на значительные расстояния. Поэтому, с одной стороны, характеристики проб твердых частиц, захваченных из воздуха (фазовый состав, размерные параметры), во многом наследуют локальные особенности пыли на поверхности земли в месте отбора. С другой стороны они имеют общие черты с образцами пыли из соседних и более удаленных географических объектов.

Первое заключение хорошо подтверждается полученными сравнительными данными о составе придорожной пыли и проб из воздуха, отобранных в пределах одного и того же населенного пункта. Особенностью, объединяющей пробы пыли, отобранные из воздуха во всех населенных пунктах, является присутствие частиц фракций P_{10} и $P_{2,5}$ преимущественно гидромусковитового, монтмориллонитового и каолинового состава и их агрегатов (рис. 5).

Среди агрегатов выделяются две морфологические разновидности: крупные (30-40 мкм) и плотные, а также более мелкие (20 мкм и менее) и рыхлые скопления тонкодисперсных частиц.

Различная морфология этих агрегатов может свидетельствовать о разных условиях их образования и возможных дальнейших путях поступления в атмосферу. Более крупные и плотные разновидности формировались, по-видимому, на поверхности земли при длительном контакте с водой и значительном механическом уплотнении

за счет контакта и перемешивания с окружающими многочисленными твердыми частицами. Соответственно, в атмосферу они попадали при выдувании с поверхности земли. Образование второго выделенного морфологического типа связано, по всей вероятности, с агрегированием уже содержащихся в воздушных слоях тонких слюдястых и глинистых чешуек также при их гидратации, но в отсутствие значительных уплотняющих факторов. При этом первичное агрегирование частиц пыли в воздухе могло происходить на поверхности микрокапель воды. При их испарении минеральные частицы стягивались в одну точку, где возникали слабо связанные агрегаты минеральных микрозерен.

Анализ твердых фаз из проб воды

Характерной особенностью осадков, полученных при высушивании капель всех исходных проб воды (препараты первой серии), является присутствие многочисленных хорошо выраженных кристаллов мирабилита ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$), часто собранных в сноповидные агрегаты (рис. 6). В подчиненных количествах наблюдаются примеси ксеноморфных агрегатов галита и отдельные ромбоэдрические кристаллы кальцита. Пространство между индивидами мирабилита и галита заполнено массой органического вещества с мелкими включениями неорганических сульфатов и хлоридов. Силикатных частиц в изученных препаратах не обнаружено.

Отцентрифугированное твердое вещество препаратов второй серии водной группы проб представлено совокупностью изначально присутствующих в растворах нерастворимых компонентов (алюмосиликатов) и новообразованных осадков, выпадающих в ходе эволюции растворов. Последние обильно представлены ромбоэдрическими кристаллами кальцита размером до 5-7 мкм. Силикатная часть во всех пробах представлена гидромусковитом, который был зафиксирован и описан во всех предыдущих типах проб сухого материала. В целом, твердое вещество осадка всех изученных водных проб различается содержанием этих двух компонентов.

Максимальное количество алюмосиликатов отмечено в осадке пробы из зумпфа. Они образуют плотные агре-

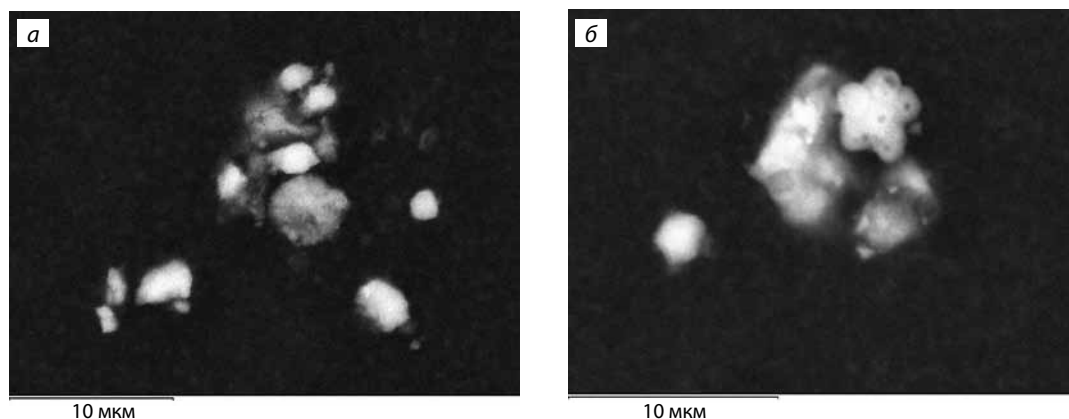


Рис. 5. Частицы фракций P_{10} и $P_{2,5}$ в пробах пыли из воздуха

Fig. 5. Particles of the P_{10} and $P_{2,5}$ fractions in dust samples collected from the air

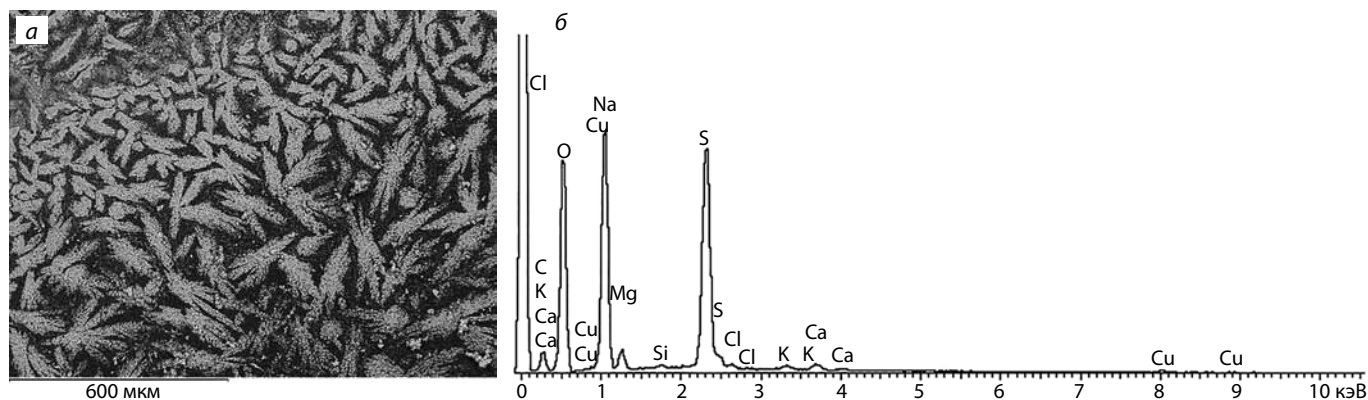


Рис. 6. Кристаллы мирабилита из осадков проб исходной воды (а) и их ЭДС-спектр (б)

Fig. 6. Mirabilite crystals from sediments of source water samples (a) and their EDS spectrum (b)

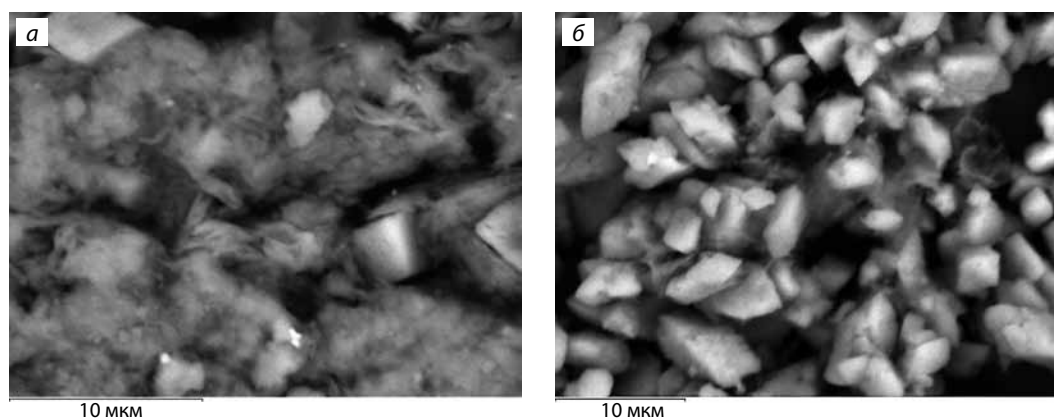


Рис. 7. Соотношение между чешуйчатыми агрегатами гидромусковита и ромбоэдрическими кристаллами кальцита в нерастворимых осадках проб из зумпфа (а) и из отстойника после фильтрующей дамбы (б)

Fig. 7. The ratio between the lamellar hydromuscovite aggregates and rhombohedral calcite crystals in insoluble sediments of samples from the sump (a) and from the sedimentation pond after the filtering dam (b)

гаты чешуйчатого строения с размерами чешуек от 3 мкм и менее. В эту массу заключены хорошо ограненные отдельные ромбоэдрические кристаллы кальцита 5-10-микронного размера (рис. 7, а).

По мере удаления от карьера по системе очистных сооружений, в частности в водоотводной канаве, содержание гидромусковита постепенно падает, достигая своего минимального значения в пробе воды из отстойника после фильтрующей дамбы (рис. 7, б). В нерастворимом осадке проб воды, отобранных после этого участка очистных сооружений, содержание алюмосиликатной составляющей вновь увеличивается, а также повышается значение третьего, биогенного компонента, (рис. 8, а, б). Взвесь в пробах из реки, отобранных в 500 м ниже выпуска, по присутствующим компонентам и их соотношению близка к взвеси в пробах воды из выпуска и сброса с очистных сооружений (рис. 8, в, г).

Предварительные определения содержаний нерастворимого осадка в исследованных пробах воды в целом подтверждают выявленные при микроскопических исследованиях закономерности. Минимальное содержание твердой фазы, представленной совокупностью кальцита и гидромусковита, установлено в пробах воды из водо-

отводной канавы и отстойника после фильтрующей дамбы (~ 14 и 20 мг/л). Выше и ниже этих участков системы очистных сооружений содержание взвеси в пробах воды в 2-3 раза больше.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенных исследований показан многофазный и полифракционный состав пыли районов, расположенных за пределами установленных санитарно-защитных зон действующих горнорудных выработок открытого типа. В зависимости от места отбора проб установлены вариации содержаний составляющих их минералов, что, по-видимому, определяется особенностями геологического строения различных областей изучаемого района. Характерной чертой, объединяющей все типы проанализированных проб, является присутствие в них значительного количества частиц слюдястых и глинистых минералов фракций $PM_{2,5}$ и PM_{10} , относящихся к приоритетным факторам загрязнения воздуха. Этот факт подтверждает способность тонкодисперсного вещества пыли этих фракций мигрировать в атмосфере на большие расстояния и затем осаждаться на элементы ландшафта и гидрографической сети. В связи с этим представляется важным

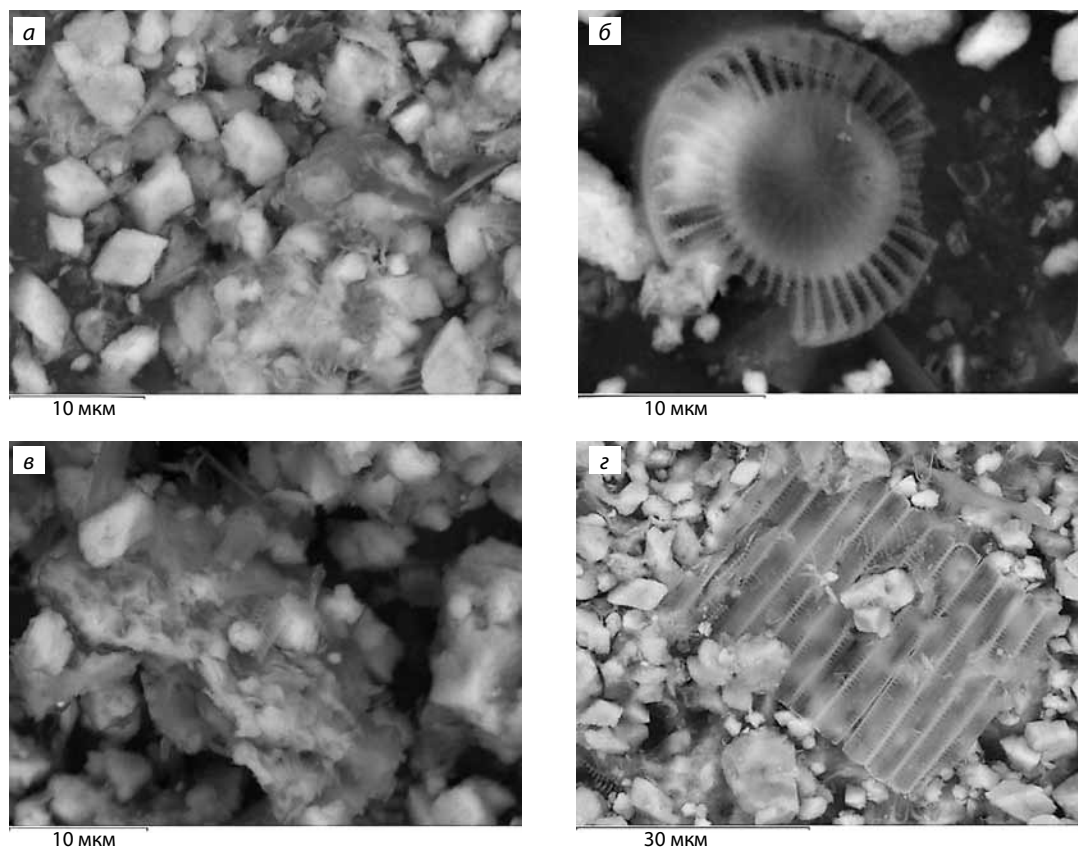


Рис. 8. Многочисленные чешуйки гидромусковита фракции $P_{2,5}$ и более крупные кристаллы кальцита в нерастворимом осадке проб воды из выпуска в реку (а, б) и самой реки (в, г)

Fig. 8. Numerous hydromuscovite flakes of the $P_{2,5}$ fraction and larger calcite crystals in the insoluble sediment of water samples from the discharge into the river (a, б) and from the river (в, г)

проведение более детальных исследований и мониторинга особенностей поведения частиц этих фракций в зависимости от графика проведения взрывных работ, географической удаленности от мест их проведения, метеоусловий и ряда других факторов.

Авторы признательны кандидатам техн. наук А.П. Аверину и А.А. Стрелецкому за помощь при отборе проб.

Список литературы

1. Анализ мелкодисперсных фракций пыли в атмосферном воздухе вблизи транспортных развязок крупного промышленного центра / Т.С. Уланова, М.В. Антипова, Е.А. Сухих и др. // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Прикладная экология. Урбанистика. 2022. № 2. С. 45-54. DOI: 10.15593/2409-5125/2022.02.05.
2. Загороднов С.Ю., Май И.В., Кокоулина А.А. Мелкодисперсные частицы ($PM_{2,5}$ и PM_{10}) в атмосферном воздухе крупного промышленного региона: проблемы мониторинга и нормирования в составе производственных выбросов // Гигиена и санитария. 2019. Т. 98. № 2. С. 142-147. DOI: 10.18821/0016-9900-2019-98-2-142-147.
3. Javed W., Guo B. Performance Evaluation of Real-time DustTrak Monitors for Outdoor Particulate Mass Measurements in a Desert Environment // Aerosol Air Quality Research. 2021. Vol. 21. Is. 6. DOI: 10.4209/aaqr.200631.
4. Khazini L., Dehkharghanian M.E., Vaezihir A. Dispersion and modeling discussion of aerosol air pollution caused during mining and processing of open-cast mines // Int. J. Environ. Sci. Technol. 2021. Vol. 19. P. 913-924. DOI: 10.1007/s13762-021-03225-1.
5. Копытенкова О.И., Леванчук А.В., Турсунов З.Ш. Оценка риска для здоровья при воздействии мелкодисперсной пыли в производственных условиях // Медицина труда и промышленная экология. 2019. Т. 59. № 8. С. 458-462. DOI: 10.31089/1026-9428-2019-59-8-458-462.
6. Касимов Н.С., Власов Д.В., Кошелева Н.Е. Химический состав дорожной пыли и ее фракции PM_{10} как индикатор загрязнения городской среды // Экология и промышленность России. 2021. Т. 25. № 10. С. 43-49. DOI: 10.18412/1816-0395-2021-10-43-49.
7. Respirable Coal Mine Dust: A Review of Respiratory Deposition, Regulations, and Characterization / Y. Shekarian, E. Rahimi, M. Rezaee et al. // Minerals. 2021. Vol. 11. P. 696. DOI: 10.3390/min11070696.
8. Янин Е.П. Промышленная пыль в городской среде (геохимические особенности и экологическая оценка). М.: ИМГПЭ. 2003. 81 стр.
9. Quantitative study of the mineralogical composition of mineral dust aerosols by X-ray diffraction / S. Nowak, S. Lafon, S. Caquineauc et al. // Talanta. 2018. Vol. 186. P. 133-139. DOI: 10.1016/j.talanta.2018.03.059.
10. Distinct chemical and mineralogical composition of Icelandic dust compared to northern African and Asian dust / C. Baldo, P. Formenti, S. Nowak et al. // Atmos. Chem. Phys. 2020. Vol. 20. P. 13521-13539. DOI: 10.5194/acp-20-13521-2020.

11. Dry Atmospheric Contribution to the Plant–Soil System Around a Cement Factory: Spatial Variations and Sources – a Case Study from Oman / Kh. Semhi, S. Al-Khribash, O. Abdalla et al. // *Water Air Soil Pollut.* 2010. Vol. 205. P.343–357. DOI: 10.1007/s11270-009-0079-8.
12. An improved procedure for the X-ray diffraction analysis of low-mass atmospheric dust samples / S. Caquineau, M.-C. Magonthier, A. Gaudichet et al. // *Eur. J. Mineral.* 1997. Vol. 9. P. 157-166. DOI: 10.1127/ejm/9/1/0157.
13. Döbelin N., Kleeberg R. Profex: a graphical user interface for the Rietveld refinement program BGMN // *Journal of Applied Crystallography.* 2015. Vol. 48. P. 1573-1580. DOI: 10.1107/S1600576715014685.

Original Paper

UDC 622.85:622.235 © E.V. Koporulina, P.M. Kartashov, V.S. Fedotenko, E.A. Volkova, 2023
ISSN 0041-5790 (Print) • ISSN 2412-8333 (Online) • Ugol' – Russian Coal Journal, 2023, № S12, pp. 38-45
DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2023-S12-38-45>

Title

DUST MINERAL COMPOSITION FROM THE REGIONS SURROUNDED THE ACTIVE OPEN-PIT MINING COMPLEXES

Authors

Koporulina E.V.^{1,2}, Kartashov P.M.^{1,3}, Fedotenko V.S.¹, Volkova E.A.²

¹ Melnikov Institute of Comprehensive Exploitation of Mineral Resources of the Russian Academy of Sciences, Moscow, 111020, Russian Federation

² Lomonosov Moscow State University, Moscow, 119991, Russian Federation

³ Institute of Ore Deposits, Petrography, Mineralogy and Geochemistry of the Russian Academy of Sciences, Moscow, 119017, Russian Federation

Authors Information

Koporulina E.V., PhD (Geological and Mineralogical),

Geological Faculty, e-mail: e_koporulina@mail.ru,

Kartashov P.M., Researcher, e-mail: pmk@igem.ru

Fedotenko V.S., Doctor of Engineering Sciences, Deputy Director for Research, e-mail: victorfedotenko@gmail.com

Volkova E.A., PhD (Chemical), Associate Professor, Geological Faculty, e-mail: el_volkova@tambler.ru

Abstract

The work presents the results of instrumental analysis of dust samples from areas, including large settlements, located outside the sanitary protection zones of a number of operating enterprises of open mining complexes. It has been shown that depending on the geological structure of the considered areas, the mineral composition of the samples varies from mainly silicate and aluminosilicate to carbonate. At the same time, the presence of fine particles of micaceous and clay minerals of fractions $PM_{2.5}$ and PM_{10} , which pose a significant danger to human health, is common to samples from all areas.

Keywords

Dust, Fractions of $PM_{2.5}$ and PM_{10} , Mineral composition, Analytical scanning electron microscopy, Phyllosilicates.

References

1. Ulanova T.S., Antipeva M.V., Sukhikh E.A. et al. Analysis of fine dust fractions in the atmospheric air near highways and intersections of a large industrial center. *Vestnik Permskogo natsional'nogo issledovatel'skogo politehnicheskogo universiteta. Prikladnaya ekologiya, urbanistika*, 2022, (2), pp. 45-54. (In Russ.). DOI: 10.15593/2409-5125/2022.02.05.
2. Zagorodnov S.Yu., May I.V., Kokoulina A.A. Fine-disperse particles ($PM_{2.5}$ and PM_{10}) in atmospheric air of a large industrial region: issues related to monitoring and standardization of suspended particles in industrial emissions. *Gigiena i sanitariya*, 2019, Vol. 98, (2), pp. 142-147. (In Russ.). DOI: 10.18821/0016-9900-2019-98-2-142-147.
3. Javed W. & Guo B. Performance Evaluation of Real-time DustTrak Monitors for Outdoor Particulate Mass Measurements in a Desert Environment. *Aerosol Air Quality Research*, 2021, Vol. 21, (6). DOI: 10.4209/aaqr.200631.
4. Khazini L., Dehkharghanian M.E. & Vaezihir A. Dispersion and modeling discussion of aerosol air pollution caused during mining and processing of open-cast mines. *Int. J. Environ. Sci. Technol.*, 2021, (19), pp. 913–924. DOI: 10.1007/s13762-021-03225-1.
5. Kopytenkova O.I., Levanchuk A.V. & Tursunov Z.Sh. Health risk assessment for exposure to fine dust in production conditions. *Medicina truda i promyshlennaya ekologiya*, 2019, Vol. 59, (8), pp. 458-462. (In Russ.). DOI: 10.31089/1026-9428-2019-59-8-458-462.
6. Kasimov N.S., Vlasov D.V. & Kosheleva N.T. Chemical composition of road dust and its PM_{10} fraction as a pollution indicator of the urban environment.

Ekologiya i promyshlennost' Rossii, 2021, Vol. 25, №. 10, pp. 43-49. (In Russ.). DOI: 10.18412/1816-0395-2021-10-43-49.

7. Shekarian Y., Rahimi E., Rezaee M., Su W.-Ch. & Roghanchi P. Respirable Coal Mine Dust: A Review of Respiratory Deposition, Regulations, and Characterization. *Minerals*, 2021, (11), pp. 696. DOI: 10.3390/min11070696.

8. Yanin E.P. Industrial dust in urban environment (geochemical features and ecological assessment). Moscow, IMGRE Publ., 2003, 81 p. (In Russ.).

9. Nowak S., Lafon S., Caquineau S., Journet E. & Laurent B. Quantitative study of the mineralogical composition of mineral dust aerosols by X-ray diffraction. *Talanta*, 2018, (186), pp. 133-139. DOI: 10.1016/j.talanta.2018.03.059.

10. Baldo C., Formenti P, Nowak S., Chevaillier S., Cazaunau M., Panguit E., Di Biagio C, Doussin J.-F., Ignatyev K., Dagsson-Waldhauserova P., Arnalds O., A. MacKenzie R. & Shi Z. Distinct chemical and mineralogical composition of Icelandic dust compared to northern African and Asian dust. *Atmos. Chem. Phys.*, 2020, (20), pp. 13521–13539. DOI: 10.5194/acp-20-13521-2020.

11. Semhi Kh., Al-Khribash S., Abdalla O., Khan T., Duplay J., Sam Chaudhuri & Salim Al-Saidi. Dry Atmospheric Contribution to the Plant–Soil System Around a Cement Factory: Spatial Variations and Sources – a Case Study from Oman. *Water Air Soil Pollut.* 2010, (205), pp. 343–357. DOI: 10.1007/s11270-009-0079-8.

12. Caquineau S., Magonthier M.-C., Gaudichet A. & Gomes L. An improved procedure for the X-ray diffraction analysis of low-mass atmospheric dust samples. *Eur. J. Mineral.* 1997, (9), pp. 157-166. DOI: 10.1127/ejm/9/1/0157.

13. Döbelin N. & Kleeberg R. Profex: a graphical user interface for the Rietveld refinement program BGMN. *Journal of Applied Crystallography*, 2015, (48), pp. 1573-1580. DOI: 10.1107/S1600576715014685.

Acknowledgements

The research was performed as part of Activity No1 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

Koporulina E.V., Kartashov P.M., Fedotenko V.S. & Volkova E.A. Dust mineral composition from the regions surrounded the active open-pit mining complexes. *Ugol'*, 2023, (S12), pp. 38-45. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2023-S12-38-45.

Paper info

Received November 1, 2023

Reviewed November 15, 2023

Accepted November 30, 2023

Результаты работы экологической опытно-промышленной установки на гидроотвале отходов флотации ЦОФ «Кузбасская»*

DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2023-S12-46-49>

БОЛОТИН Н.М.

Ведущий инженер отдела комплексного использования минерального сырья Института земной коры СО РАН, инженер-обоганитель ООО НПК «Спирит», 664033, г. Иркутск, Россия, e-mail: nmb@spirit-irk.ru

В статье ведется речь о вопросе переработки угольных шламов Кузбасса, которые негативно влияют на экосистему региона. Известные современные методы их переработки не всегда отвечают экологическим требованиям, поэтому спрос на экологически чистые технологии остается на первом месте. Автор приводит результаты лабораторных и промышленных испытаний, выполненных по гравитационной технологии обогащения, основанной на методе винтовой сепарации, которая, как всем известно, отличается своей экологичностью и простотой.

Ключевые слова: угольные шламы, обогащение, товарный продукт, винтовая сепарация, переработка угольных шламов, экологически чистая технология.

Для цитирования: Болотин Н.М. Результаты работы экологической опытно-промышленной установки на гидроотвале отходов флотации ЦОФ «Кузбасская» // Уголь. 2023. № S12. С. 46-49. DOI: 10.18796/0041-5790-2023-S12-46-49.

* 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.

ВВЕДЕНИЕ

Один из важнейших стратегических энергетических ресурсов Российской Федерации располагается на территории Кемеровской области, ведущей отраслью которой является угольная промышленность [1, 2]. Кузнецкий угольный бассейн выступает в качестве главной топливной базы для восточных районов страны, Урала и многих других регионов России. На сегодняшний день на территории Кузбасса работает огромное количество угледобывающих и углеперерабатывающих предприятий, вокруг которых в отстойниках и гидроотвалах скапливается большой объем добываемого угля, который в основной своей массе представлен тонкодисперсным угольным шламом [3, 4, 5, 6, 7]. Интерес ввода во вторичную переработку подобного сырья был и остается актуальным не только с экономической, но и с экологической точки зрения [8, 9, 10]. В связи с этим становится уместным использование экологически чистых технологий переработки угольных шламов.

Анализ современных зарубежных и отечественных технологий переработки показал, что для обогащения столь труднообогащаемого сырья все же необходимо применение каких-либо реагентов [11, 12, 13, 14, 15, 17, 18, 19], однако нашлись исследователи, которым

удалось получить качественное вторичное топливо по экологически чистой технологии обогащения. В основе их разработки лежит метод винтовой сепарации, который, как всем известно, считается одним из экологически чистых [20], в связи с чем целью настоящей работы стало проведение исследований возможного применения данного метода обогащения на угольных шламах ЦОФ «Кузбасская».

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объектом лабораторных исследований стала технологическая проба, отобранная из угольных шламов ЦОФ «Кузбасская». Определение зольности сухого топлива исходной пробы и продуктов обогащения выполнено методом ускоренного озоления (Лаборатория аналитического контроля ООО «Инженерный центр «Иркутскэнерго»). Опытно-промышленные испытания были проведены на территории гидроотвала ЦОФ «Кузбасская», анализ продуктов опробования опытно-промышленной установки выполнен в аналитической лаборатории ЦОФ «Кузбасская».

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЯ

Первым этапом работ стало проведение лабораторных технологических испытаний, в ходе которых был изучен гранулометрический состав исходных шламов и определен показатель зольности сухого топлива в каждом классе крупности. Установлено, что исследуемое сырье на 51,96% было представлено крупностью менее 20 мкм с показателем зольности сухого топлива (A^d) 25,4%, а зольность материала более 2 мм составила 35%. Практический интерес по всем своим показателям представлял материал, находящийся в диапазоне крупности от 2 до 0,02 мм с показа-

телем A^d равным 15,07%. В результате лабораторных испытаний по технологической схеме (рис. 1) удалось получить угольный концентрат с показателем зольности сухого топлива, равным 10%. Выход продукта составил 20,01%.

Полученные данные лабораторных испытаний подтвердили возможность применения метода винтовой сепарации на исследуемом сырье, но, насколько он применим для переработки всего отвала, представленных данных недостаточно, поскольку материал в одном и том же отвале может быть различен как по гранулометрическому составу, так и по показателю зольности, поэтому задача второго этапа работ заключалась в подтверждении применимости разработанной технологии непосредственно на лежащих гидроотвалах предприятия. В связи с этим была изготовлена и протестирована опытно-промышленная установка с применением аппаратов промышленного исполнения (рис. 2).

Работа на установке заключала в себе несколько операций: транспортировка, дезинтеграция, грохочение, сгущение и обогащение. Подача исходного сырья осуществлялась фронтальным погрузчиком в загрузочный бункер, оснащенный колосниковой решеткой, благодаря которой происходило удаление негабаритов, мусора и т.п. При помощи ленточного конвейера материал транспортировался в скруббер-бутару, где осуществлялись дезинтеграция и классификация сырья по крупности 2 мм. Накопление материала менее 2 мм происходило в подбутарном бункер-зумпфе, который был оснащен насосной позицией, предназначенной для осуществления перекачки материала на операцию сгущения при помощи гидроциклона. Далее слив гидроциклона (мелкий обводненный материал) направлялся в зумпф погружного насоса, а пески гидроциклона самотеком поступали на операцию винтовой сепарации.

В процессе пусконаладочных работ производилось опробование всех продуктов обогащения с целью определения показателя зольности, производительности и выхода продуктов. В результате контрольного опробования были достигнуты следующие результаты:

- производительность опытно-промышленной установки – 4,6 т/ч;
- зольность сухого топлива в исходном сырье – 43,8%;
- угольный концентрат с выходом 13,62% и показателем зольности 9,3%;
- хвосты обогащения с показателем зольности 49,34% и выходом 86,38%.

Следует отметить, что, несмотря на то, что показатель зольности исходного сырья практически в два раза превысил показатель в исследуемом материале во время лабораторных испытаний, на установке удалось получить угольный концентрат приемлемого качества, тем самым подтверждая унифицированность разработанной технологии.

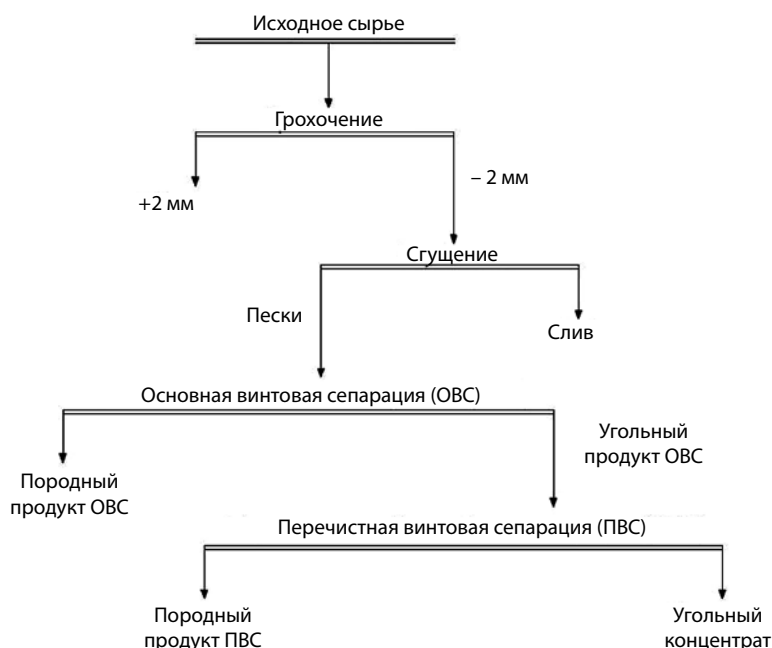


Рис. 1. Схема обогащения лабораторных технологических испытаний угольных шламов ЦОФ «Кузбасская»

Fig. 1. Scheme of enrichment of laboratory technological tests of coal sludge at Kuzbasskaya factory

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, была показана возможность применения разработанной технологии для переработки лежалых хвостов углеперерабатывающих предприятий. Поскольку в основе разработки лежит метод винтовой сепарации, в процессе проведения которой, не используются никакие реагенты, то представленная технология может считаться экологически чистой.

Список литературы

1. Энергетическая стратегия Российской Федерации на период до 2035 года утвержденная Правительством РФ от 9 июня 2020 г. № 1523-р. С. 18-19.
2. Государственный доклад о состоянии и использовании минерально-сырьевых ресурсов Российской Федерации в 2021 году. С. 73-90.
3. Таразанов И.Г. Итоги работы угольной промышленности России за 2012 год // Уголь. 2013. № 3. С. 78-90.
4. Федеральное агентство по недропользованию: Информационные материалы К 300-летию Кузбасса: История промышленного освоения. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.rosnedra.gov.ru/article/13345.html> (дата обращения: 15.11.2023).
5. Кузнецкий угольный бассейн. [Электронный ресурс]. URL: <https://dic.academic.ru/dic.nsf/ruwiki/54975> (дата обращения: 15.11.2023).
6. Козлов В.А., Новак В.И. Оптимизация работы углеобогащательной фабрики с целью получения максимального выхода концентрата // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2019. С. 175-186.
7. Сипотенко А.И., Коткин А.М. Совершенствование техники и технологии обработки шламов для сокращения их выхода как отдельного товарного продукта М.: ЦНИЭИУголь, 1991.
8. Прокопьев Е.С., Алексеева О.Л. Оценка возможности вовлечения в переработку углеродсодержащих отходов шламохранилища Западносибирского металлургического комбината // Науки о Земле и недропользование. 2022. Т. 45. № 4. С. 446-457.
9. 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.
10. Киреев С.А. Современное состояние и экологическая оценка влияния породных отвалов предприятий угольной промышленности // Известия ТулГУ. Науки о Земле. 2022. С. 62-70.
11. Behera B., Sahu H.B. Coal mine waste characterization and defluoridation property // Heliyon. 2023. No 9. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e13244> /.
12. Korbayeva A.N., Portnov S., Kim S.P. Tectonic factors of impurity elements accumulation at the Shubarkol coal deposit (Kazakhstan). January. 2020. DOI: 10.33271/nvngu/2021-5/011/.
13. 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

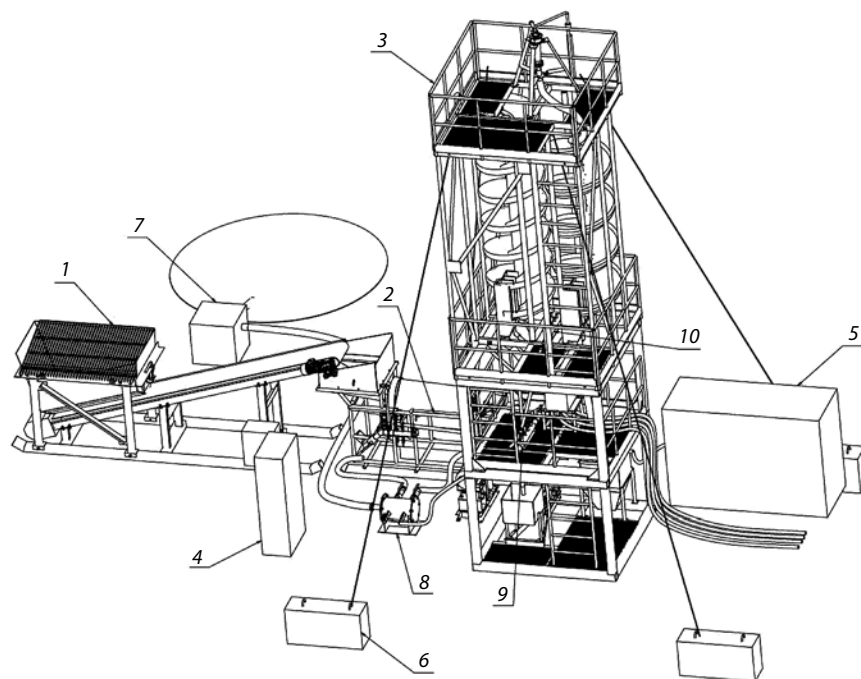


Рис. 2. Общий вид опытно-промышленной установки: 1 – бункеры-питатели с ленточным конвейером; 2 – скруббер-барабаны СБ-0,45; 3 – эстакады с обогащательным оборудованием: гидроциклон марки ГЦП-100, винтовые сепараторы марки СВУ1-1000 и СВМ1-1000; 4 – шкаф управления (основной); 5 – шкаф дизельной электростанции; 6 – четыре бетонных блока; 7 – мотопомпы; 8 – коллектор 1.1 (основной); 9 – коллектор 2.2; 10 – коллектор 3.3

Fig. 2. General view of the pilot plant: 1 – feeder hopper with belt conveyor; 2 – scrubber drums SB-0.45; 3 – trestles with enrichment equipment: hydrocyclone brand GTSP-100, screw separators brand SVU1-1000 and SVM1-1000; 4 – control cabinet (main); 5 – diesel power plant; 6 – 4 concrete blocks; 7 – motor pumps; 8 – manifold 1.1 (main); 9 – collector 2.2; 10 – collector 3.3

Concrete. October. 2020. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-60839-2-29/>.

14. 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 // Madencilik – Mining. 2023. No 62(1). P. 7-15. <https://doi.org/10.30797/madencilik.1111260/>.
15. Moszko J.C., Wierzchowski K., Klupa A. Evaluation of the Possibility of the hard coal sludge enrichment by flotation. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-127361/v1>.
16. Сипотенко А.И., Коткин А.М. Совершенствование техники и технологии обработки шламов для сокращения их выхода как отдельного товарного продукта. М.: ЦНИЭИУголь, 1991.
17. Козлов В.А., Новак В.И. Применение колонковой флотации в угольной промышленности // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2011. № 4. С. 277-282.
18. Новак В.И. Обоснование и разработка рациональной технологии флокуляционного разделения тонкодисперстных угольных шламов. М.: ИОТТ-МГТУ, 2012.
19. Белоусов В.А. Основные направления интенсификации флотационного обогащения углей // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2014. № 11-5. С. 719-721.
20. 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.

Original Paper

UDC 552.574 © N.M. Bolotin, 2023

ISSN 0041-5790 (Print) • ISSN 2412-8333 (Online) • Ugol' – Russian Coal Journal, 2023, № S12, pp. 46-49

DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2023-S12-46-49>**Title****RESULTS OF WORK OF ECOLOGICAL EXPERIMENTAL INDUSTRIAL INSTALLATIONS AT THE FLOTATION WASTE HYDRO DISPOSAL OF THE KUZBASS CEP****Authors**Bolotin N.M.^{1,2}¹ Institute of the Earth's Crust of SB RAS, Irkutsk, 664033, Russian Federation² LLC Research and Production Company Spirit, Irkutsk, 664033, Russian Federation**Authors information****Bolotin N.M.**, Leading Engineer, Department of Integrated Utilization of Mineral Raw Materials, Beneficiation Engineer, e-mail: nmb@spirit-irk.ru**Abstract**

The article discusses the issue of processing coal sludge from Kuzbass, which negatively affects the ecosystem of the region. Known modern methods of their processing do not always meet environmental requirements, so the demand for environmentally friendly technologies remains in the first place. The author presents the results of laboratory and industrial tests performed using gravitational enrichment technology based on the screw separation method, which, as everyone knows, is distinguished by its environmental friendliness and simplicity.

Keywords

Coal sludge, Enrichment, Commercial product, Spiral separation, Coal sludge processing, Environmentally friendly technology.

References

1. Energy Strategy of the Russian Federation until 2035 approved by the Government of the Russian Federation, Decree No 1523-r as of June 09, 2020 pp. 18-19. (In Russ.).
2. State Report on the condition and use of mineral resources of the Russian Federation in 2021, pp. 73-90. (In Russ.).
3. Tarazanov I. Russia's Coal Industry Performance in 2012. *Ugol'*, 2013, (3), pp. 78-90. Available at: <http://www.ugolinfo.ru/Free/042013pdf> (accessed 15.11.2023). (In Russ)
4. Federal Subsoil Resources Management Agency: Information materials for the tercentennial anniversary of Kuzbass History of industrial development. [Electronic resource]. Available at: <https://www.rosnedra.gov.ru/article/13345.html> (accessed 15.11.2023). (In Russ.).
5. The Kuznetsk coal basin. [Electronic resource]. Available at: <https://dic.academic.ru/dic.nsf/ruwiki/54975> (accessed 15.11.2023). (In Russ.).
6. Kozlov V.A., Novak V.I. Optimization of coal preparation plant operation to maximize concentrate yield. *Gornyj informatsionno-analiticheskij byulleten'*, 2019, pp. 175-186. (In Russ.).
7. Sipotenko A.I. & Kotkin A.M. Enhancement of equipment and technology of sludge treatment to reduce its yield as a separate marketable product, Moscow, TsNIEUgol' Publ., 1991. (In Russ.).
8. 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.).
9. 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.).
10. Kireyev S.A. Current state and environmental assessment of the impact of rock dumps of coal industry operations. *Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Nauki o Zemle*, 2022, pp. 62-70. (In Russ.).
11. Behera B. & Sahu H.B. Coal mine waste characterization and defluoridation property. *Heliyon*, 2023, (9). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e13244>.

12. Kopobayeva A.N., Portnov S. & Kim S.P. Tectonic factors of impurity elements accumulation at the Shubarkol coal deposit (Kazakhstan). January. 2020. DOI: 10.33271/nvngu/2021-5/011.

13. 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. October. 2020. https://doi.org/10.1007/978-3-030-60839-2_29.

14. 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. *Madencilik – Mining*, 2023, 62(1). pp. 7-15.

15. Moszko J.C., Wierzchowski K. & Klupa A. Evaluation of the Possibility of the hard coal sludge enrichment by flotation, 2020. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-127361/v1> December 17th.

16. Sipotenko A.I. & Kotkin A.M. Enhancement of equipment and technology of sludge treatment to reduce its yield as a separate marketable product. Moscow, TsNIEUgol' Publ., 1991. (In Russ.).

17. 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.).

18. Novak V.I. Justification and development of a rational technology of flocculation separation of fine coal slimes. Moscow, IOTT-MGGU Publ., 2012. (In Russ.).

19. Belousov V.A. Main trends in intensification of coal flotation preparation. *Mezhdunarodnyj zhurnal prikladnykh i fundamental'nykh issledovanij*, 2014, (11-5), pp. 719-721. (In Russ.).

20. 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.).

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

Bolotin N.M. Results of work of ecological experimental industrial installations at the flotation waste hydro disposal of the Kuzbass CEP. *Ugol'*, 2023, (S12), pp. 46-49. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2023-S12-46-49.

Paper info

Received November 1, 2023

Reviewed November 15, 2023

Accepted November 26, 2023

Растительный покров территории отвала угольного разреза и сопредельных территорий*

DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2023-S12-50-55>

ИЗМАЙЛОВ А.И.

Младший научный сотрудник
Кузбасского гуманитарно-педагогического института
ФГБОУ ВО «Кемеровский
государственный университет»,
654041, Новокузнецк, Россия,
e-mail: mister.anton-nk@yandex.ru

Увеличение объемов добычи угля в Кемеровской области открытым способом приводит к значительному увеличению площади нарушенных земель, частичному или полному уничтожению биологического разнообразия. Особенно это касается лугово-степных экосистем, которые практически не восстанавливаются при естественном зарастании отвалов. Целью исследования являлось определение состояния нативного растительного покрова на экспериментальном участке и сопредельных территориях. В ходе исследований проведена оценка нативного растительного покрова в окрестностях экспериментального участка техногенных ландшафтов, проанализированы экологический спектр и жизненные формы растений, слагающих исследованные фитоценозы. Выявлено, что основу растительного покрова в районе тестового полигона составляет сочетание луговой и лесной растительности. Лесные сообщества представлены исключительно мелколиственными лесами, характерными для юга Сибири, с хорошо развитым травяным покровом, состоящим преимущественно из луговых видов. Травянистые сообщества представлены луговыми степями, остепненными и остепненными лесными лугами, широко распространенными в лесостепи и подтайге Западной и Средней Сибири. Ядро травостоя этих сообществ составляют лугово-степные и лугово-лесные виды. На основании характеристик растительного покрова предложены мероприятия по снижению неблагоприятных техногенных последствий при биоремедиации растительного покрова.

Ключевые слова: Кузбасс, Кузнецкая котловина, растительность, луга, леса, экология.

Для цитирования: Измайлов А.И. Растительный покров территории отвала угольного разреза и сопредельных территорий // Уголь. 2023. № 512. С. 50-55. DOI: 10.18796/0041-5790-2023-S12-50-55.

* Работа ведется в рамках Распоряжения Правительства Российской Федерации от 11.05.2022 № 1144-р, 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 из угольного сырья при последовательном снижении экологической нагрузки на окружающую среду и рисков для жизни населения» («Чистый уголь – зеленый Кузбасс»), мероприятие 3.1 «Экополигон мирового уровня технологий рекультивации и ремедиации» (соглашение № 075-15-2022-1200 от 28.09.2022).

ВВЕДЕНИЕ

Кузнецкий угольный бассейн является одним из крупнейших месторождений мира, которое расположено на юге Западной Сибири, главным образом на территории Кемеровской области – Кузбасса. Благодаря наличию больших объемов разведанных запасов углей с высокими характеристиками, соответствующими требованиям рынка, состоянию инфраструктуры, горнотехническим условиям и значимости в топливно-энергетическом балансе мира Кузбасс еще долго будет оставаться ведущим угледобывающим регионом России.

Негативной стороной текущей модели развития угольной отрасли Кузбасса и наращивания открытой добычи является увеличение площади нарушенных земель, при котором изменяется общий профиль земной поверхности, полностью или частично уничтожается биологическое разнообразие [1]. В связи с этим требуется разработка новых технологий восстановления биологического разнообразия нарушенных земель при открытой добыче угля. При этом можно выделить две крупные проблемы: восстановление лугово-степных экосистем, которые практически не способны самосто-

ательно возобновиться при естественном зарастании отвалов, и рациональное использование снимаемого слоя плодородной почвы при подготовке площадки территории угольного разреза и отвалов [2].

Для решения первой проблемы необходимы знания о состоянии естественного растительного покрова и процессах его восстановления после антропогенной деятельности. Имеющиеся в настоящее время представления о растительном покрове Кузнецкой котловины в целом и непосредственно в изучаемом районе основываются на исследованиях ученых различных направлений ботанической науки за последние два столетия. При этом гораздо шире освещены в литературе вопросы флористического разнообразия, нежели характеристики растительного покрова котловины.

Обобщающим трудом по растительности Кузнецкой котловины является работа А.В. Куминовой «Растительность Кемеровской области», в которой подводится итог многолетних исследований предшественников [3]. К настоящему времени материалы А.В. Куминовой дополнены значительным рядом работ, среди которых работы Г.П. Будниковой, Э.Д. Крапивкиной, Т.В. Мальцевой и Н.И. Макуниной [4].

Несмотря на наличие значительного массива работ, посвященных исследованию растительного покрова области, многие районы, особенно находящиеся в пределах распространения угольных пластов, в связи с трудностью доступа недостаточно изучены.

Целью исследования являлось определение состояния нативного растительного покрова на экспериментальном участке и сопредельных территориях.

Исследования проводились на плакорах. На территории, прилегающей к экспериментальному участку техногенных ландшафтов, были визуально выделены участки, представляющие собой естественные или близкие к естественным растительные сообщества. На них выполнены полные геоботанические описания по стандартным методикам на площадках по 100 кв. м.

ХАРАКТЕРИСТИКА РАЙОНА ИССЛЕДОВАНИЯ

Согласно агроклиматическому районированию, экспериментальный участок техногенных ландшафтов расположен в умеренно теплом, увлажненном горном климате.

Согласно ботанико-географическому районированию, разработанному А.В. Куминовой, территория исследования относится к центральному подрайону Томь-Кондомского предгорного переходного района. Район является переходным от горных поднятий Кузнецкого Алатау к равнинным степям котловины, характеризуется пересеченным, но уже низкогорным рельефом, довольно разнообразным почвенным покровом. Характерным ландшафтом района будет лесостепь с березовыми и березово-осиновыми перелесками, суходольными и лесостепными лугами и сравнительно обширными территориями, занятыми под пахотными угодьями или разновозрастными залежами. Ландшафт района носит черты вторичности [3].

Растительность подрайона имеет характер лесостепи с возрастанием залесенности к юго-востоку. Непосредственно территория центрального подрайона охватывает самую южную часть Кузнецкой котловины и более чем

другие части района показывает близость к комплексу природных условий степей.

Уничтожение леса в последнее столетие повлекло за собой резкое увеличение открытых безлесных пространств, которые в настоящее время заняты под пашни или представляют из себя суходольные луга с большим участием в травостое лесных форм.

ХАРАКТЕРИСТИКА НАТИВНОЙ РАСТИТЕЛЬНОСТИ ИЗУЧАЕМОГО РАЙОНА

Основу растительного покрова в районе тестового полигона составляет сочетание луговой и лесной растительности. На долю лесов приходится менее 50%. Лесные сообщества представлены исключительно мелколиственными лесами с хорошо развитым травяным покровом. Травянистые сообщества представлены луговыми степями, остепненными и остепненными лесными лугами (см. таблицу).

Среди лесных сообществ изучаемого района отмечены леса ассоциации *Calamagrostio – Betuletum*, которые впервые были описаны для предгорной полосы Салаирского кряжа [5]. На всем выявленном ареале сообщества ассоциации произрастают на склоновых хорошо дренированных местообитаниях в условиях подтайги и северной лесостепи Алтае-Саянской горной области.

В пределах Кузнецкой котловины эти сообщества были описаны на Караканском хребте [6], на древних террасах реки Томь [7] и в самой Кузнецкой котловине [4].

Древесный ярус в данных сообществах характеризуется сомкнутостью 0,4-0,7, преобладанием в древостое березы повислой – *Betula pendula Roth* высотой до 22 м. В составе яруса может наблюдаться небольшая примесь осины – *Populus tremula L.* В видовой состав данных лесов входят широко распространенные луговые виды, отражающие высокую степень антропогенной трансформации сообществ [8]. Эти леса расстроены бессистемными рубками, выпасом и частыми пожарами, в результате чего происходят осветление древостоя и ксерофитизация травостоя.

Луговые степи представлены полидоминантным разнотравно-злаковым вариантом и принадлежат ассоциации *Oxytropido campanulatae – Stipetum pennatae*. Согласно литературным данным, эта ассоциация объединяет луговые степи и остепненные луга северной части лесостепной зоны юго-востока Западно-Сибирской равнины [5].

Для сообществ ассоциации характерен высокий и густой травостой, общее проективное покрытие составляет 80-90%. В верхнем подъярусе (до 80-100 см) обильны *Calamagrostis epigeios (L.) Roth*, *Centaurea scabiosa L.* Средний подъярус (50-60 см) образован *Poa angustifolia L.*, *Phleum phleoides (L.) H. Karst.*, к которым в заметном обилии примешиваются *Vicia cracca L.*, *Trifolium pratense L.*, *Pimpinella saxifrage L.*, *Achillea asiatica Serg.* В нижнем подъярусе (10-20 см) доминируют лугово-степные виды, такие как *Fragaria viridis Weston*, *Iris ruthenica Ker Gawl.* В сообществах ассоциации с высоким постоянством присутствует группа лугово-лесных растений. Видовое богатство сообществ – в среднем 50 видов на 100 кв. м.

Описанные нами остепненные луга принадлежат ассоциации *Filipendulo vulgaris-Dactyletum glomeratae*. В центральной части Кузнецкой котловины, где распаханые

Обзорная таблица видового разнообразия растительных сообществ на исследуемой территории

Overview table of the species diversity in the plant communities of the investigated area

| Вид | Мелколи- ственные леса | Луговые степи | Остепнен- ные луга | Остепнен- ные лесные луга | Вид | Мелколи- ственные леса | Луговые степи | Остепнен- ные луга | Остепнен- ные лесные луга |
|---------------------------|------------------------------|------------------|-----------------------|---------------------------------|-------------------------|------------------------------|------------------|-----------------------|---------------------------------|
| Achillea asiatica | + | + | + | | Lilium pilosiusculum | + | - | - | - |
| Achillea impatiens | 1 | - | - | 1 | Linaria vulgaris | - | 1 | 1 | - |
| Aconitum barbatum | - | 1 | - | - | Lonicera tatarica | 1 | - | - | - |
| Aconitum volubile | + | - | - | - | Medicago falcata | - | - | + | - |
| Adenophora liliifolia | + | - | - | - | Origanum vulgare | + | 1 | 1 | 1 |
| Aegopodium podagraria | - | - | - | 1 | Pedicularis elata | - | - | - | + |
| Agrimonia pilosa | + | 1 | 1 | - | Phleum phleoides | - | 1 | - | - |
| Angelica sylvestris | + | - | + | - | Phleum pratense | - | - | 1 | 1 |
| Anthriscus sylvestris | - | - | + | 1 | Phlomis tuberosa | + | 1 | 2 | 1 |
| Arctium tomentosum | + | - | - | - | Picris hieracioides | + | - | - | - |
| Artemisia vulgaris | + | - | - | - | Pleurospermum uralense | + | - | - | - |
| Betula pendula | 3 | - | - | - | Poa angustifolia | + | 2 | 1 | 1 |
| Bromopsis inermis | - | 1 | - | - | Polemonium caeruleum | - | - | + | + |
| Bupleurum aureum | + | - | 1 | 1 | Polygonatum humile | + | - | - | - |
| Calamagrostis arundinacea | + | - | - | - | Polygonatum odoratum | + | 1 | + | 1 |
| Calamagrostis epigeios | 1 | - | 1 | 2 | Populus tremula | + | - | - | - |
| Campanula glomerata | + | - | + | + | Potentilla argentea | - | - | + | - |
| Carex macroura | 1 | - | - | - | Potentilla chrysantha | - | 1 | - | - |
| Carum carvi | - | 1 | - | - | Pteridium aquilinum | 1 | - | - | - |
| Centaurea scabiosa | + | 2 | 2 | + | Pulmonaria mollis | + | - | 1 | 1 |
| Cirsium heterophyllum | - | - | - | 1 | Pulsatilla patens | - | - | + | - |
| Cirsium setosum | + | - | + | - | Ranunculus grandiflorus | - | + | - | - |
| Convolvulus arvensis | - | + | - | - | Ranunculus monophyllus | + | - | - | - |
| Crataegus sanguinea | + | - | - | - | Ranunculus polyanthemus | - | - | 1 | - |
| Crepis sibirica | + | - | 2 | 1 | Rhinanthus aestivalis | - | + | - | + |
| Dactylis glomerata | + | 2 | 2 | 2 | Rosa majalis | + | - | - | - |
| Delphinium retro-pilosum | + | + | + | - | Rubus saxatilis | + | - | 1 | 1 |
| Dianthus versicolor | - | + | - | - | Rumex crispus | + | - | - | + |
| Drachypodium pinnatum | + | - | - | - | Sanguisorba officinalis | + | 1 | 1 | 1 |
| Dracocephalum nutans | - | + | - | - | Senecio erucifolius | - | - | + | - |
| Dracocephalum ruyschiana | - | 1 | 1 | - | Senecio jacobaea | - | + | - | - |
| Elytrigia repens | + | 1 | 1 | 1 | Serratula coronata | + | - | - | - |
| Equisetum pratense | + | - | - | 1 | Seseli libanotis | - | - | + | - |
| Equisetum silvatica | - | - | 1 | - | Silene repens | - | + | + | + |
| Euphorbia lutescens | + | - | - | - | Silene sibirica | - | + | + | - |
| Euphorbia virgata | - | - | - | 1 | Stellaria graminea | - | - | + | - |
| Filipendula ulmaria | - | 1 | 1 | 1 | Stipa pennata | - | 2 | - | - |
| Filipendula vulgaris | - | 1 | - | - | Tephrosia integrifolia | - | 1 | - | - |
| Fragaria viridis | 3 | 3 | 2 | - | Thalictrum minus | + | 1 | 1 | - |
| Galium boreale | + | 1 | 1 | 1 | Thalictrum simplex | - | + | - | + |
| Galium verum | - | - | 1 | 1 | Trifolium lupinastre | - | 1 | 1 | + |
| Geranium bifolium | + | - | - | - | Trollius asiaticus | + | - | - | + |
| Geranium pratense | + | + | - | + | Trommsdorffia maculata | - | + | - | - |
| Geranium pseudosibiricum | - | - | - | + | Urtica dioica | + | - | - | - |
| Geranium sibirica | 1 | - | 1 | - | Veratrum lobelianum | - | - | - | + |
| Geranium sylvaticum | + | - | - | - | Veronica chamedris | - | + | 1 | 1 |
| Heracleum dissectum | - | - | 1 | + | Veronica longifolia | - | - | - | 1 |
| Hieracium umbellatum | + | - | 1 | - | Viburnum opulus | + | - | - | - |
| Hypericum perforatum | - | - | - | 1 | Vicia cracca | - | 1 | 1 | 1 |
| Inula salicina | + | - | - | 1 | Vicia sepium | + | - | + | - |
| Iris rithenica | + | - | - | - | Vicia silvatica | - | - | - | 1 |
| Knautia arvensis | - | 1 | - | - | Vicia unijuga | + | 1 | 1 | + |
| Lathyrus gmelinii | + | - | - | + | Viola canina | - | - | 1 | - |
| Lathyrus pisiformis | - | + | 1 | + | Viola hirta | + | - | 1 | - |
| Lathyrus pratensis | + | 1 | 1 | 1 | Viola mirabilis | + | - | - | - |
| Lathyrus vernus | + | - | - | - | Viola uniflora | + | - | - | - |
| Leucanthemum vulgare | - | + | - | + | | | | | |

Примечание. В ячейках приводится обилие видов в баллах шкалы Браун-Бланке:

+ – менее 1%; 1 – 1-5%; 2 – 5-25%; 3 – 25-50%; 4 – 50-75%; 5 – 75-100%.

в настоящее время плакоры когда-то занимали луговые степи, остепненные луга приурочены к неглубоким ложбинам и тенистым склонам. Ближе к ее периферии они занимают плакорные местообитания, а в подтайге остепненные луга смещаются на южные склоны [9].

Диагностический блок ассоциации сложен двумя большими группами видов. Присутствие диагностических видов *Fragaria viridis* Weston, *Galium verum* L., *Phlomis tuberosa* (L.) Moench, *Phleum phleoides* (L.) H. Karst., *Poa angustifolia* L., *Seseli libanotis* (L.) W.D.J. Koch отличает остепненные луга от настоящих лугов, присутствие луговых видов (*Festuca pratensis* Huds., *Leucanthemum vulgare* Lam., *Phleum pratense* L., *Trifolium pratense* L.) – от луговых степей.

Травостой слабонарушенных остепненных лугов густой, со средним проективным покрытием 90-95%. Верхний подъярус (90-110 см) постепенно переходит в средний (50-60 см). При постоянном сенокосении верхний подъярус изреживается и четко отделяется от среднего, в котором сосредоточена основная масса травостоя. В местах разрежения двух верхних подъярусов выражен нижний подъярус высотой около 20 см.

Остепненные лесные луга в изучаемом районе представлены ассоциацией ***Filipendulo vulgaris–Brachypodietum pinnatae***, они образуют буферную зону между травяными лесами и луговыми степями или остепненными лугами. Их роль в сложении растительного покрова увеличивается по мере движения от равнины к горам [9].

Доминируют злаки: *Elytrigia repens* (L.) Nevski, *Dactylis glomerata* L., *Festuca pratensis* Huds., *Phleum pratense* L.

Флористическое ядро остепненных лесных лугов изученной территории сложено тремя группами видов: лугово-лесной (*Aconitum volubile* Pall. ex Koelle), луговой (*Elytrigia repens* (L.) Nevski, *Sanguisorba officinalis* L.), лугово-степной (*Galium verum* L., *Phlomis tuberosa* (L.) Moench, *Fragaria viridis* Weston, *Tragopogon orientalis* L.).

Травостой – густой (проективное покрытие – около 90%). Доминируют лугово-лесные злаки: *Dactylis glomerata* L. и др. Довольно велика роль сибирского высокотравья: *Lathyrus gmelinii* Fritsch, *Euphorbia pilosa* L., *Pleurospermum uralense* Hoffm., *Aconitum septentrionale* Koelle, *Angelica sylvestris* L. Средний подъярус сложен лугово-лесным разнотравьем: *Trollius asiaticus* L., *Bistorta officinalis* Delarbre, *Lamium album* L., *Galium boreale* L., *Achillea ptarmica* L. и др. Нижний подъярус составляют *Pulmonaria mollis* Wulfen ex Hornem., *Viola uniflora* L., *Rubus saxatilis* L.

ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ РАСТИТЕЛЬНОСТИ

Экологический анализ ценофлоры высших сосудистых растений проводился согласно традиционному подразделению видов на соответствующие экологические группы. Экологические группы выделялись по отношению к трем факторам: режиму увлажнения, каменистости субстрата и содержанию карбонатов в почве. Следуя Н.Н. Лашинскому [6], виды изучаемой флоры распределены на следующие группы: ксерофиты, мезоксерофиты, мезофиты, мезогигрофиты, гигрофиты и гидрофиты.

На долю мезофитов и мезогигрофитов приходится 72% видового состава флоры. Ксерофиты и мезоксерофиты представлены 27 видами (24%). Меньшую роль в сложении

ценофлоры играют гигрофиты (4%). Наблюдаемое соотношение экологических групп отражает типично мезофитный характер исследованной ценофлоры.

По отношению к каменистости субстрата выделены три группы: облигатные петрофиты – виды, поселяющиеся на скалах, осыпях, каменистых и щебнистых субстратах; факультативные петрофиты – виды других местообитаний, но способные выживать на каменистых субстратах; непетрофиты – растения, избегающие каменистых субстратов.

Как отмечено ранее, исследуемая территория характеризуется однородностью природных условий. Отсутствие участков с каменистыми, щебнистыми и галечными грунтами определяет ничтожно малую роль облигатных петрофитов (2%) в ценофлоре.

Группа факультативных петрофитов весьма многочисленная и гетерогенная. Среди них лидируют растения, способные переносить дефицит влаги: ксерофиты (3 вида) и мезоксерофиты (7 видов); к мезофитам относится 21 вид. По признаку эколого-географической приуроченности в ценофлоре лидируют лесостепные (15 видов) и степные (10 видов) растения.

Преобладающей является группа растений, избегающих каменистых субстратов, – 75%. По отношению к содержанию карбонатов в почве все виды ценофлоры исследуемой территории разбились на две группы: факультативных кальцефитов (5 видов) и некальцефитов (109 видов), последние предпочитают кислые или нейтральные почвы и не встречаются на карбонатных субстратах.

Таким образом, в настоящее время экологические условия исследуемой территории способствуют в наибольшей степени произрастанию растений среднего режима увлажнения – непетрофитов и некальцефитов.

АНАЛИЗ ЖИЗНЕННЫХ ФОРМ

В процессе длительного исторического развития растения приобрели различные эколого-биологические особенности, соответствующие конкретным условиям окружающей среды. Эти приспособительные особенности придают растениям определенный внешний облик и обуславливают определенную жизненную форму.

Наиболее разработанной современной классификацией жизненных форм на основе эколого-морфологических признаков является классификация, предложенная И.Г. Серебряковым [10]. В соответствии с ней жизненную форму высших растений можно определить как своеобразный общий облик (габитус), возникающий в процессе онтогенеза в определенных условиях среды. Исторически этот габитус развился в данных почвенно-климатических и ценологических условиях как выражение адаптации к ним. В основу системы положены признак продолжительности жизни, степень одревеснения осей и способ размножения.

Спектр жизненных форм исследуемой территории показал, что ценофлора в целом отражает черты бореальной флористической области и типична для флор умеренных широт. В составе флоры преобладают наземные травы (110 видов, 96%). Среди травянистых растений наибольшая часть приходится на наземные поликарпические – 90%. Доля вегетативно подвижных трав: длиннокорневищных, ползучих, столонообразующих и корнеотпрысковых

невелика – 20%, напротив, вегетативно малоподвижные многолетние травы составляют 70%, такое соотношение характерно для зональных стабильных сообществ [11].

Группа стержнекорневых растений составляет 15 видов (*Delphinium retrotilosum*, *Medicago falcata* и др.). Подобные жизненные формы характерны для степных и лесостепных флор.

Значительным числом видов в ценофлоре (35%) представлены группы кистекокорневых и короткокорневищных растений, свойственных луговому и лесному ценозам (*Geranium pratense*, *Thalictrum minus*, *Lathyrus gmelinii* и др.).

Большая часть рыхлокустовых (15 видов) и длиннокорневищных (34 вида) дерновых многолетников – лесные, луговые и прибрежно-водные растения (*Phleum pratense*, *Veronica longifolia* и др.). Группы ползучих многолетних трав и луковичных не встречаются.

Группу корнеклубневых растений (6 видов) составляют лесостепные и степные виды (*Filipendula vulgaris*, *Phlomis tuberosa* и др.).

Лиановидные жизненные формы представлены травянистыми поликарпиками (*Lathyrus pisiformis*, *Lathyrus pratensis*, *Vicia cracca*, *Vicia sepium*, *Vicia sylvatica*), это лесные и пойменные растения.

В изученной ценофлоре весьма незначительной является группа малолетних травянистых растений, она представлена 2 видами. Вклад в видовое богатство флоры древесных растений (4 вида) составляет 1,8%. Представленная группа состоит из: основных эдификаторов древесного яруса смешанных колков – *Betula pendula* и *Populus tremula* и кустарников – *Rosa majalis* и *Crataegus sanguinea*.

Таким образом, анализ жизненных форм показал, что флора исследуемой территории типично бореальная с резким преобладанием травянистых растений [12].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Экспериментальный участок техногенных ландшафтов находится в переходной зоне между горными поднятиями Кузнецкого Алатау и межгорной Кузнецкой котловиной, характеризуется умеренно теплым, увлажненным горным климатом. Характерный ландшафт района – лесостепь с березовыми и березово-осиновыми перелесками. Основу растительного покрова в районе тестового полигона составляет сочетание луговой и лесной растительности.

Лесные сообщества представлены исключительно мелколиственными лесами, характерными для юга Сибири, с хорошо развитым травяным покровом, состоящим преимущественно из луговых видов. Травянистые сообщества представлены луговыми степями, остепненными и остепненными лесными лугами, широко распространенными в лесостепи и подтайге Западной и Средней Сибири. Ядро травостоя этих сообществ составляют лугово-степные и лугово-лесные виды.

Из анализа жизненных форм установлено, что ценофлора исследуемой территории типично бореальная, с резким преобладанием травянистых растений. Ее можно рассматривать как преимущественно равнинную, сформировавшуюся из лесной группы с высокой долей лесостепных и степных видов. Экологические условия исследуемой территории способствуют в наибольшей степени произрас-

танию растений среднего режима увлажнения с большой долей засухоустойчивых видов.

Поскольку основное негативное влияние на растительный покров территорий в окрестностях экспериментального участка оказывают непосредственное нарушение и сведение растительного покрова, и в существенно меньшей степени – изменение состава атмосферы, грунтовых вод и другие воздействия, оказываемые непосредственно угледобывающим предприятием на окружающую среду, то можно предложить следующие мероприятия по снижению неблагоприятных техногенных последствий при биоремедиации растительного покрова:

1. Минимизировать площади нарушений при разработке новых площадей предприятия: не допускать образования спонтанных свалок, мест сброса техногенных отходов, разездов тяжелой техники вне мест, где это необходимо.

2. Проводить обязательную биологическую рекультивацию и реставрацию растительных сообществ на участках нарушений, не оставлять территории на «самозарастание».

3. Проводить мероприятия по подсеву степных и лугово-степных злаков на существующие площади нарушенных территорий.

Известно, что наиболее сложными объектами для озеленения являются транспортные отвалы, в особенности те, склоны которых обращены на юг и запад, так как в дневные часы температура поверхностного слоя субстрата может достигать +50°C. В весенне-летний период сильный плоскостной смыв на таких склонах препятствует задержанию семян и сеянцев высаженных растений. Растения не могут начать рост и закрепиться в крайне неблагоприятных экологических условиях (дефицит влаги, критические значения летних и зимних температур, эрозия), поэтому в таких экотопах долгое время самостоятельно не формируется сомкнутый растительный покров. Для того чтобы инициировать процесс сингенеза, необходимо искусственно сформировать промежуточную стадию сукцессии из травянистых видов растений. В связи с этим возникает необходимость подбора видов растений с широкой экологической амплитудой и разработки способов их посадки с учетом вышеуказанных особенностей. Предлагаемые варианты биологической рекультивации на исследованном участке отвала угольного разреза должны включать нанесение плодородного слоя почвы (ПСП) и потенциально плодородного слоя почвы (ППСП) и высевание злаково-разнотравной смеси, которая позволит создать дернину для улучшения условий дальнейшего распространения зональной растительности.

Список литературы

1. Копытов, А.И. Новая стратегия развития угольной отрасли Кузбасса и решение экологических проблем / А.И. Копытов, А.Н. Куприянов // Уголь. 2019. № 11. С. 89-93. DOI: 10.18796/0041-5790-2019-11-89-93.
2. Добыча угля в Кузбассе и новые экотехнологии / А.И. Копытов, О.А. Куприянов, Ю.А. Манаков и др. // ЭКО. 2021. № 6. С. 67-76. DOI: 10.30680/ЕКО0131-7652-2021-6-67-76.
3. Куминова А.В. Растительность Кемеровской области. Новосибирск: Академия наук Союза ССР Западно-Сибирский филиал, 1949. 167 с.

4. Макунина Н.И., Мальцева Т.В. Растительность лесостепных и подтаежных предгорий Алтае-Саянской горной области // Сиб. бот. вестн.: электрон. журн. 2008. Т. 3. Вып. 1-2. С. 45-156.
5. Дымина Г.Д. Материалы к флористической классификации растительности Западной Сибири (Правобережье Оби Новосибирской области). Новосибирск, 1989. 68 с.
6. Ландшафтообразующая растительность северной части Мелафировой подковы (Кемеровская область) / Н.Н. Лашинский, Н.И. Макунина, О.Ю. Писаренко и др. // Растительный мир Азиатской России. 2011. № 2. С. 85 – 99.
7. Лашинский Н.Н., Макунина Н.И., Гуляева А.Ф. Структура растительного покрова древних террас реки Томь в центральной части Кузнецкой котловины // Растительный мир Азиатской России. 2011. № 1. С. 55-65.
8. Ермаков Н.Б. Разнообразие бореальной растительности Северной Азии. Гемибореальные леса. Классификация и ординация. Новосибирск, 2003. 232 с.
9. Макунина Н.И., Королюк А.Ю., Мальцева Т.В. Растительность Бийско-Чумышской возвышенности // Растительность России. 2010. № 16. С. 40-55.
10. Серебряков И.Г. Жизненные формы высших растений и их изучение. В кн.: Полевая геоботаника. М.: Наука, 1964. Т. 3. С. 146-202.
11. Шереметова С.А. Флора бассейна реки Томь: состав, структура, трансформация, пространственная организация: дис. ... докт. биол. наук. Томск, 2016. 776 с.
12. Эбель А.Л. Флора северо-западной части Алтае-Саянской провинции: состав, структура, происхождение, антропогенная трансформация: автореферат дис. ... докт. биол. наук. Томск, 2011. 39 с.

Original Paper

UDC 622.271:622.85 © A.I. Izmailov, 2023

ISSN 0041-5790 (Print) • ISSN 2412-8333 (Online) • Ugol' – Russian Coal Journal, 2023, № S12, pp. 50-55

DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2023-S12-50-55>

Title

VEGETATION COVER OF COAL MINE AND ADJACENT TERRITORIES

Authors

Izmailov A.I.¹¹ Kuzbass Humanitarian Pedagogical Institute of Kemerovo State University, Novokuznetsk, 654041, Russian Federation

Authors Information

Izmailov A.I., Junior Researcher, e-mail: mister.anton-nk@yandex.ru

Abstract

The increase in the volume of coal mining in the Kemerovo region by the open method leads to a significant increase in the area of disturbed lands, partial or complete destruction of biological diversity. This is especially true of meadow-steppe ecosystems, which practically do not recover with the natural overgrowth of dumps. The aim of the study was to determine the state of native vegetation cover in the experimental area and adjacent territories.

In the course of the research, the assessment of native vegetation cover in the vicinity of the experimental site of technogenic landscapes was carried out, the ecological spectrum and life forms of plants composing the studied phytocenoses were analyzed.

It was revealed that the basis of the vegetation cover in the area of the test site is a combination of meadow and forest vegetation. Forest communities are represented exclusively by small-leaved forests typical of southern Siberia, with a well-developed grass cover consisting mainly of meadow species. Herbaceous communities are represented by meadow steppes, settled and settled forest meadows, widespread in the forest-steppe and subtaiga of Western and Central Siberia. The core of the herbage of these communities are meadow-steppe and meadow-forest species.

Based on the characteristics of the vegetation cover, measures are proposed to reduce the adverse technogenic consequences of bioremediation of vegetation cover.

Keywords

Kuzbass, Kuznetsk basin, Vegetation, Meadows, Forests, Ecology.

References

1. Kopytov A.I. & Kuprijanov A.N. A new strategy for the development of the coal industry of Kuzbass and solving environmental problems. *Ugol'*, 2019, № 11, pp. 89-93. (In Russ.). DOI: [10.18796/0041-5790-2019-11-89-93](https://doi.org/10.18796/0041-5790-2019-11-89-93).
2. Kopytov A.I., Kuprijanov O.A., Manakov Yu.A. & Kuprijanov A.N. Coal mining in Kuzbass and new ecotechnologies. *Eko*, 2021, (6), pp. 67-76. (In Russ.). DOI: [10.30680/ECO0131-7652-2021-6-67-76](https://doi.org/10.30680/ECO0131-7652-2021-6-67-76).
3. Kuminova A.V. Vegetation of the Kemerovo region. Novosibirsk, Academy of Sciences of the USSR, West Siberian Branch, 1949, 167 p. (In Russ.).
4. Makunina N.I. & Maltseva T.V. The Vegetation of Forest-steppe and Subtaiga foothills of Altai-Sayani Mountain System. *Sibirskij botanicheskij vestnik: elektronnyj zhurnal*, 2008, Vol. 3, (1-2), pp. 45-156. (In Russ.).

5. Dymina G.D. Materials for floristic classification of vegetation in Western Siberia (the right bank of the Ob River, Novosibirsk region). Novosibirsk, 1989, 68 p. (In Russ.).

6. Lashchinsky N.N., Makunina N.I., Pisarenko O.Yu. & Gulyaeva A.F. Landscape-forming vegetation of Melafir Horseshoe northern part (Kemerovo oblast). *Rastitel'nyj mir Aziatskoj Rossii*, 2011, (2), pp. 85-99. (In Russ.).

7. Lashchinsky N.N., Makunina N.I. & Gulyaeva A.F. Spatial structure of vegetation cover on ancient Tom' river terraces in central part of Kuznetskaya depression. *Rastitel'nyj mir Aziatskoj Rossii*, 2011, (1), pp. 55-65. (In Russ.).

8. Yermakov N.B. Diversity of boreal vegetation in Northern Asia. Hemiboreal forests. Classification and ordination. Novosibirsk, 2003, 232 p. (In Russ.).

9. Makunina N.I., Korolyuk A.Yu. & Maltseva T.V. The vegetation of the Bya-Chumysh Upland. *Rastitel'nost' Rossii*, 2010, (16), pp. 40-55. (In Russ.).

10. Serebryakov I.G. Life forms of higher plants and their studies. In: Field geobotany. Moscow, Nauka Publ., 1964, Vol. 3, pp. 146-202. (In Russ.).

11. Sheremetova S.A. Flora of the Tom river basin: composition, structure, transformation, spatial organization: Dr. biol. sci. diss., Tomsk, 2016, 776 p. (In Russ.).

12. Ebel A.L. Flora in the northwestern part of the Altai-Sayan Province: composition, structure, origin, anthropogenic transformation: Dr. biol. sci. diss., Tomsk, 2011, 39 p. (In Russ.).

Acknowledgements

The research is carried out within the framework of Order No. 1144p of the Government of the Russian Federation dated May 11, 2022 as part 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 ("Clean Coal – Green Kuzbass") Activity 3.1 "Eco testing area of world-class reclamation and remediation technologies" (Agreement No. 075-15-2022-1200 as of 28.09.2022).

For citation

Izmailov A.I. Vegetation cover of coal mine and adjacent territories. *Ugol'*, 2023, (S12), pp. 50-55. (In Russ.). DOI: [10.18796/0041-5790-2023-S12-50-55](https://doi.org/10.18796/0041-5790-2023-S12-50-55).

Paper info

Received November 1, 2023

Reviewed November 15, 2023

Accepted November 30, 2023

ECOLOGY

Создание искусственного растительного покрова техногенно нарушенных ландшафтов*

DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2023-512-56-62>

ОСИНЦЕВА М.А.

Канд. техн. наук, начальник управления проектной деятельности ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет»,
650000, г. Кемерово, Россия,
e-mail: k1marial@inbox.ru

КРЮК В.А.

Лаборант-исследователь управления по реализации комплексной научно-технической программы ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет»,
650000, г. Кемерово, Россия,
e-mail: vika.kryuk.95@mail.ru

ДЮКОВА Е.А.

Младший научный сотрудник лаборатории по созданию посадочного материала повышенной приживаемости ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет»,
650000, г. Кемерово, Россия,
e-mail: jeniadulova@mail.ru

БУРОВА Н.В.

Руководитель центра ландшафтной архитектуры ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет»,
650000, г. Кемерово, Россия,
e-mail: centr1a@mail.ru

* Работа ведется в рамках Распоряжения Правительства Российской Федерации от 11.05.2022 № 1144-р, 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 из угольного сырья при последовательном снижении экологической нагрузки на окружающую среду и рисков для жизни населения» («Чистый уголь – Зеленый Кузбасс»), мероприятие 3.1 «Экополигон мирового уровня технологий рекультивации и ремедиации» (соглашение № 075-15-2022-1200 от 28.09.2022).

Для оценки создания искусственного растительного покрова техногенно нарушенных ландшафтов учитывались: принципы и методы создания искусственного растительного покрова на нарушенных промышленностью землях; мероприятия биологического этапа рекультивации; технология выращивания саженцев с закрытой корневой системой для целей рекультивации техногенных земель; ключевые химические и физико-химические свойства почв; содержание основных элементов питания в почвах; микроэлементы в почвах и так далее. Проведенные исследования показали необходимость применения минеральных удобрений для более эффективного роста и развития растительных сообществ на участках рекультивации. Из результатов следует, что использование представленной технологии позволяет в короткие сроки добиться восстановления главных компонентов экосистемы – растительности, почвы и почвенного зоомикробного комплекса, исключить наиболее длительную стадию восстановительной сукцессии – инициальную и ускорить прохождение второй стадии – травянистой и третьей стадии – мелколиственных деревьев и кустарников. Данная технология позволяет снизить ветровую и водную эрозию.

Ключевые слова: рекультивация, почвы, техногенный ландшафт, растительный покров, уголь, Кемеровская область – Кузбасс.

Для цитирования: Создание искусственного растительного покрова техногенно-нарушенных ландшафтов / М.А. Осинцева, В.А. Крюк, Е.А. Дюкова и др. // Уголь. 2023. № 512. С. 56-62. DOI: 10.18796/0041-5790-2023-512-56-62.

ВВЕДЕНИЕ

Деградация лесов является одной из наиболее актуальных и широко распространенных экологических проблем во всем мире [1, 2]. В настоящее время проблема восстановления растительного покрова нарушенных земель, которая вызвана угледобывающим производством, в зависимости от напряжения экологических факторов приобретает глобальную актуальность [3, 4, 5, 6]. Так, мировая добыча угля остается на высоком уровне (табл. 1),

Таблица 1

Добыча угля несколькими крупными мировыми производителями в 2021–2022 гг., млн т

Coal production by several major global producers in 2021–2022, million tons

| Годы | Китай | Индия | Россия | Казахстан | Итого по миру в целом |
|------|-------|-------|--------|-----------|-----------------------|
| 2021 | 4126 | 812 | 442 | 116 | 8160 |
| 2022 | 4560 | 911 | 444 | 118 | 8803 |

Источник: Energy Institute – Statistical Review of World Energy, 2023 (72nd edition), Россия – по данным ЦДУ ТЭК [8].

по предварительным оценкам аналитиков [7], страны ЕС увеличат добычу угля на 2,7 млн т в 2023 г.

В результате техногенного воздействия и сильной нагрузки на водные, лесные и земельные ресурсы постепенно начинает ослабляться устойчивость лесных экосистем в целом. При этом, безусловно, в различных регионах повсеместно усугубляется социально-экологическая ситуация. Как известно, техногенный ландшафт представляет собой результат техногенной трансформации природного ландшафта со всем его комплексом типов почв [9, 10, 11]. Пространственная структура естественного почвенного покрова связана с проявлением регулярно повторяющихся факторов почвообразования и взаимосвязью их почвенных процессов [11]. Представленная проблематика особенно актуальна в рамках утвержденных Президентом РФ в 2012 г. «Основ государственной политики в области экологического развития России на период до 2030 года» [12] для природных экосистем Западной Сибири, в том числе Кемеровской области – Кузбасса.

В настоящее время открытый способ добычи угля получил большое распространение благодаря своим преимуществам перед подземной добычей в шахтах [13]. С начала 2023 года угольщиками Кузбасса добыто около 160 млн т угля [14] (табл. 2).

По данным государственного лесного реестра, по состоянию на 01.01.2023 общая площадь лесов на территории Кузбасса составляет 6 284,3 тыс. га (65,6% общей площади территории области). Уровень залесенности составляет 59,4%. Площадь лесов, расположенных на землях лесного фонда, составляет 5 426,9 тыс. га (из них 18,1 тыс. га – неустроенных лесов), в том числе площадь лесов, покрытых лесной растительностью, составляет 5 408,8 тыс. га. В течение года рекультивировано 1,085 тыс. га земель (20,2% от нарушенных) [15]. На сегодняшний день многие стороны очерченных проблем широкого спектра не полностью изучены. Так, например, недостаточно исследован процесс восстановления почв лесных техногенных ландшафтов [16, 17, 18, 19].

Общая площадь участков лесной рекультивации на отвалах угольных предприятий в Кузбассе составляет более 15 тыс. га, из них посадки сосны обыкновенной занимают около 11 тыс. га, чистые облепиховые насаждения – около 3 тыс. га и культуры березы повислой – около 0,5 тыс. га. Прочие древесные культуры занимают менее 3% общей площади лесной рекультивации и представлены мелкофрагментными посадками лиственницы сибирской, кедра сибирского и ели сибирской [20, 21, 22]. На некоторых участках совместно с основной древесной породой встречаются виды деревьев и кустарников, фор-

Таблица 2

Динамика добычи угля в Кемеровской области – Кузбассе в 2022–2023 гг., млн т

Dynamics of coal production in the Kemerovo region – Kuzbass in 2022–2023, million tons

| Годы | Открытым способом | Подземным способом |
|------|-------------------|--------------------|
| 2023 | 107,6 | 52,6 |
| 2022 | 108,6 | 53,9 |

Источник: Министерство угольной промышленности Кузбасса [14].

мирующих подлесок, – лох серебристый, рябина сибирская, рябинник рябинолистный. Прочие виды деревьев и кустарников произрастают только на бывших экспериментальных площадках Байдаевского, Листвянского, Кедровского, Моховского разрезов. За весь период проведения лесной рекультивации с начала 1970-х гг. по разным причинам (вторичная экскавация, деградация, некачественная посадка и многое другое) выбыло около 15% площади насаждений.

Целью настоящей работы является разработка способа создания искусственного растительного покрова техногенно нарушенных ландшафтов с учетом его применения на конкретной территории Кемеровской области – Кузбасса.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

В рамках биологического этапа рекультивации (КНТП «Чистый уголь – Зеленый Кузбасс») объектом данного исследования является почвенный и растительный покров особого экополигона. На заранее выбранной территории была осуществлена посадка саженцев лиственных и хвойных пород, а также произведен посев многолетних трав с целью того, чтобы они за максимально короткие сроки смогли создать вокруг себя устойчивое самовозобновление. Экспериментальный участок экополигона расположен в пределах угольного месторождения в центральной части Ерунаковского геолого-экономического района.

Из проведенных исследований почвенного покрова созданной опытной площадки установлено, что на участке с послойным нанесением потенциально плодородного слоя почвы (суглинки) и плодородного слоя почвы верхний горизонт, представленный плодородным слоем почвы, по содержанию органического вещества характеризуется как низкогумусовый и, как видно из табл. 3, составляет от 2,5 до 3,6% на точке 1 и 2,7–2,8% в верх-

Основные химические и физико-химические свойства почв

Basic chemical and physicochemical properties of soils

| Глубина, см | pH вод | C, % | Гумус, % | ЕКО | P _{подв} , мг/кг | K _{подв} , мг/кг | N _{нитр} , мг/кг |
|----------------|--------|------|----------|-----|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
| Точка 1 | | | | | | | |
| 0-5 | 6,76 | 2,1 | 3,6 | 27 | 88,1 | 162,5 | 109 |
| 5-10 | 5,87 | 1,5 | 2,5 | 16 | 70,2 | 150 | 97,7 |
| 10-20 | 6,01 | 1,7 | 3,0 | 12 | 67,4 | 92,5 | 55 |
| 20-36 | 7,36 | 0,5 | 0,9 | 15 | 17,8 | 37,5 | 398 |
| 36-70 | 7,92 | 0,5 | 0,9 | 14 | 64,1 | 50 | 12,6 |
| Точка 2 | | | | | | | |
| 0-5 | 6,8 | 1,6 | 2,8 | 25 | 73,6 | 127,5 | 51,3 |
| 5-10 | 6,74 | 1,6 | 2,7 | 20 | 59,1 | 105 | 44,7 |
| 10-40 | 6,45 | 3,2 | 5,5 | 11 | 43,5 | 130 | 22,9 |
| 40-80 | 8,14 | 0,4 | 0,7 | 19 | 75,2 | 45 | 11,5 |
| 80-100 | 8,19 | 3,2 | 5,5 | 16 | 30,1 | 70 | 63,1 |

нем десятисантиметровом слое на *точке 2*. В слое 10-40 (*точка 2*) отмечается повышение содержания органического вещества до 5,5%, и его содержание характеризуется как среднегумусовое. Ниже по профилю в горизонте *B*, субстрат которого представлен ППП, наблюдается резкое снижение содержания гумуса, и данный горизонт характеризуется как безгумусовый. В нижней части профиля *точки 2* показано содержание гумуса до 5,5%. Поскольку данный горизонт представлен смесью вскрышных и вмещающих пород, столь высокие значения содержания органического вещества связаны с содержанием углистых частиц в субстрате.

Установлено, что в верхнем гумусовом двадцатисантиметровом слое на участке 1 (*точка 1*) содержание нитратного азота составляет 109 мг/кг в верхней части профиля и 55 мг/кг в нижней (*см. табл. 3*). Обеспеченность данного участка высокая, потребность в азотном удобрении отсутствует. Снабжение азотом на *точке 2* также высокое, составляет от 51,3 мг/кг (в верхней части профиля) до 22,9 мг/кг (в нижней части) (*см. табл. 3*). Основным компонентом в ряду обеспеченности почв биофильными элементами следует считать азот, не менее важными составляющими для стимуляции этих процессов являются также фосфор и калий.

Верхний гумусовый горизонт участка (*точки 1 и 2*) характеризуется средним содержанием подвижного фосфора и составляет от 59 до 88 мг/кг (*см. табл. 3*), вниз по профилю отмечается его снижение до низкой обеспеченности. Обменного калия на участках с отсыпкой плодородного слоя почвы содержится от 162 до 92 мг/кг в верхнем гумусовом горизонте (*точка 1*), вниз по профилю обнаружено его снижение до 37-50 мг/кг. В гумусовом горизонте *точки 2* содержится от 105 до 130 мг/кг обменного калия. В нижележащих горизонтах представлено его резкое снижение до 45 мг/кг в горизонте потенциально плодородного слоя почвы и до 70 мг/кг в подстилающих породах. Исследования подвижных форм микроэлементов показали, что содержание Cr < 0,1 и Co < 0,002 в исследуемых почвах минимально и не влияет на рост и развитие растений. В плодородном слое на

участке (*точки 1 и 2*) отмечается незначительное увеличение количества Cd по профилю от 0,025 до 0,058 мг/кг, не превышает значений ПДК. В нижележащих горизонтах, представленных потенциально плодородным слоем почвы и техногенным элювием, его концентрация снижается до 0,002 мг/кг.

Итак, в рамках актуализированного анализа установлено, что верхний гумусовый горизонт участка 1 характеризуется средним содержанием обменного калия, а нижележащие горизонты – низким. Следовательно, определена необходимость применения минеральных удобрений для более эффективного роста и развития растительных сообществ на участках рекультивации.

Биологический этап рекультивации предполагает очистку почв путем применения технологий растениеводства с целью восстановления растительного покрова на техногенно нарушенном участке. Подготовка субстрата включает выравнивание площади восстановления, сплошное внесение органического удобрения, например торфа при норме 25-35 т/га или биологически активного компоста в дозе 2-5 т/га и комплексного минерального удобрения в дозе 3-3,5 ц/га. Посадку древесных и кустарниковых растений осуществляют одновременно с посевом смеси местных почвозадерживающих трав, выбранных из 1-6 видов с нормой высева семян 10-20 кг/га.

В весенний период после посева или при посеве трав поверхностно вносят минеральные удобрения при дозе 60 кг действующего вещества на гектар. Дополнительно, в качестве древесных и кустарниковых растений, используют одно-двухлетние саженцы. При посадке растения сочетают между собой, размещают рядами на расстоянии 2,5-3 м, расстояние между ними устанавливают от 1,5 до 2 м. Для посадки на суглинистых субстратах используют ель обыкновенную, березу пушистую, березу повислую; на песчаных и супесчаных субстратах – сосну обыкновенную, лиственницу сибирскую, также используют подлесочные породы, например рябину или шиповник, для закрепления склонов используют иву, в качестве почвозадерживающих трав используют

ют: мятлик луговой, лисохвост луговой, овсяницу красную, лисохвост тростниковидный, канареечник тростниковидный, кострец безостый, тимopheевку луговую и овсяницу луговую. Уход за восстанавливающейся экосистемой проводят в течение трех лет путем ежегодной подкормки комплексным минеральным удобрением с нормой расхода 1,5-2 ц/га. При этом по окончании рекультивации обеспечивается формирование лесного сообщества, близкого к зональному типу, с адекватной ему почвой и почвенным биокомплексом посредством ежегодного отмирания многолетних трав, дающих значительное количество мортмассы, ускоренного восстановления почвы, почвенного зооимикробного комплекса и древесного яруса.

На экспериментальном полигоне было заложено три участка с посадкой на них различных видов древесных и кустарниковых растений и злаково-бобовой травосмеси.

Для достижения высокой приживаемости при посеве был использован субстрат на основе мелкофракционного гидрогеля. С целью оптимизации водного режима проводилось капельное орошение, использовался комплекс удобрений. В результате удалось добиться максимальной приживаемости посаженного материала (рис. 1, 2, 3) и весьма хорошей прибавки биомассы на момент сезонного спада вегетации.

На участке 1 приживаемость 85% отмечена у сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris*), поскольку она светолюбивая, быстрорастущая, малотребовательная к плодородию почв порода; растет на бедных и сухих глубоких песках, на каменисто-щебнистых осыпях, на мелах, супесчаных, суглинистых и даже глинистых почвах разной степени влажности и плодородия, что связано с высокой пластичностью ее корневой системы (см. рис. 1). Широкая экологическая амплитуда местообитаний сосны делает ее наиболее распространенной древесной породой при лесной рекультивации техногенных земель. С добавлением биопрепарата приживаемость тополя увеличилась на 10%, это хорошая приживаемость, как и у сосны, на данном участке. Самая низкая приживаемость наблюдалась у аронии черноплодной (*Aronia melanocarpa*) без добавления био-

препарата. Для черноплодной рябины не принципиален выбор почвы. Кустарник одинаково хорошо произрастает как на сухих песчаных, так и на кислых почвах. При подключении биопрепарата приживаемость аронии черноплодной увеличилась на 15%. Наблюдалась более эффективная всхожесть трав при использовании биопрепарата, она составляла 75%. Высота трав без добавления биопрепарата была в среднем 10-12 см., с добавлением биопрепарата равнялась в среднем 15-20 см.

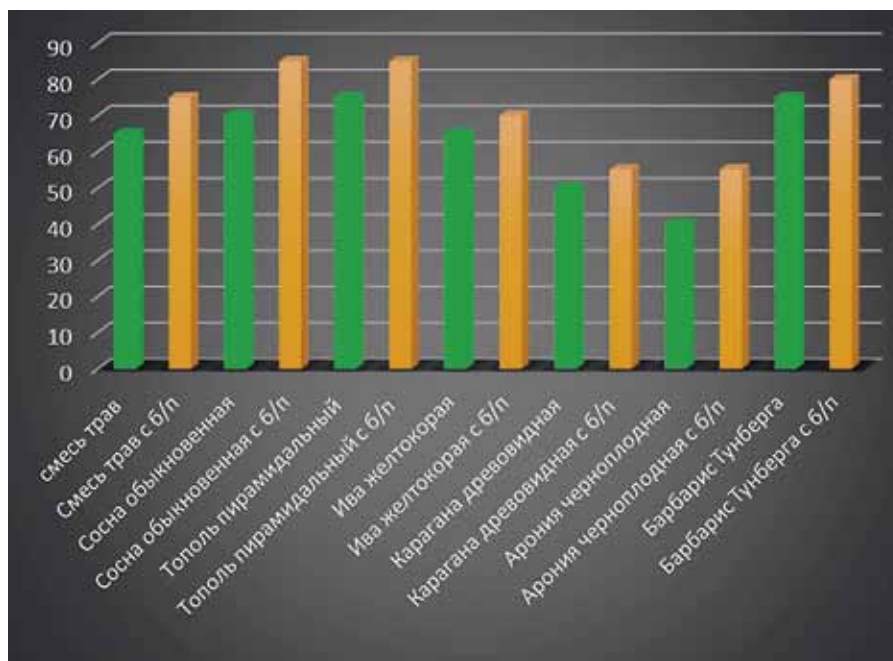


Рис. 1. Приживаемость растений на участке 1

Fig. 1. Plant survival rate in area 1

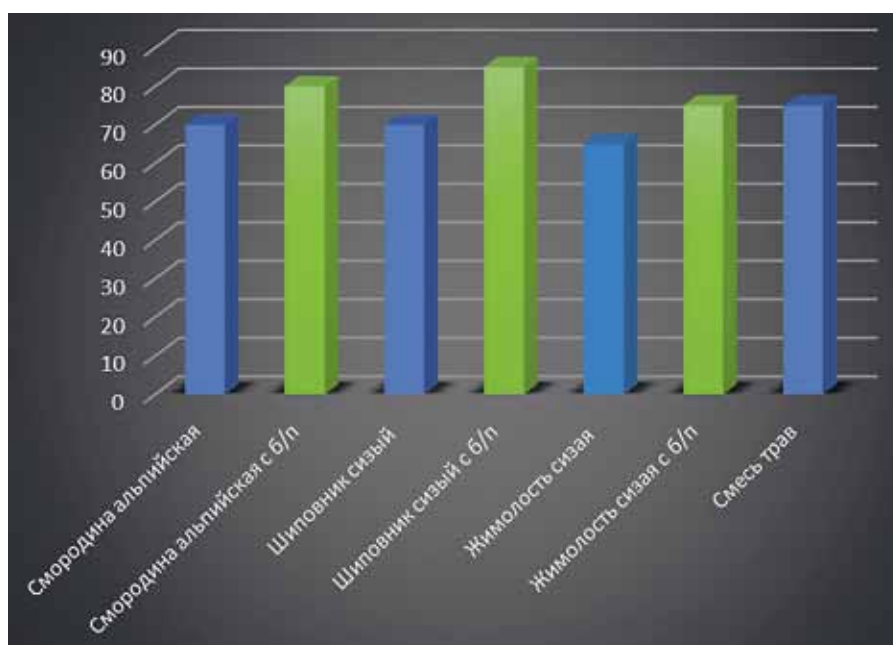


Рис. 2. Приживаемость растений на участке 2

Fig. 2. Plant survival rate in area 2

На участке 2 высокая приживаемость обозначена у шиповника сизого (*Rosa glauca*), смородины альпийской (*Ribes alpinum*) с использованием биопрепарата. Смородина альпийская так же, как и шиповник, может адаптироваться к различным типам почв, хотя предпочитает супесчаную почву или глинистую-суглинистую почву. Она должна быть влажной и хорошо дренированной, с нейтральным или слабокислым pH 6-7. При добавлении биопрепарата приживаемость увеличивалась на 10-15%. У всех видов на данном участке неудовлетворительной приживаемости не установлено. Приживаемость травосмеси на данном участке составила 85%, к концу вегетационного периода рост составил в среднем от 15 до 27 см.

На участке 3 у сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris*) и у барбариса Тунберга (*Berberis thunbergii*) отмечена приживаемость, равная 85%. Барбарис, как и сосна, – растения крайне неприхотливые и выносливые, а также способны переносить засушливые и особо жаркие периоды, к почвам нетребовательны. Этим и обусловлена высокая приживаемость на данном участке. Приживаемость аронии черноплодной на данном участке была низкой, что может быть обусловлено засушливыми условиями сезона.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Настоящее исследование в значительной мере позволяет расширить представление об экологических последствиях освоения угольных месторождений. Изучены закономерности процесса рекультивации на ключевых техногенных ландшафтах экополигона Кемеровской области – Кузбасса. Комплекс мероприятий по биологической рекультивации техногенных отвалов, образовавшихся после угледобычи, связан с созданием искусственного растительного покрова техногенно нарушенных ландшафтов.

Использование технологии позволяет в ускоренные сроки добиться восстановления главных компонентов экосистемы – растительности, почвы и почвенного зоомикробного комплекса, исключить наиболее длительную стадию восстановительной сукцессии – инициальную и ускорить прохождение второй – травянистой и третьей – мелколиственных деревьев и кустарников стадии. Предложенный метод восстановления нарушенных земель предоставляет возможность предотвратить ветровую и водную эрозию, снизить антропогенную нагрузку в целом. В рамках данного исследования удалось на изучаемых участках без существенных затрат достичь

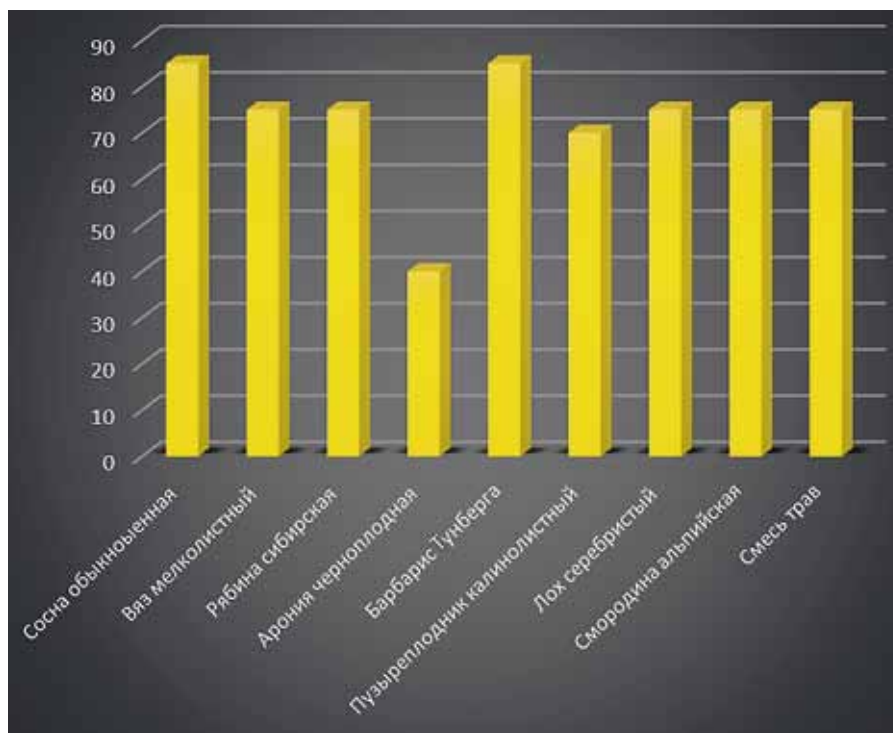


Рис 3. Приживаемость растений на участке 3

Fig. 3. Plant survival rate in area 3

максимальной приживаемости деревьев, что в будущем поможет улучшить экологическую ситуацию в Кузбассе.

Список литературы

1. The State of the World's Forests 2022. Forest pathways for green recovery and building inclusive, resilient and sustainable economies // FAO, Rome. 2022. 166 p. URL: <https://www.fao.org/documents/card/en/c/cb9360en> (дата обращения: 15.11.2023).
2. Plant Community Degradation Inquiry and Ecological Restoration Design in South Lake Scenic Area of China / X. Zhang, H. Hu, X. Wang et al. // Forests. 2023. № 14. P. 1-19. DOI: 10.3390/f14020181.
3. Ecological–geochemical studies of technogenic soils in the flood plain landscapes of the Seversky Donets, Lower Don Basin / T.V. Bauer, V.G. Linnik, T.M. Minkina et al. // Geochemistry International. 2018. No 56. P. 992-1002. DOI: 10.1134/S001670291810004X.
4. Regeneration of forest stands by mycorrhiza to promote sustainable development of post-technogenic landscapes / R. Kochan, S. Zawislak, T. Bubela et al. // International Multidisciplinary Scientific GeoConference: SGEM. 2019. № 19. P. 881-888. DOI: 10.5593/sgem2019/6.1/S25.114.
5. Davydova N.D., Znamenskaya T.I. Barrier Functions of Soils of Natural and Technogenic Steppe Landscapes // Geography and Natural Resources. 2019. No 40. P. 384-393. DOI: 10.1134/S1875372819040103.
6. Technogenic geochemical evolution of chernozems in the sulfur coal mining areas / P. Krechetov, O. Chernitsova, A. Sharapova et al. // Journal of Soils and Sediments. 2019. № 19. P. 3139-3154.
7. Coal 2022 // IEA. Paris. 2022. URL: <https://www.iea.org/reports/coal-2022> (дата обращения: 15.11.2023)
8. Energy Institute – Statistical Review of World Energy, 2023 (72nd edition), 2023. URL: <https://kpmg.com/xx/en/home/in>

- sights/2023/06/statistical-review-of-world-energy-2023.html (дата обращения: 15.11.2023).
9. Яборов В.Т. Восстановление растительного покрова на техногенных ландшафтах россыпной золотодобычи в Амурской области // Дальневосточный аграрный вестник. 2008. № 1 (5). С. 1-7.
 10. Хмелев В.А., Танасиенко А.А. Почвенные ресурсы Кемеровской области и основы их рационального использования. Новосибирск: Издательство СО РАН, 2013. 477 с.
 11. Подурец О.И. Пространственная вариабельность содержания тяжелых металлов в почвенном покрове в условиях влияния угледобывающего предприятия // Уголь. 2023. № 10. С. 51-58. DOI: 10.18796/0041-5790-2023-10-51-58.
 12. Основы государственной политики в области экологического развития России на период до 2030 года. Документы (дата публикации: 30 апреля 2012 года). URL: <http://kremlin.ru/acts/news/15177> (дата обращения: 15.11.2023).
 13. Доклад о состоянии и охране окружающей среды Кемеровской области – Кузбасса в 2022 году. Кемерово: Департамент природных ресурсов и экологии Кемеровской области, 2020. 465 с.
 14. Министерство угольной промышленности Кузбасса. Официальный сайт Министерства угольной промышленности Кузбасса. 2023. URL: <https://mupk42.ru/ru/press-center/news/novostiministerstva/itogi-raboty-ugolnoy-otrasli-za-sentabr-2023-goda/> (дата обращения: 15.11.2023).
 15. Департамент лесного комплекса Кузбасса. Официальный сайт Департамента лесного комплекса Кузбасса. 2023. URL: <https://kemles.ru/deyatelnost/gosudarstvennyy-lesnoy-reestr.php> (дата обращения: 15.11.2023).
 16. Исследование формирования растительной экосистемы на горнопромышленных ландшафтах угольных разрезов в условиях Азиатского низкогорья с использованием ресурсов дистанционного зондирования Земли / И.В. Зеньков, В.И. Баркова, Ю.П. Юронен и др. // Уголь. 2016. № 7. С. 79-82. DOI: 10.18796/0041-5790-2016-7-79-82.
 17. Ферментативная активность техногенных поверхностных образований Кузбасса / А.С. Фролова, М.К. Переверзева, Л.К. Асякина и др. // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2022. № 23 С. 538-547. DOI: 10.30766/2072-9081.2022.23.4.538-547.
 18. Ал-Шатери Х.А. Оценка экологических последствий ведения горных работ в районе шахты им. В.Д. Ялевского в Кузбассе методами дистанционного зондирования // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2020. № 6-1. С. 212–223. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-61-0-212-223.
 19. Using POI and time series Landsat data to identify and rebuilt surface mining, vegetation disturbance and land reclamation process based on Google Earth Engine / W. Xiao, X. Deng, T. He et al. // Journal of Environmental Management. 2023. № 327. P. 1-19. DOI: 10.1016/j.jenvman.2022.116920.
 20. Крупнейшие угольные разрезы Кузбасса. URL: <https://dprom.online/chindustry/krupnejshie-ugolnye-razrezy-kuzbassa/> (дата обращения: 15.11.2023).
 21. Куприянов А.Н., Манаков Ю.А. Закономерности восстановления растительного покрова на отвалах Кузбасса // Сибирский лесной журнал. 2016. № 2. С. 51-58. DOI: 10.15372/SJFS20160205.
 22. Оценка развития растительности техногенного отвала / Г.Я. Степанюк, А.В. Заушинцева, С.С. Буренков и др. // Техника и технология пищевых производств. 2022. Т. 52. № 4. С. 807–818. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2022-4-2407>.

Original Paper

UDC 622.85:622.271.45(574):550.814 © M.A. Osintseva, V.A. Kryuk, E.A. Dyukova, N.V. Burova, 2023
 ISSN 0041-5790 (Print) • ISSN 2412-8333 (Online) • Ugol' – Russian Coal Journal, 2023, № 512, pp. 56-62
 DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2023-512-56-62>

Title**CREATION OF ARTIFICIAL VEGETATION COVER ON TECHNOGENICALLY DISTURBED LANDSCAPES****Authors**

Osintseva M.A.¹, Kryuk V.A.¹, Dyukova E.A.¹, Burova N.V.¹

¹ Kemerovo State University, Kemerovo, 650000, Russian Federation

Authors Information

Osintseva M.A., PhD (Engineering), Head of Project Management Division, e-mail: k1marial@inbox.ru

Kryuk V.A., Laboratory Assistant Researcher of the Department for the Implementation of the Comprehensive Scientific and Technical Program, e-mail: vika.kryuk.95@mail.ru

Dyukova E.A., Junior Researcher of the Laboratory for the Creation of Planting Material of Increased Survival Rate, e-mail: jeniadulova@mail.ru

Burova N.V., Director of the Center for Landscape Architecture, e-mail: centrla@mail.ru

Abstract

To assess the creation of artificial vegetation cover in technogenically disturbed landscapes, the following were taken into account: principles and

methods for creating artificial vegetation cover on industrially disturbed lands; measures of the biological stage of reclamation; technology for growing seedlings with a closed root system for the purpose of reclamation of technogenic lands; key chemical and physicochemical properties of soils; content of basic nutrients in soils; microelements in soils and so on. Our research has shown the need to use mineral fertilizers for more efficient growth and development of plant communities in reclamation areas. From the results it follows that the use of the presented technology makes it possible to quickly restore the main components of the ecosystem – vegetation, soil and soil zoomicrobial complex, eliminate the longest stage of restoration succession – the initial one, and accelerate the passage of the second – herbaceous one; and the third – the stage of small-leaved trees and shrubs. This technology helps prevent wind and water erosion.

Keywords

Reclamation, Soils, Technogenic landscape, Vegetation cover, Coal, Kemerovo region – Kuzbass.

References

1. The State of the World's Forests 2022. Forest pathways for green recovery and building inclusive, resilient and sustainable economies. FAO, Rome, 2022, 166 p. Available at: <https://www.fao.org/documents/card/en/c/cb9360en> (accessed 15.11.2023).
2. Zhang X., Hu H., Wang X., Tian Q., Zhong X. & Shen L. Plant Community Degradation Inquiry and Ecological Restoration Design in South Lake Scenic Area of China. *Forests*, 2023, (14), pp. 1-19. DOI: 10.3390/f14020181.
3. Bauer T.V., Linnik V.G., Minkina T.M., Mandzhieva S.S. & Nevedomskaya D.G. Ecological-geochemical studies of technogenic soils in the flood plain landscapes of the Seversky Donets, Lower Don Basin. *Geochemistry International*, 2018, (56), pp. 992-1002. DOI: 10.1134/S001670291810004X.
4. Kochan R., Zawislak S., Bubela T., Ruda M. & Boyko T. Regeneration of forest stands by mycorrhiza to promote sustainable development of post-technogenic landscapes. *International Multidisciplinary Scientific GeoConference: SGEM*, 2019, (19), pp. 881-888. DOI: 10.5593/sgem2019/6.1/S25.114.
5. Davydova N.D. & Znamenskaya T.I. Barrier Functions of Soils of Natural and Technogenic Steppe Landscapes. *Geography and Natural Resources*, 2019, (40), pp. 384-393. DOI: 10.1134/S1875372819040103.
6. Krechetov P., Chernitsova O., Sharapova A. & Terskaya E. Technogenic geochemical evolution of chernozems in the sulfur coal mining areas. *Journal of Soils and Sediments*, 2019, (19), pp. 3139-3154.
7. Coal 2022. IEA. Paris. 2022. Available at: <https://www.iea.org/reports/coal-2022> (accessed 15.11.2023).
8. Energy Institute – Statistical Review of World Energy, 2023 (72nd edition), 2023. Available at: <https://kpmg.com/xx/en/home/insights/2023/06/statistical-review-of-world-energy-2023.html> (accessed 15.11.2023).
9. Yaborov V.T. Restoration of a vegetative cover on technogenic landscapes of alluvial gold mining in the amur regions. *Dal'nevostochnyj agrarnyj Vestnik*, 2008, (1), pp. 1-7. (In Russ.).
10. Khmelev V.A. & Tanasienko A.A. Soil resources of the Kemerovo region and principles of their rational use. Novosibirsk, Publishing house SB RAS, 2013, 477 p. (In Russ.).
11. Podurets O.I. Spatial variability of the content of heavy metals in the soil cover under the influence of a coal mining enterprise. *Ugol'*, 2023, (10), pp. 51-58. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2023-10-51-58.
12. Fundamentals of the state policy in environmental development of the Russian Federation for the period up to 2030. Documents (published on: April 30, 2012). Available at: <http://kremlin.ru/acts/news/15177> (accessed 15.11.2023).
13. Report on the condition and protection of the environment in the Kemerovo region – Kuzbass in 2022. Kemerovo, Department of Natural Resources and Environment of the Kemerovo Region, 2020, 465 p. (In Russ.).
14. Ministry of Coal Industry of Kuzbass. Official website of the Ministry of Coal Industry of Kuzbass. 2023, Available at: <https://mupk42.ru/ru/press-center/news/novosti-ministerstva/itogi-raboty-ugolnoy-otrasli-za-sentabr-2023-goda/> (accessed 15.11.2023).
15. Kuzbass Forestry Department. Official website of the Kuzbass Forestry Department. 2023. Available at: <https://kemles.ru/deyatelnost/gosudarstvennyy-lesnoy-reestr.php> (accessed 15.11.2023).
16. Zenkov I.V., Barkova V.I., Yuronen Yu.P., Nefedov B.N. & Nefedov N.B. Study of vegetation ecosystem formation in mining landscapes of the coal open pits in conditions of the Asian low-hill terrain using remote earth probing means. *Ugol'*, 2016, (7), pp. 79-82. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2016-7-79-82.
17. Frolova A.S., Pereverzeva M.K., Asyakina L.K., Golubtsova Yu.V. & Osintseva M.A. Enzymative activity of technogenic surface formations of Kuzbass. *Agricultural Science of Euro-North-East*, 2022, (23), pp. 538-547. (In Russ.). DOI: 10.30766/2072-9081.
18. Al-Shateri H.A. Land use land cover change detection in the mining areas of V.D. Yalovsky coal mine, Russia. *Gornyy informatsionno-analiticheskij byulleten*, 2020, (6-1), pp. 212-223. (In Russ.). DOI: 10.25018/0236-1493-2020-61-0-212-223.
19. Xiao W., Deng X., He T. & Guo J. Using POI and time series Landsat data to identify and rebuilt surface mining, vegetation disturbance and land reclamation process based on Google Earth Engine. *Journal of Environmental Management*, 2023, (327), pp. 1-19. DOI: 10.1016/j.jenvman.2022.116920.
20. The largest coal strip mines in Kuzbass. Available at: <https://dprom.online/chindustry/krupnejshie-ugolnye-razrezy-kuzbassa/> (accessed 15.11.2023).
21. Kupriyanov A.N. & Manakov A.Yu. Regularities of restoration of plant cover on the dumps of the Kuznetsk Basin. *Sibirskiy lesnoy zhurnal*, 2016, (2), pp. 51-58. (In Russ.).
22. Stepanyuk G.Ya., Zaushintsena A.V., Burenkov S.S., Svirikova S.V., Gavrilov A.A. & Osintseva M.A. Evaluating the Vegetation Development of Coal-Mine Dumps. *Food Processing: Techniques and Technology*, 2022;52(4):807-818. (In Russ.). <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2022-4-2407>.

Acknowledgements

The research is carried out within the framework of Order No 1144p of the Government of the Russian Federation dated May 11, 2022 as part 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 ("Clean Coal – Green Kuzbass") Activity 3.1 "Ecotesting area of world-class reclamation and remediation technologies" (Agreement No 075-15-2022-1200 as of 28.09.2022).

For citation

Osintseva M.A., Kryuk V.A., Dyukova E.A. & Burova N.V. Creation of artificial vegetation cover on technogenically disturbed landscapes. *Ugol'*, 2023, (S12), pp. 56-62. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2023-S12-56-62.

Paper info

Received November 1, 2023

Reviewed November 15, 2023

Accepted November 30, 2023

Очистка сточных вод угледобывающих предприятий*

DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2023-S12-63-66>

На состояние окружающей среды может оказывать влияние ресурсориентированный вектор развития региона. Очистка сточных вод достаточно сложный процесс, требующий учета различных факторов. Применяемый метод на современных разрезах основан на фильтрации сточной воды через фильтрующие массивы. Выбор засыпной породы определяется выщелачивающей способностью материала и исходным составом сточной воды.

Представленные исследования показали, что наименьшее выщелачивание по всем исследуемым ионам наблюдается у натурального природного камня марки BMStone, наиболее активно вымываются компоненты из исследуемого образца цеолита.

Ключевые слова: фильтрующие массивы, натуральный природный камень, кварцит, кварцевый песок, красный камень, цеолит, пуrolат-стандарт.

Для цитирования: Очистка сточных вод угледобывающих предприятий / А.К. Горелкина, Е.С. Михайлова, И.В. Тимощук и др. // Уголь. 2023. № S12. С. 63-66. DOI: 10.18796/0041-5790-2023-S12-63-66.

ВВЕДЕНИЕ

За Кузбассом долгие годы закреплено название «угольное сердце России». Добыча каменного угля для региона является основным сектором экономики, и даже при санкционных условиях снижение темпов добычи не происходит, в Кемеровской области добывается почти 60% всего российского угля, а доля добычи коксующегося угля – порядка 80%. Это огромный вклад при сравнении с общероссийскими показателями. В кузбасских землях горную массу, богатую на уголь, разрабатывают без малого 120 предприятий, крупнейшими угольными компаниями являются УК «Кузбассразрезуголь», «Южный Кузбасс», «СУЭК-Кузбасс», «СДС-Уголь», «Распадская», «Северный Кузбасс». Из всей угледобычи в Кузбассе на долю месторождений, которые осваивают открытым способом, приходится около 66% [1].

Ресурсориентированный вектор развития региона определяет состояние среды обитания. Для обеспечения благоприятных условий окружающей среды обогатительные фабрики и комбинаты, тепловые электростанции (ТЭС), промышленные и коммунально-бытовые котельные, предприятия добывающего и перерабатывающего сектора реализуют мероприятия по снижению контаминантов в атмосферных выбросах и сточных водах [2]. Эксплуатирующие организации заинтересованы в ре-

ГОРЕЛКИНА А.К.

Доктор техн. наук, профессор кафедры техносферной безопасности КемГУ, 650000, г. Кемерово, Россия, e-mail: alengora@yandex.ru

МИХАЙЛОВА Е.С.

Канд. хим. наук, начальник управления по реализации КНТП КемГУ, 650000, г. Кемерово, Россия, e-mail: e_s_mihaylova@mail.ru

ТИМОЩУК И.В.

Доктор техн. наук, профессор кафедры техносферной безопасности КемГУ, 650000, г. Кемерово, Россия, e-mail: irina_190978@mail.ru

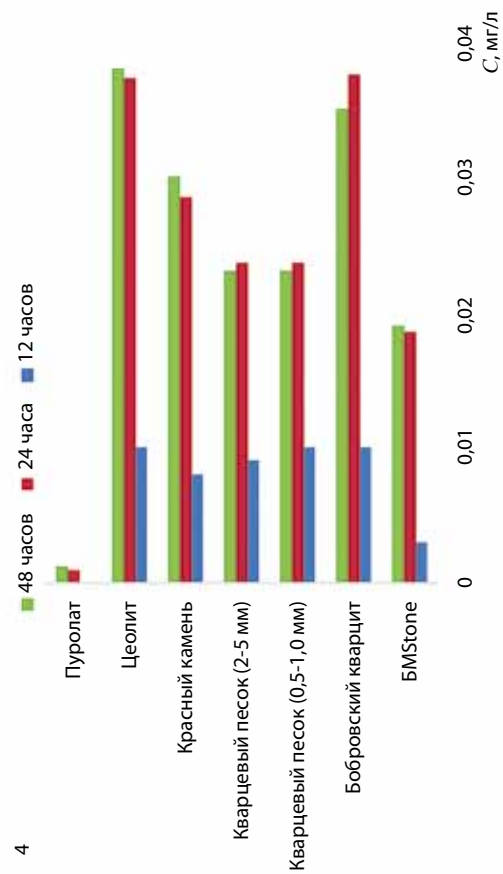
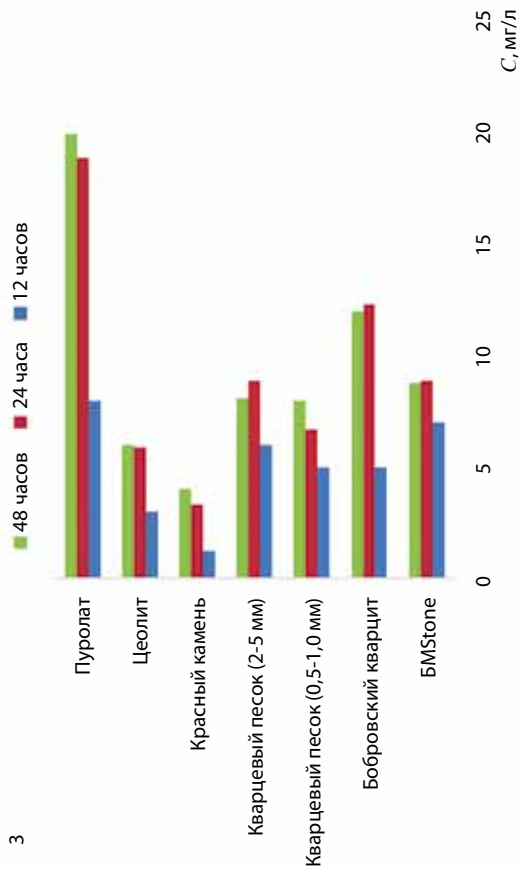
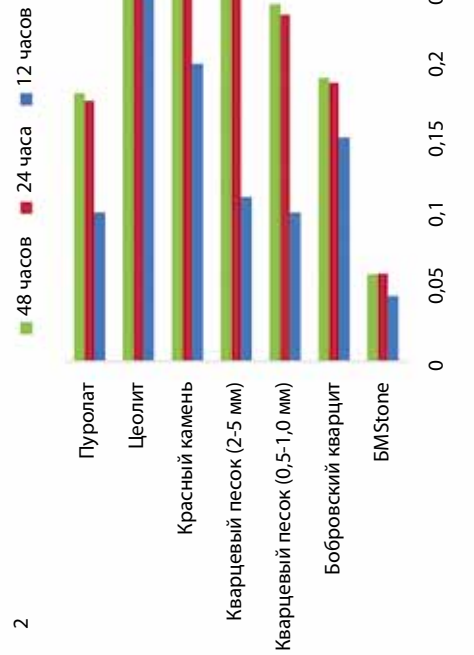
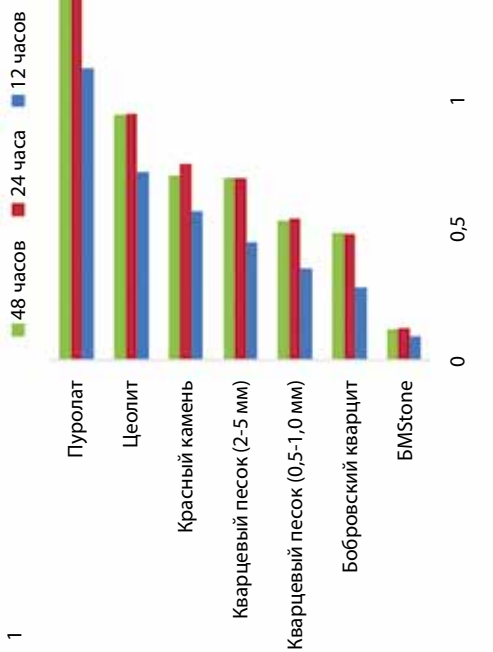
ИВАНОВА Л.А.

Канд. техн. наук, доцент кафедры техносферной безопасности КемГУ, 650000, г. Кемерово, Россия, e-mail: lyuda_ivan@mail.ru

НЕВЕРОВ Е.Н.

Доктор техн. наук, заведующий кафедрой техносферной безопасности КемГУ, 650000, г. Кемерово, Россия, e-mail: neverov42@mail.ru

* 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 № 1144-р, № соглашения 075-15-2022-1201 от 30.09.2022.



Изменение концентрации ионов железа (1), марганца (2), нитрит-ионов (3), сульфат-ионов (4) в процессе выщелачивания водой из исследуемых образцов
 Change in the concentration of iron ions (1), manganese ions (2), nitrite ions (3), sulfate ions (4) in the course of water leaching of the tested samples

лизации мероприятий по защите и охране окружающей среды, основанных на технологиях экономически обоснованных и обеспечивающих все требования экологической безопасности, что активно поддерживается властями региона, которые заинтересованы в повышении качества всех составляющих техносферы. Так, набирает темп национальный проект «Чистый воздух», реализуется комплексная научно-техническая программа «Чистый уголь – Зеленый Кузбасс», одной из задач которой являются очистка сточных вод и снижение нагрузки на гидрологическую сеть региона.

ОСНОВНОЙ РАЗДЕЛ

Добыча угля открытым способом сопровождается очисткой стоков и относится к достаточно щадящим процессам для территории, так как не ведет к объемным сбросам загрязнителей в окружающую среду. Очистка сточных вод, в свою очередь, достаточно сложный процесс, требующий учета различных факторов [3, 4].

В соответствии со справочником НДТ, для очистки вод угольных карьеров эффективным является применение фильтрующих дамб. Преимущества данных технологий заключается в простоте возведения, технологичности очистного сооружения, малой площади и низкой себестоимости очистки сточных вод. Данный подход обычно имеет высокие экологические показатели при достаточной экономической выгоде. Качество карьерных вод после прохождения очистки зависит от используемых пород и параметров фильтрующего массива [5, 6]. При этом в качестве основы фильтрующей системы можно рекомендовать различные загрузки в зависимости от исходного состава воды. В большинстве случаев для строительства фильтрующих массивов используются вскрышные породы, полученные при добыче ископаемого топлива, но в зависимости от водородного показателя они, в свою очередь, могут явиться источниками дополнительного привнесения минеральных загрязнителей в очищаемую воду. Следовательно, существенное влияние на эффективность и степень очистки будут оказывать характеристики материала фильтрующей засыпки дамбы [7].

Так как наиболее часто встречающимися загрязнителями сточных вод угольных разрезов являются ионы железа, марганца, меди, цинка, а также сульфат- и нитрит-ионы была оценена выщелачиваемость (вымывание) вышеупомянутых веществ из различных материалов, рекомендуемых для применения в составе фильтрующего массива.

Объектами исследования выбраны материалы различной природы и происхождения: натуральный природный камень БМStone, бобровский кварцит, кварцевый песок различных фракций (0,5-1,0 мм, 2-5мм), красный камень, цеолит, пуrolат-стандарт.

Концентрацию ионов железа определяли по ГОСТ 4011-72, концентрацию ионов марганца устанавливали фотометрическим методом на спектрофотометре ПЭ-5300В по реакции с формальдоксимом, концентрацию сульфат-ионов определяли методом фототурбидиметрии (ГОСТ 31940-2012), нитрит-ионов – методом ионометрии.

Исследовали модельный процесс выщелачивания подвижных форм ионов железа, марганца, а также сульфат-

нитрит-ионов представленных образцов [8]. Для этого навеску образца заливали дистиллированной водой (рН 6,86) при соотношении 5:200. Содержание исследуемых ионов измеряли через 12, 24 и 48 часов.

На рисунке приведены зависимости содержания исследуемых ионов от времени контакта воды с образцами исследуемых материалов, которые можно применять как составной компонент фильтрующей дамбы [9].

Установлено, что наиболее интенсивное выщелачивание всех исследуемых ионов протекает в течение первых 12 часов, после 24 часов контакта с раствором экстрагента процесс стабилизируется. По результатам, полученным в ходе исследований видно, что максимальное вымывание практически всех ионов происходит из цеолита, но при этом можно выделить натуральный красный камень, который в меньшей степени стал источником инфильтрации в раствор экстрагента исследуемых ионов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты, полученные при проведенном исследовании, показывают влияние природы и качества выбранного фильтрующего материала на эффективность метода, имеющего достаточно высокий экономический эффект; наукоемкий подход при выборе материала фильтрующей засыпки дамбы обеспечит в свою очередь высокие экологические показатели.

Так, установлено, что наиболее интенсивное выщелачивание всех исследуемых ионов протекает из бобровского кварцита и цеолита, наименьшее – у натурального природного камня БМStone.

При контакте всех образцов горных пород с дистиллированной водой наблюдается значительное выщелачивание из них сульфатов и марганца.

Учитывая, что наибольшее вымывание происходит в течение первых суток контакта можно предположить рост поступления исследуемых ионов в поверхностные водные объекты при прохождении карьерных стоков через фильтрующие массивы, в состав которых входят исследуемые образцы, на начальном этапе эксплуатации.

Список литературы

1. Корчагина Т.В., Степанов Ю.А., Бурмин Л.Н. Метод оценки экологических показателей воздействия на окружающую среду в районах размещения угольных предприятий // Уголь. 2018. № 8. С. 119-123. DOI: 10.18796/0041-5790-2018-8-119-123.
2. Краснова Т., Горелкина А., Кирсанов М. Использование адсорбции для снижения загрязнения водных ресурсов // Экология и промышленность России. 2018. № 22. С. 44-49. DOI: 10.18412/1816-0395-2018-1-44-49.
3. Тюленев М.А. Технология очистки сточных вод на действующих разрезах Кузбасса // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2012. № 56. С. 104-106.
4. Лесин Ю.В. Сравнительная оценка содержания загрязняющих примесей в карьерных сточных водах при использовании различных методов их очистки // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2012. № 57. С. 76-95.
5. Иветич М., Горелкина А.К. Снижение контаминации воды для обеспечения качества и безопасности продукции пищевых пред-

- приятый // Техника и технология пищевых производств. 2020. Т. 50. № 3. С. 515–524. DOI: 10.21603/2074-9414-2020-3-515-524.
6. Доклад о состоянии и охране окружающей среды Кемеровской области – Кузбасса в 2021 году / Администрация Правительства Кузбасса, Министерство природных ресурсов и экологии Кузбасса. 2022. URL: http://ecokem.ru/wp-content/uploads/2022/08/doklad_2021.pdf. (дата обращения: 15.11.2023).
 7. Попов А.Н. Применение искусственных фильтрующих массивов для очистки карьерных сточных вод разреза «Шестаки» // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2015. № S1-1. С. 560-567.
 8. Маслобоев В.А. Методы снижения концентрации сульфатов в сточных водах горнорудных предприятий // Вестник Кольского научного центра РАН. 2017. Т. 9. № 1. С. 99-115.
 9. Тюленев М.А. Перенос загрязняющих веществ при фильтрации сточных карьерных вод во вскрышных породах // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2011. Т. 85. № 2. С. 22-30.

ECOLOGY

Original Paper

UDC 631.879.2:626.131.5 © A.K. Gorelkina, E.S. Mikhaylova, I.V. Timoshchuk, L.A. Ivanova, E.N. Neverov, 2023
 ISSN 0041-5790 (Print) • ISSN 2412-8333 (Online) • Ugol' – Russian Coal Journal, 2023, № S12, pp. 63-66
 DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2023-S12-63-66>

Title

EXAMPLE OF WASTEWATER TREATMENT OF COAL MINING ENTERPRISES

Authors

Gorelkina A.K.¹, Mikhaylova E.S.¹, Timoshchuk I.V.¹, Ivanova L.A.¹, Neverov E.N.¹

¹ Kemerovo State University, Kemerovo, 650000, Russian Federation

Authors Information

Gorelkina A.K., Doctor of Engineering Sciences, Professor of Department of Technosphere Safety, e-mail: alengora@yandex.ru

Mikhaylova E.S., PhD (Chemistry), Head of the Department for the Implementation of a CSTEP, e-mail: e_s_mihaylova@mail.ru

Timoshchuk I.V., Doctor of Engineering Sciences, Professor of the Department of Technosphere Safety, e-mail: irina_190978@mail.ru

Ivanova L.A., PhD (Engineering), Associate Professor of the Department of Technosphere Safety, e-mail: iyuda_ivanova@mail.ru

Neverov E.N., Doctor of Engineering Sciences, Head of the Department of Technosphere Safety, e-mail: neverov42@mail.ru

Abstract

The resource-oriented vector of the region's development also determines the state of the habitat. Wastewater treatment is a rather complex process that requires consideration of various factors. The method used in modern sections is based on the filtration of wastewater through filter arrays. The choice of backfill rock is determined by the leaching capacity of the material and the initial composition of the wastewater. The presented studies have shown that the natural natural stone of the BMStone brand showed the least leaching for all the studied ions, the components of their zeolite sample are most actively washed out.

Keywords

Filter arrays, Natural natural stone, Quartzite, Quartz sand, Red stone, Zeolite, Purolate-Standard.

References

1. Korchagina T.V., Stepanov Yu.A. & Burmin L.N. Method of environmental impact indicators assessment within coal enterprises footprint. *Ugol'*, 2018, (8), pp. 119-123. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2018-8-119-123.
2. Krasnova T., Gorelkina A., Kirsanov M. Adsorption use to reduce water pollution. *Ekologiya i promyshlennost' Rossii*, 2018, (22), pp 44-49. (In Russ.). DOI: 10.18412/1816-0395-2018-1-44-49.
3. Tyulenev M.A. Wastewater treatment technology at operating open pit mines in Kuzbass. *Gornyj informatsionno-analiticheskij byulleten'*, 2012, (S6), pp. 104-106. (In Russ.).
4. Lesin Yu.V. Comparative assessment of pollutant content in quarry wastewater when using different methods of its treatment 2012, (S7), pp. 76-95. (In Russ.).

5. Ivetich M., Gorelkina A.K. Reducing water contamination to ensure the quality and safety of industrial food products. *Tehnika i tehnologiya pishchevykh proizvodstv*, 2020, Vol. 50, (3), pp. 515-524. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2020-3-515-524>.

6. Report on the condition and protection of the environment in the Kemerovo region – Kuzbass in 2021 / Kuzbass Government Administration. Ministry of Natural Resources and Ecology of Kuzbass. 2022, Available at: http://ecokem.ru/wp-content/uploads/2022/08/doklad_2021.pdf. (accessed 15.11.2023).

7. Popov A.N. Using of artificial filter massifs for purification of open pit mine «Shestaki» waste water. *Gornyj informatsionno-analiticheskij byulleten'*, 2015, (S1-1), pp. 560-567. (In Russ.).

8. Masloboev V.A. The methods of reducing sulphate concentrations in the waste water of mining enterprises. *Vestnik Kol'skogo nauchnogo tsentra RAN*, 2017, Vol. 9, (1), pp. 99-115. (In Russ.).

9. Tyulenev M.A. Transfer of pollutants during filtration of waste quarry waters in overburden rocks. *Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tehnikeskogo universiteta*, 2011, Vol. 85, (2), pp. 22-30. (In Russ.).

Acknowledgements

The research is conducted as part of the comprehensive scientific and technical program of a complete innovative cycle "Development and implementation of a complex of technologies in the fields of exploration and extraction of minerals, ensuring of industrial safety, bioremediation, creation of new products of deep processing of coal raw materials with consecutive amelioration of ecological impact on the environment and risks to human life", approved by the Decree of the Government of the Russian Federation from 11.05.2022 № 1144-r, agreement № 075-15-2022-1201 dated 30.09.2022.

For citation

Gorelkina A.K., Mikhaylova E.S., Timoshchuk I.V., Ivanova L.A. & Neverov E.N. Example of wastewater treatment of coal mining enterprises. *Ugol'*, 2023, (S12), pp. 63-66. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2023-S12-63-66.

Paper info

Received November 1, 2023

Reviewed November 15, 2023

Accepted November 30, 2023

Магнитная сепарация отходов АО ЦОФ «Березовская»*

DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2023-S12-67-69>

В работе рассматриваются разделение отходов углеобогащения по магнитным свойствам методом мокрой магнитной сепарации и состав полученных образцов.

Ключевые слова: отходы углеобогащения, углерепереработка, мокрая магнитная сепарация, элементный анализ.

Для цитирования: Черкасова Т.Г., Пилин М.О., Баранцев Д.А. Магнитная сепарация отходов АО ЦОФ «Березовская» // Уголь. 2023. № S12. С. 67-69. DOI: 10.18796/0041-5790-2023-S12-67-69.

ВВЕДЕНИЕ

Существующие способы извлечения утяжелителя из продуктов обогащения основаны на различии физико-химических, магнитных и других свойств утяжелителя и обогащаемого материала. Утяжелители, употребляемые в практике обогащения углей, могут быть немагнитными (барит, кварц, сланец, песок) и магнитными (магнетит, ферросилиций и др.). Из немагнитной суспензии угольные частицы удаляются флотацией, а из магнетитовой или ферросилициевой — магнитной сепарацией.

Для улучшения процессов регенерации суспензии необходимо производить предварительную дешламацию обогащаемого угля с целью удаления тонких частиц (обычно мельче 0,5 мм). Это целесообразно производить даже при наличии небольшого количества тонких шламов в угле.

Наиболее дешевым процессом регенерации магнетитовой суспензии является магнитная сепарация. Этим во многом объясняется широкое применение магнетита и других магнитных минералов в качестве утяжелителя. Потери магнетита с немагнитными фракциями магнитных сепараторов составляют менее 0,05 кг/т, а потери его со сливом сгустителя — ничтожно малую величину. В среднем общие потери магнетита составляют около 0,55 кг/т исходного угля [1].

Магнитные методы обогащения применяют при переработке различных металлических и неметаллических полезных ископаемых и других видов сырья. При этом, если в руде содержатся минералы, имеющие магнитные свойства, то на стадии разработки схемы обогащения обязательно рассматривают возможность применения магнитного метода [2].

Вопросами селективного выделения гематита исследователи занимаются многие десятилетия [3, 4, 5, 6, 7]. Основное внимание уделяется флотационному разделению оксидов железа и кварца в процессах прямой и обратной флотации [5, 6, 7, 8, 9, 10]. Селективное отделение гематита от других железосодержащих минералов и других минералов исследуется в меньшей мере [11, 12]. Помимо флотационного выделения гематита также есть работы, связанные с выделением с помощью магнитной сепарации [13, 14].

ЧЕРКАСОВА Т.Г.

Доктор хим. наук, профессор, директор
Института химических
и нефтегазовых технологий
ФГБОУ ВО «КузГТУ имени Т.Ф. Горбачева»,
650000, г. Кемерово, Россия,
e-mail: ctg.htnv@kuzstu.ru

ПИЛИН М.О.

Старший преподаватель Института
химических и нефтегазовых технологий
ФГБОУ ВО «КузГТУ имени Т.Ф. Горбачева»,
650000, г. Кемерово, Россия,
e-mail: pilinmo@kuzstu.ru

БАРАНЦЕВ Д.А.

Ассистент Института химических
и нефтегазовых технологий
ФГБОУ ВО «КузГТУ имени Т.Ф. Горбачева»,
650000, г. Кемерово, Россия,
e-mail: kemche@yandex.ru

* Исследование выполнено за счет гранта Минобрнауки России (Соглашение № 075-15-2022-1194).

В данной работе применялась методика мокрой магнитной сепарации. Исследовался образец отхода углеобогащения АО ЦОФ «Березовская» БФ-4 (порода АО ЦОФ «Березовская» пгт. Березовский).

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

В пластиковый стакан на 1 л насыпается 100 г измельченной породы и наливается 400 мл дистиллированной воды. Далее устанавливается якорная мешалка (материал – пластик или стекло) – и запускается на умеренных оборотах. Мешалка устанавливается со смещением относительно центра стакана. После включения мешалки и гомогенизации среды параллельно якорю опускается неодимовый магнит (50x30 мм, «шайба»). Предварительно магнит необходимо поместить в пластиковый «кожух» для удобства отделения магнитной фракции от поверхности магнита. Магнит выдерживается в течение 3 мин и извлекается, далее помещается в стакан с водой, где отделяют кожух от магнита и смывают с него магнитную фракцию. Данную операцию проводят 3 раза. Затем раствор с магнитной фракцией фильтруют и сушат при 120°C, и определяют массу.

После разделения полученные образцы исследовали на элементный состав методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой (ИСП-МС) на масс-спектрометре с индуктивно-связанной плазмой Agilent 7500 сх. Данные исследования элементного состава изначального образца и образцов разделения мокрой магнитной сепарацией представлены в *таблице*.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исходя из полученных данных можно сделать следующие выводы:

- такие элементы, как: марганец (Mn), никель (Ni), цезий (Cs), лантан (La), празеодим (Pr), европий (Eu), железо (Fe), селен (Se), более, чем 60% от исходного содержания переходят в магнитную фракцию;

- такие элементы, как: гадолиний (Gd), диспрозий (Dy), эрбий (Er), иттербий (Yb), гафний (Hf), германий (Ge) более, чем 75% от исходного материала остаются в немагнитной фракции;

- остальные элементы разделяются примерно по 50% в каждой фракции.

Из этого следует, что метод мокрой магнитной сепарации эффективен только для ряда отдельных элементов, которые имеют более сильные магнитные свойства, или же в соединении с такими элементами.

Список литературы

1. Акопов М.Г. Обогащение углей в гидроциклонах. М.: Недра, 1967. 180 с.
2. Пелевин А.Е. Магнитные и электрические методы обогащения. Екатеринбург: Изд-во УГТУ, 2018. 296 с.
3. Польшкин С.И. Флотация руд редких металлов и олова. М.: Гос. науч.-техн. изд-во по горному делу, 1960.
4. Остапенко П.Е. Обогащение железных руд. М.: Недра, 1977.
5. Lima N.P., Valadão G.E.S., Peres A.E.C. Effect of amine and starch dosages on the reverse cationic flotation of an iron ore // Minerals Engineering. 2013. Vol. 45.

Элементное содержание отходов образцов углеобогащения

Elemental content of waste in coal processing samples

| Элемент | Образец | МС-1М | МС-1Н |
|----------------|---------|-------|-------|
| | | X | X |
| Литий (Li) | | 21 | 25 |
| Бериллий (Be) | | 2,0 | 2,6 |
| Скандий (Sc) | | 14,7 | 12,8 |
| Титан (Ti) | | 2750 | 3663 |
| Ванадий (V) | | 63 | 84 |
| Хром (Cr) | | 61 | 41 |
| Марганец (Mn) | | 1715 | 305 |
| Кобальт (Co) | | 13,5 | 10,9 |
| Никель (Ni) | | 22 | 11,8 |
| Медь (Cu) | | 52 | 35 |
| Цинк (Zn) | | 76 | 94 |
| Галлий (Ga) | | 7,0 | 7,8 |
| Рубидий (Rb) | | 79 | 119 |
| Стронций (Sr) | | 161 | 147 |
| Иттрий (Y) | | 23 | 25 |
| Цирконий (Zr) | | 152 | 203 |
| Ниобий (Nb) | | 7,3 | 9,5 |
| Цезий (Cs) | | 521 | 3,8 |
| Барий (Ba) | | 27 | 495 |
| Лантан (La) | | 53 | 35 |
| Церий (Ce) | | 6,4 | 68 |
| Празеодим (Pr) | | 29 | 7,9 |
| Неодим (Nd) | | 5,2 | 35 |
| Самарий (Sm) | | 1,02 | 5,8 |
| Европий (Eu) | | 4,2 | 1,09 |
| Гадолиний (Gd) | | 0,72 | 4,5 |
| Диспрозий (Dy) | | 0,82 | 4,0 |
| Эрбий (Er) | | 0,33 | 2,6 |
| Иттербий (Yb) | | 0,36 | 3,4 |
| Гафний (Hf) | | 0,67 | 5,0 |
| Тантал (Ta) | | 1,3 | 0,91 |
| Торий (Th) | | 10,3 | 10,6 |
| Железо (Fe) | | 49758 | 10643 |
| Германий (Ge) | | 1,4 | 3,3 |
| Селен (Se) | | 2,5 | 1,14 |
| Платина (Pt) | | 0,057 | 0,064 |

X – массовая доля, мил¹.

МС-1М – порода АО ЦОФ «Березовская» пгт. Березовский, магнитная фракция после сепарации.

МС-1Н – порода АО ЦОФ «Березовская» пгт. Березовский, немагнитная фракция после сепарации.

6. Arantes R.S., Lima R.M.F. Influence of sodium silicate modulus on iron ore flotation with sodium oleate // International Journal of Mineral Processing. 2013. Vol. 125.
7. Uwadiale G.G.O.O. Flotation of iron oxide and quartz – a review // Mineral Processing and Extractive Metallurgy Review. 1992. Vol. 11.
8. Rocha L., Cançado R.Z.L., Peres A.E.C. Iron ore slimes flotation // Minerals Engineering. 2010. Vol. 23. P. 11-13.
9. Ma X., Marques M., Gontijo C. Comparative studies of reverse cationic/anionic flotation of vale iron ore // International Journal of Mineral Processing. 2011.
10. De Mesquita I.M.S., Lins F.F., Torem M.I. Interaction of a hydrophobic bacterium strain in a hematite-quartz flotation system // International Journal of Mineral Processing. 2003. Vol. 71. P. 1-4.

11. Mei G.J., Rao P., Yu Y.F. Flotation separation of hematite and iron containing silicate using ammonium hexafluorosilicate depressant, Proceedings of XXIV International Mineral Processing Congress, Science Press, Beijing. 2008. Vol. 1.
12. Flocculation and flotation response of *Rhodococcus erythropolis* to pure minerals in hematite ores / H. Yang, Q. Tang, Ch. Wang et al. // Minerals Engineering. 2013. Vol. 45.
13. Sequential particle-size and magnetic separation for enrichment of rareearth elements and yttrium in Indonesia coal fly ash / Widya Rosita, I Made Bendiyasa, Indra Perdana et al. // Journal of Environmental Chemical Engineering. 2020. No 8. P. 1-10.
14. Recovery of rare earth elements from coal fly ash by integrated physical separation and acid leaching / Jinhe Pan, Tiancheng Nie, Behzad Vaziri Hassas et al. // Chemosphere. 2020. No 248. P. 1-9.

Original Paper

UDC 62-665.4:621.928.89 © T.G. Cherkasova, M.O. Pilin, D.A. Barantsev, 2023
 ISSN 0041-5790 (Print) • ISSN 2412-8333 (Online) • Ugol' – Russian Coal Journal, 2023, № S12, pp. 67-69
 DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2023-S12-67-69>

Title

MAGNETIC SEPARATION OF WASTE AT THE BEREZOVSKAYA CENTRAL PROCESSING PLANT

Authors

Cherkasova T.G.¹, Pilin M.O.¹, Barantsev D.A.¹

¹ T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, Kemerovo, 650000, Russian Federation

Authors Information

Cherkasova T.G., Doctor of Chemical Sciences, Professor, Director of the Institute of Chemical and Oil and Gas Technologies, e-mail: ctg.htnv@kuzstu.ru

Pilin M.O., Senior Lecturer at the Institute of Chemical and Oil and Gas Technologies, e-mail: pilinmo@kuzstu.ru

Barantsev D.A., Assistant at the Institute of Chemical and Oil and Gas Technologies, e-mail: kemche@yandex.ru

Abstract

The work examines the separation of coal enrichment waste by magnetic properties using the wet magnetic separation method and the composition of the resulting samples.

Keywords

Coal preparation waste, Coal processing, Wet magnetic separation, Elemental analysis.

References

1. Akopov M.G. Coal washing in hydrocyclones. Moscow, Nedra Publ., 1967, 180 p. (In Russ.).
2. Pelevin A.E. Magnetic and electrical processing mineral methods. Yekaterinburg, UGGU Publ., 2018, 296 p. (In Russ.).
3. Polkin S.I. Flotation of rare metal and tin ores. Moscow, State Scientific and Technical Publishing House for Mining Engineering, 1960.
4. Ostapenko P.E. Concentration of iron ores. Moscow, Nedra Publ., 1977.
5. Lima N.P., Valadão G.E.S. & Peres A.E.C. Effect of amine and starch dosages on the reverse cationic flotation of an iron ore. *Minerals Engineering*, 2013, Vol. 45.
6. Arantes R.S. & Lima R.M.F. Influence of sodium silicate modulus on iron ore flotation with sodium oleate. *International Journal of Mineral Processing*, 2013, Vol. 125.
7. Uwadiale G.G.O.O. Flotation of iron oxide and quartz – a review. *Mineral Processing and Extractive Metallurgy Review*, 1992, Vol. 11.
8. Rocha L., Cançado R.Z.L. & Peres A.E.C. Iron ore slimes flotation. *Minerals Engineering*, 2010, (23), pp. 11–13.

9. Ma X., Marques M. & Gontijo C. Comparative studies of reverse cationic/anionic flotation of vale iron ore. *International Journal of Mineral Processing*, 2011.

10. De Mesquita I.M.S., Lins F.F. & Torem M.I. Interaction of a hydrophobic bacterium strain in a hematite-quartz flotation system. *International Journal of Mineral Processing*, 2003, Vol. 71, pp. 1-4.

11. Mei G.J., Rao P. & Yu Y.F. Flotation separation of hematite and iron containing silicate using ammonium hexafluorosilicate depressant, Proceedings of XXIV International Mineral Processing Congress, Science Press, Beijing, 2008, Vol. 1.

12. Yang H., Tang Q., Wang Ch. & Zhang J. Flocculation and flotation response of *Rhodococcus erythropolis* to pure minerals in hematite ores. *Minerals Engineering*, 2013, Vol. 45.

13. Widya Rosita, I Made Bendiyasa, Indra Perdana & Ferian Anggara. Sequential particle-size and magnetic separation for enrichment of rareearth elements and yttrium in Indonesia coal fly ash. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 2020, (8), pp. 1-10.

14. Jinhe Pan, Tiancheng Nie, Behzad Vaziri Hassas, Mohammad Rezaee, Zhiping Wen & Changchun Zhou. Recovery of rare earth elements from coal fly ash by integrated physical separation and acid leaching. *Chemosphere*, 2020, (248), pp. 1-9.

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., Pilin M.O. & Barantsev D.A. Magnetic separation of waste at the Berezovskaya Central Processing Plant. *Ugol'*, 2023, (S12), pp. 67-69. (In Russ.). DOI: [10.18796/0041-5790-2023-S12-67-69](https://doi.org/10.18796/0041-5790-2023-S12-67-69).

Paper info

Received November 1, 2023

Reviewed November 15, 2023

Accepted November 30, 2023

COAL PREPARATION

Продукты гидрофторирования отходов углеобогащения АО ЦОФ «Березовская»*

DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2023-S12-70-74>

ЧЕРКАСОВА Т.Г.

Доктор хим. наук, профессор, директор
Института химических
и нефтегазовых технологий
ФГБОУ ВО «КузГТУ имени Т.Ф. Горбачева»,
650000, г. Кемерово, Россия,
e-mail: ctg.htnv@kuzstu.ru

БАРАНЦЕВ Д.А.

Ассистент Института химических
и нефтегазовых технологий
ФГБОУ ВО «КузГТУ имени Т.Ф. Горбачева»,
650000, г. Кемерово, Россия,
e-mail: kemche@yandex.ru

На фоне растущих объемов отходов угольной промышленности становится актуальным направление поиска технологических решений по их переработке. Из элементного анализа данных отходов установлено наличие редких и редкоземельных элементов в промышленно значимых концентрациях, что позволяет использовать отходы как сырье. Ключевым этапом при их переработке является вскрытие минерального сырья. Отходы угольной промышленности состоят преимущественно из кремнийсодержащих минералов (кварц, глинистые минералы, полевые шпаты), имеющих высокую химическую стойкость, для вскрытия которых требуются высокие температуры и химически активные реагенты (гидроксид натрия, карбонат натрия, серная кислота и др.). В данной работе приведены результаты вскрытия отходов углеобогащения с помощью гидрофторида аммония в водном растворе при температуре кипения воды. Приведены результаты распределения элементов в продуктах гидрофторирования. Выделена белая сажа с содержанием оксида кремния 87,5% масс., оставшийся раствор был упарен до получения фторида аммония, в котором сконцентрировались рубидий и цезий (степень извлечения достигает 85,22% масс. и 89,65% масс. соответственно). Установлено, что 90% масс. суммы редкоземельных элементов (РЗЭ) остается в кеке.

Ключевые слова: отходы угледобычи и углеобогащения, элементный анализ, белая сажа, гидрофторирование, концентрирование, редкоземельные элементы, рубидий, цезий.

Для цитирования: Черкасова Т.Г., Баранцев Д.А. Продукты гидрофторирования отходов углеобогащения АО ЦОФ «Березовская» // Уголь. 2023. № S12. С. 70-74. DOI: 10.18796/0041-5790-2023-S12-70-74.

ВВЕДЕНИЕ

Вторичная переработка является значимым условием сокращения объемов отходов, образующихся при добыче и переработке угля. В России ежегодно образуется более 350 млн т отходов угольной отрасли, что увеличивает степень негативного воздействия на окружающую среду [1]. Золошлаки, отходы угледобычи и углеобогащения состоят преимущественно из оксида кремния ($\omega = 40-60\%$), большая часть которого, согласно рентгенофазовому анализу, находится в виде минерала кварца, остальная часть распределена в глинистых минералах и полевых шпатах [1, 2]. Присутствие редких и редкоземельных элементов в промышленно значимых концентрациях [3] позволяет рассматривать данные отходы как подобные «упорным» полиметаллическим рудам.

* Исследование выполнено за счет гранта Минобрнауки России (Соглашение № 075-15-2022-1194).

Отечественная металлургия в последние десятилетия столкнулась с дефицитом цветных и редких металлов, потребляемых в ряде стратегических отраслей промышленности (атомной, электронной, авиационной, космической и т.д.). Основные причины этого: истощение запасов металлических полезных ископаемых; добыча руд смещается на участки регионов с неразвитым промышленно-энергетическим сектором и с отсутствием транспортно-логистической системы; усложнение горно-геологических условий разработки месторождений руд; отсутствие рентабельных технологий обогащения и переработки [4, 5]. Также стоит отметить, что пророст минерально-сырьевой базы металлических полезных ископаемых тесно связан с потребностями предприятий цветной металлургии, при этом в России для целого ряда металлов (свинца, вольфрама, цинка и др.) наблюдается тенденция, когда экспортируются не товарные металлы, а полуфабрикаты – продукты переделов руд [5, 6]. В этой связи актуальным направлением является разработка технологий извлечения металлов из некондиционных руд и техногенного минерального сырья [6].

Для вскрытия силикатной матрицы требуются применение высоких температур в сочетании с концентрированной серной кислотой или спекание с соединениями щелочных металлов [7, 8]. Это приводит к введению в сырье дополнительного количества ионов, которые увеличивают общую массу продукта и уменьшают массовую долю ценных металлов. При этом данные технологии вскрытия имеют большое количество стадий, это приводит к необходимости применения большого количества реагентов, воды и энергии, что значительно увеличивает время переработки. В большинстве случаев на последующих стадиях обогащения не удается регенерировать исходное сырье [8, 9], применяемое для вскрытия, что приводит к удорожанию конечных продуктов и возникновению новых отходов. Данных недостатков лишена технология фторирования минерального сырья, интерес к которой значительно возрос в последние десятилетия [10, 11, 12, 13, 14].

Наиболее привлекательными фторирующими агентами являются фторид и гидрофторид аммония, которые имеют ряд преимуществ при вскрытии сырья: проведе-

ние вскрытия как в водном растворе, так и при спекании; низкие температуры вскрытия (реакции начинают протекать при комнатной температуре) позволяют использовать оборудование, изготовленное из полимерных материалов; регенерация и повторное использование в качестве сырья; высокая степень извлечения и простота отделения кремния из сырья [10, 11, 15, 16]. Учитывая, что фтор остается на всех стадиях переработки в связанном состоянии, это позволяет создавать экологически безопасные технологические схемы переработки кремнийсодержащего сырья и значительную экономию за счет замкнутого производства.

В данной работе приводятся результаты распределения элементов в продуктах реакции при гидрофторировании отходов углеобогащения АО ЦОФ «Березовская» с последующим отделением оксида кремния в виде «белой сажи».

ОСНОВНОЙ РАЗДЕЛ

Образец породы (БФ) углеобогащения с АО ЦОФ «Березовская» крупностью +13 мм подвергли гидрофторированию. Для этого 100 г измельченной до фракции не более 0,08 мм породы поместили в стакан из полистирола и добавили 250 г гидрофторида аммония, растворенного в 400 мл дистиллированной воды. Смесь нагревали при постоянном перемешивании в течение 5 часов на водяной бане. После охлаждения до комнатной температуры раствор отфильтровывали на вакуумной насосной установке, кек три раза промыли дистиллированной водой. К полученному раствору, при постоянном перемешивании, добавили 100 мл 20%-ного раствора аммиака, в результате реакции образуется аморфный оксид кремния, в дальнейшем отделенный на вакуумной насосной установке, промытый три раза дистиллированной водой порциями по 100 мл и высушенный до постоянной массы. Выход – 50-52 г. Оксид кремния (БС) и нерастворившийся остаток после фторирования (КПФ) исследовали методами ИСП-МС, ИСП-ОЭС и рентгенографией (см. таблицу). Раствор фторидов после отделения SiO₂ идет на регенерацию, где при 150°C из него отгоняются вода и аммиак, полученный остаток фторидов пригоден для повторного фторирования.

Результаты ИСП-МС-анализа порошков исходного образца, оксида кремния и кека после фторирования отходов породы углеобогащения АО ЦОФ «Березовская»

Results of the Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry (ICPMS) analysis of powders from the initial sample, silicon oxide and the cake after fluorination of coal processing wastes from the Berezovskaya Central Processing Plant

| Элемент | Название образца | БФ | | БС | | КПФ | |
|---------------|------------------|------|-----|------|-------|------|------|
| | | X | ±Δ | X | ±Δ | X | ±Δ |
| Литий (Li) | | 29 | 6 | 1,8 | 0,6 | 14,1 | 3 |
| Бериллий (Be) | | 3 | 1 | 0,08 | 0,031 | 0,66 | 0,21 |
| Скандий (Sc) | | 7,6 | 2,4 | 1,3 | 0,4 | 9,6 | 3,1 |
| Титан (Ti) | | 4219 | 717 | 633 | 108 | 3355 | 570 |
| Ванадий (V) | | 97 | 20 | 21 | 4 | 38 | 8 |
| Хром (Cr) | | 11,8 | 2,5 | 2 | 0,6 | 39 | 8 |
| Марганец (Mn) | | 355 | 74 | 28 | 6 | 298 | 63 |
| Кобальт (Co) | | 9,2 | 2,9 | 7,6 | 2,4 | 6,5 | 2,1 |
| Никель (Ni) | | 15,2 | 3,2 | 3,4 | 1,1 | 9 | 2,9 |

| Элемент | Название образца | БФ | | БС | | КПФ | |
|----------------|------------------|------------|-------|-------------|--------|-------------|--------|
| | | X | ±Δ | X | ±Δ | X | ±Δ |
| Медь (Cu) | | 17,1 | 3,6 | 73 | 15 | 105 | 22 |
| Цинк (Zn) | | 70 | 15 | 24 | 5 | 56 | 12 |
| Галлий (Ga) | | 9,9 | 3,2 | 0,25 | 0,08 | 7,1 | 2,3 |
| Рубидий (Rb) | | 138 | 29 | 1,9 | 0,6 | 18,5 | 3,9 |
| Стронций (Sr) | | 168 | 35 | 0,96 | 0,31 | 125 | 26 |
| Иттрий (Y) | | 29 | 6 | 0,052 | 0,02 | 26 | 6 |
| Цирконий (Zr) | | 240 | 50 | 152 | 32 | 143 | 30 |
| Ниобий (Nb) | | 13,5 | 2,8 | 1,7 | 0,5 | 9,5 | 3 |
| Цезий (Cs) | | 8,5 | 2,7 | 0,72 | 0,23 | 0,16 | 0,05 |
| Барий (Ba) | | 551 | 94 | 3,4 | 1,1 | 538 | 92 |
| Лантан (La) | | 43 | 9 | 1 | 0,32 | 39 | 8 |
| Церий (Ce) | | 77 | 16 | 0,18 | 0,06 | 73 | 15 |
| Празеодим (Pr) | | 8,9 | 2,8 | 0,013 | 0,005 | 8 | 2,6 |
| Неодим (Nd) | | 35 | 7 | 0,04 | 0,016 | 24 | 5 |
| Самарий (Sm) | | 6,9 | 2,2 | 0,0031 | 0,0012 | 6,3 | 2 |
| Европий (Eu) | | 1,3 | 0,4 | 0,0014 | 0,0005 | 1,13 | 0,36 |
| Гадолиний (Gd) | | 5,3 | 1,7 | 0,0087 | 0,0034 | 5 | 1,6 |
| Тербий (Tb) | | 0,88 | 0,28 | <0,001 | | 0,83 | 0,26 |
| Диспрозий (Dy) | | 4,7 | 1,5 | 0,0052 | 0,002 | 4,3 | 1,4 |
| Гольмий (Ho) | | 1,06 | 0,34 | 0,0016 | 0,0006 | 1 | 0,32 |
| Эрбий (Er) | | 3,1 | 1 | 0,0084 | 0,0033 | 3 | 0,9 |
| Тулий (Tm) | | 0,42 | 0,13 | <0,001 | | 0,39 | 0,12 |
| Иттербий (Yb) | | 4 | 1,3 | 0,017 | 0,007 | 3,7 | 1,2 |
| Лютеций (Lu) | | 0,5 | 0,16 | 0,0045 | 0,0018 | 0,48 | 0,15 |
| Гафний (Hf) | | 5,7 | 1,8 | 4,6 | 1,5 | 4,1 | 1,3 |
| Тантал (Ta) | | 0,49 | 0,16 | 0,112 | 0,036 | 0,95 | 0,3 |
| Вольфрам (W) | | 1,5 | 0,5 | 0,24 | 0,08 | 1,08 | 0,35 |
| Таллий (Tl) | | 0,62 | 0,2 | 0,16 | 0,05 | 0,016 | 0,006 |
| Свинец (Pb) | | 20 | 4 | 0,86 | 0,28 | 7,2 | 2,3 |
| Торий (Th) | | 15,4 | 3,2 | 0,057 | 0,022 | 13,1 | 2,7 |
| Уран (U) | | 3,8 | 1,2 | 1,6 | 0,5 | 2,9 | 0,9 |
| Железо (Fe) | | - | - | 1183 | 237 | 9058 | 1812 |
| Германий (Ge) | | 0,81 | 0,32 | 0,069 | 0,031 | 0,5 | 0,2 |
| Селен (Se) | | 2,2 | 0,8 | 1,3 | 0,5 | 2,5 | 0,9 |
| Молибден (Mo) | | 0,082 | 0,032 | 0,06 | 0,027 | 0,86 | 0,34 |
| Рутений (Ru) | | 0,0019 | 0,001 | 0,014 | 0,006 | 0,0047 | 0,0023 |
| Палладий (Pd) | | 0,016 | 0,007 | 0,0021 | 0,0011 | 0,013 | 0,006 |
| Серебро (Ag) | | 0,52 | 0,21 | 0,062 | 0,028 | 0,21 | 0,08 |
| Кадмий (Cd) | | 0,3 | 0,12 | 0,32 | 0,13 | 0,16 | 0,06 |
| Олово (Sn) | | 2,3 | 0,8 | 6,6 | 2,3 | 1,3 | 0,5 |
| Сурьма (Sb) | | 2,1 | 0,7 | 4,3 | 1,5 | 0,68 | 0,27 |
| Теллур (Te) | | 0,079 | 0,036 | 0,023 | 0,01 | 0,017 | 0,008 |
| Платина (Pt) | | 0,074 | 0,033 | 0,065 | 0,029 | 0,037 | 0,017 |
| Золото (Au) | | 0,11 | 0,04 | 0,01 | 0,005 | 0,043 | 0,019 |
| Висмут (Bi) | | 0,43 | 0,17 | 0,051 | 0,023 | 0,3 | 0,12 |

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В исходном образце (БФ) суммарное содержание РЗЭ достигает 228,66 г/т, тогда как в образцах (БС) и (КПФ) составляет 2,63 г/т и 205,73 г/т соответственно. По разнице массы вычислено, что 20 г/т суммы РЗЭ остается в регенерируемом фториде. При повторной регенерации растворов фторидов, предположительно должно происходить накопление растворимых фторидов щелочных и других металлов в регенерируемом растворе. После однократной процедуры фторирования элементы в продуктах распределены следующим образом:

– большая часть лития остается в кеке (14,1 г/т) в связи с плохой растворимостью его фторида, но из-за низкой исходной концентрации (29 г/т) около 13 г/т лития переходит в раствор;

– из исходных 138 г/т рубидия в кеке остается 18,5 г/т, тогда как в раствор переходит около 117,6 г/т;

– порядка 0,16 г/т цезия остается в кеке от исходной массы 8,5 г/т, с оксидом кремния осаждается 0,72 г/т. Содержание цезия в растворе – 7,62 г/т.

Образец (БС) полностью аморфный, в нем отсутствуют минералы в концентрациях, превышающих порог чувстви-

тельности прибора. Содержание оксида кремния достигает 87,5% масс. Суммарное содержание примеси остальных элементов достигает 0,21% масс., в частности содержание Fe_2O_3 – менее 0,5% масс. Остаток кремния в кеке в пересчете на оксид составляет менее 20% масс., минеральная часть состоит из: КЗТf6 (71% масс.); портландит (25% масс.); периклаз (4% масс.). В кеке после отделения кремния остается порядка 90% масс. суммарного концентрата РЗЭ.

Таким образом, в регенерируемом растворе фторида аммония концентрируются щелочные металлы, в частности такие ценные, как рубидий и цезий, степень извлечения которых достигает 85,22% масс. и 89,65% масс. соответственно.

Список литературы

1. Проблемы использования отходов угледобычи / А.А. Харионовский, В.Ю. Гришин, К.С. Коликов и др. // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2021. № 10. С. 45–55. DOI: 10.25018/0236-1493-2021-101-0-45.
2. Исследование свойств отходов потребления и обогащения угля Кузбасса для использования в качестве сырья для изготовления строительных материалов / Т.Г. Черкасова, Е.А. Шабанова, А.А. Бушуев и др. // Уголь. 2023. № 10. С. 89–95. DOI: 10.18796/0041-5790-2023-10-89-95.
3. Определение состава отходов углеперерабатывающего предприятия ПАО ЦОФ «Березовская» / Т.Г. Черкасова, М.О. Пилин, А.В. Тихомирова и др. // Уголь. 2023. № 9. С. 90–95. DOI: 10.18796/0041-5790-2023-9-90-95.
4. Краснов О.С., Салихов В.А. Оценка влияния комплексного использования техногенных отходов на ресурсные циклы региона (на примере Кемеровской области) // Вестник Томского государственного университета. Экономика. 2018. № 41. С. 85–94. DOI: 10.17223/19988648/41/6.
5. Минерально-сырьевая база цветной металлургии России / Ю.В. Дмитрак, Б.С. Цидаев, В.Х. Дзапаров и др. // Вектор ГеоНаук. 2019. Т. 2. № 1. С. 9–18.
6. Новиков Н.И., Салихов В.А. Основные направления и перспективы развития минерально-сырьевой базы цветных и редких металлов в мире и России // Вестник Томского государственного университета. Экономика. 2015. № 2. С. 138–150. DOI: 10.17223/19988648/30/13.
7. Taggart R.K., Howerb J.C., Hsu-Kima H. Effects of roasting additives and leaching parameters on the extraction of rare earth elements from coal fly ash // International Journal of Coal Geology. 2018. Vol. 196. P. 106–114. DOI: 10.1016/j.coal.2018.06.021.
8. Ruberlan G.S., Carlos A.M., Éder D.O. Selective precipitation of rare earth from non-purified and purified sulfate liquors using sodium sulfate and disodium hydrogen phosphate // Minerals Engineering. 2019. Vol. 134. P. 402–416. DOI: 10.1016/j.mineng.2019.02.028.
9. Технология комплексной переработки высококремнистой и труднообогатимой минеральной руды с получением концентрата РЗМ и высокодисперсного диоксида кремния / Е.Г. Бочевская, З.Б. Каршигина, Э.А. Саргелова и др. // Вестник науки и образования. 2017. № 12. Том 1. С. 13–18. DOI: 10.20861/2312-8089-2017-36-007.
10. Крысенко Г.Ф., Эпов Д.Г., Медков М.А. Гидрофторид аммония – перспективный реагент для вскрытия и концентрирования полезных компонентов полиметаллического и техногенного сырья // Труды Кольского научного центра РАН. Химия и материаловедение, спец. вып.: II Всероссийская научная конференция с международным участием, посвященная памяти В.Т. Калининкова «Исследования и разработки в области химии и технологии функциональных материалов». 2015. № 5. С. 76–80.
11. Римкевич В.С., Пушкин А.А., Гиренко И.В. Комплексная переработка кремнеземсодержащего сырья с извлечением кремнезема и кремния // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2018. № 9. С. 73–80. DOI: 10.25018/0236-1493-2018-9-0-73-80.
12. Медков М.А., Крысенко Г.Ф., Эпов Д.Г. Комплексная переработка датолитового концентрата гидрофторидом аммония // Вестник ДВО РАН. 2010. № 5. С. 63–66.
13. Разработка способа низкотемпературного обескремнивания полиметаллического шлама раствором NH_4HF_2 / А.А. Смороков, А.С. Кантаев, Д.В. Брянкин и др. // Изв. вузов. Химия и хим. технология. 2022. Т. 65(8). С. 70–76. DOI: 10.6060/ivkkt.20226508.6608.
14. Разработка способа низкотемпературного обескремнивания лейкоксенового концентрата Ярегского месторождения раствором гидрофторида аммония / А.А. Смороков, А.С. Кантаев, Д.В. Брянкин и др. // Изв. вузов. Химия и хим. технология. 2022. Т. 65(2). С. 127–133. DOI: 10.6060/ivkkt.20226502.6551.
15. Разработка способа низкотемпературного обескремнивания активированного цирконового концентрата раствором NH_4HF_2 / А.А. Смороков, А.С. Кантаев, Д.В. Брянкин и др. // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2022. Т. 333. № 4. С. 27–36. DOI: 10.18799/24131830/2022/4/3459.
16. Медков М.А., Крысенко Г.Ф., Эпов Д.Г. Гидрофторид аммония – перспективный реагент для комплексной переработки минерального сырья // Вестник ДВО РАН. 2011. № 5. С. 60–65.

Original Paper

UDC 543.632.4: 546[35+36+65+161] © T.G. Cherkasova, D.A. Barantsev, 2023
 ISSN 0041-5790 (Print) • ISSN 2412-8333 (Online) • Ugol' – Russian Coal Journal, 2023, № S12, pp. 70-74
 DOI: http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2023-S12-70-74

Title

HYDROFLUORINATION PRODUCTS OF COAL PROCESSING WASTES FROM THE BEREZOVSKAYA CENTRAL PROCESSING PLANT

Authors

Cherkasova T.G.¹, Barantsev D.A.¹

¹ T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, Kemerovo, 650000, Russian Federation

COAL PREPARATION

Authors Information

Cherkasova T.G., Doctor of Chemical Sciences, Professor, Director at the Institute of Chemical and Oil and Gas Technologies, e-mail: ctg.htnv@kuzstu.ru

Barantsev D.A., Assistant at the Institute of Chemical and Oil and Gas Technologies e-mail: kemche@yandex.ru

Abstract

Against the background of the growing volumes of waste from the coal industry, the direction of finding technological solutions for their processing becomes relevant. Elemental analysis of these wastes showed the presence of rare and rare earth elements in industrially significant concentrations, which allows the use of waste as raw materials. The key stage in processing is the opening of mineral raw materials. Coal industry waste mainly consists of silicon-containing minerals (quartz, clay minerals, feldspar) with high chemical resistance, for the opening of which high temperatures and chemically active reagents (sodium hydroxide, sodium carbonate, sulfuric acid, etc.) are required. This paper presents the results of the opening of carbon enrichment waste using ammonium hydrofluoride in an aqueous solution at the boiling point of water. The results of the distribution of elements in hydrofluorination products are presented. White soot with a silicon oxide content of 87.5% by weight was isolated, the remaining solution was evaporated to obtain ammonium fluoride in which rubidium and caesium were concentrated (the degree of extraction reaches 85.22% by weight, and 89.65% by weight, respectively). It is established that 90% of the mass, the sum of rare earth elements (REE) remains in the cake.

Keywords

Coal mining and processing wastes, Ultimate analysis, White soot, Hydrofluorination, Concentration, Rare earth elements, Rubidium, Cesium.

References

1. Kharionovsky A.A., Grishin V.Yu., Kolikov K.S. & Udalova N.P. Problems of using coal mining waste. *Gornyy informatsionno-analiticheskij byulleten*, 2021, (10), pp. 45-55. (In Russ.). DOI: 10.25018/0236-1493-2021-101-0-45.
2. Cherkasova T.G., Shabanov E.A., Bushuev A.A., Tikhomirova A.V. & Barantsev D.A. Studying properties of the Kuzbass coal consumption and preparation wastes to be used as feedstock for construction materials manufacturing. *Ugol*, 2023, (10), pp. 89-95. (In Russ.). DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2023-10-89-95>.
3. Cherkasova T.G., Pilin M.O., Tikhomirova A.V. & Barantsev D.A. Determination of composition of coal processing wastes of the Berezovskaya Central Concentrating Mill. *Ugol*, 2023, (9), pp. 90-95. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2023-9-90-95.
4. Krasnov O.S. & Salikhov V.A. Assessment of the impact of the integrated use of man-made waste on the resource cycles of the region (on the example of the Kemerovo region). *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Ekonomika*, 2018, (41), pp. 85-94. (In Russ.). DOI: 10.17223/19988648/41/6.
5. Dmitrak Yu.V., Tsidaev B.S., Dzaparov V.Kh. & Kharebov G.Z. Mineral resource base of non-ferrous metallurgy of Russia. *Vector GeoNauk*, 2019, Vol. 2, (1), pp. 9-18. (In Russ.).
6. Novikov N.I. & Salikhov V.A. The main directions and prospects for the development of the mineral resource base of non-ferrous and rare metals in the world and Russia. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Ekonomika*, 2015, (2), pp. 138-150. (In Russ.). DOI: 10.17223/19988648/30/13.
7. Taggart R.K., Howerb J.C. & Hsu-Kima H. Effects of roasting additives and leaching parameters on the extraction of rare earth elements from

coal fly ash. *International Journal of Coal Geology*, 2018, (196), pp. 106-114. DOI: 10.1016/j.coal.2018.06.021.

8. Ruberlan G.S., Carlos A.M. & Éder D.O. Selective precipitation of rare earth from non-purified and purified sulfate liquors using sodium sulfate and disodium hydrogen phosphate. *Minerals Engineering*, 2019, (134), pp. 402-416. DOI: 10.1016/j.mineng.2019.02.028.

9. Bochevskaya E.G., Karshigina Z.B., Sargelova E.A. & Abisheva Z.S. Technology of complex processing of highly siliceous and hard-to-enrich mineral ore to obtain a concentrate of REM and highly dispersed silicon dioxide. *Vestnik nauki i obrazovaniya*, 2017, (12). Vol. 1, pp 13-18. (In Russ.). DOI: 10.20861/2312-8089-2017-36-007.

10. Krysenko G.F., Epov D.G. & Medkov M.A. Ammonium hydrodifluoride is a promising reagent for opening and concentrating useful components of polymetallic and technogenic raw materials. Proceedings of the Kola Scientific Center of the Russian Academy of Sciences. Chemistry and Materials Science, special issue: II All-Russian Scientific Conference with international participation dedicated to the memory of V.T. Kalinnikov "Research and development in the field of chemistry and technology of functional materials", 2015, (5), pp. 76-80. (In Russ.).

11. Rimkevich V.S., Pushkin A.A., Girenko I.V. Complex processing of silica-containing raw materials with the extraction of silica and silicon. *Gornyy informatsionno-analiticheskij byulleten*, 2018, (9), pp. 73-80. (In Russ.). DOI: 10.25018/0236-1493-2018-9-0-73-80.

12. Medkov M.A., Krysenko G.F. & Epov D.G. Complex processing of datolite concentrate with ammonium hydrodifluoride. *Vestnik DVO RAN*, 2010, (5), pp. 63-66. (In Russ.).

13. Smorokov A.A., Kantaev A.S., Bryankin D.V. & Miklashevich A.A. Development of a method for low-temperature desilination of polymetallic slag with NH₄HF₂ solution. *Izvestiya vuzov. Khimiya i khimicheskaya tehnologiya*, 2022, (65), pp. 70-76. (In Russ.). DOI: 10.6060/ivkkt.20226508.6608.

14. Smorokov A.A., Kantaev A.S., Bryankin D.V. & Miklashevich A.A. Development of a method for low-temperature desilination of leucoxene concentrate of the Yareg deposit with a solution of ammonium hydrodifluoride. *Izvestiya vuzov. Khimiya i khimicheskaya tehnologiya*, 2022, (65), pp. 127-133. (In Russ.). DOI: 10.6060/ivkkt.20226502.6551.

15. Smorokov A.A., Kantaev A.S., Bryankin D.V. & Miklashevich A.A. Development of a method for low-temperature desilination of activated zirconium concentrate with NH₄HF₂ solution. *Izvestiya Tomskogo polytechnicheskogo universiteta. Engineering georesoursov*, 2022, Vol. 333, (4), pp. 27-36. (In Russ.). DOI: 10.18799/24131830/2022/4/3459.

16. Medkov M.A., Krysenko G.F. & Epov D.G. Ammonium hydrodifluoride is a promising reagent for complex processing of mineral raw materials. *Vestnik DVO RAN*, 2011. (5), pp. 60-65. (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. & Barantsev D.A. Hydrofluorination Products of coal processing wastes from the Berezovskaya Central Processing Plant. *Ugol*, 2023, (S12), pp. 70-74. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2023-S12-70-74.

Paper info

Received November 1, 2023

Reviewed November 15, 2023

Accepted November 30, 2023

Модельный эксперимент по экстракции редкоземельных металлов трибутилфосфатом из отходов углеобогащения*

DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2023-512-75-79>

Энергетическая стратегия развития России к 2030 г. предусматривает увеличение объемов угледобычи, при этом большая доля этих углей подлежит обогащению и переработке с целью получения высококачественных продуктов. Также на современном пути развития углеобогатительных производств большой потенциал связан, во-первых, с переработкой отходов углеобогащения и получением доходов за счет производства актуальной продукции во-вторых, со снижением нагрузки на окружающую среду от размещения и хранения таких отходов и тем самым сокращением экологических издержек. В статье представлен модельный эксперимент по азотнокислородному вскрытию отходов углеобогащения АО ЦОФ «Березовская» с последующей экстракцией редких и редкоземельных металлов (РЗМ) трибутилфосфатом из полученных растворов. Эксперимент проводился с отходами углеобогащения АО ЦОФ «Березовская» после тяжелосредней сепарации и гидрокласификаторов. Приведена схема переработки отхода и описана методика проведения эксперимента, в которой указаны условия проведения процессов (температура, время контактирования, доля введенного компонента, частота вращения мешалки). Вскрытие отхода азотной кислотой с последующей экстракцией РЗМ трибутилфосфатом, проведенное на модельной системе позволило полностью извлечь введенный оксид лантана (III). Полученные образцы исследовали на рентгенофлуоресцентном спектрометре.

Ключевые слова: отходы углеобогащения, вскрытие, извлечение, экстракция, концентрат, редкие и редкоземельные элементы.

Для цитирования: Модельный эксперимент по экстракции редкоземельных металлов трибутилфосфатом из отходов углеобогащения / Т.Г. Черкасова, И.В. Исакова, Ю.Р. Гиниятуллина и др. // Уголь. 2023. № 512. С. 75-79. DOI: 10.18796/0041-5790-2023-512-75-79.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время наблюдается тенденция к инновационному развитию угольных компаний в направлении разработки технологичной комплексной переработки угля в связи с уменьшающимся спросом на него, как на топливо [1, 2, 3]. Данные технологии обеспечивают «повышение его качества до уровня, который позволяет получать максимальную маржу на внутреннем рынке и конкурировать на глобальном угольном рынке», и «переработку угля и угольных отходов в продукцию нетопливного назначения, которая пользуется спросом со стороны разных отраслей промышленности» [4].

ЧЕРКАСОВА Т.Г.

Доктор хим. наук, профессор, директор
Института химических
и нефтегазовых технологий
ФГБОУ ВО «КузГТУ имени Т.Ф. Горбачева»,
650000, г. Кемерово, Россия,
e-mail: ctg.htnv@kuzstu.ru

ИСАКОВА И.В.

Канд. хим. наук, доцент кафедры химии,
технологии неорганических веществ
и наноматериалов
ФГБОУ ВО «КузГТУ имени Т.Ф. Горбачева»,
650000, г. Кемерово, Россия,
e-mail: ivi.htnv@kuzstu.ru

ГИНИЯТУЛЛИНА Ю.Р.

Канд. хим. наук, доцент кафедры химии,
технологии неорганических веществ
и наноматериалов
ФГБОУ ВО «КузГТУ имени Т.Ф. Горбачева»,
650000, г. Кемерово, Россия,
e-mail: giniyatullinayur@kuzstu.ru

ЛЕГОЧЕВА Е.С.

Магистрант группы ХТм-221,
ФГБОУ ВО «КузГТУ имени Т.Ф. Горбачева»,
650000, г. Кемерово, Россия,
e-mail: liza.legocheva.@yandex.ru

* Исследование выполнено за счет гранта Минобрнауки России (Соглашение № 075-15-2022-1194).

В связи с растущим спросом на РЗМ наращиваются темпы научных исследований по переработке отходов угледобычи, углерепереработке, углепотреблению [5]. Переработка вторичных ресурсов, содержащих РЗМ, в настоящее время является наиболее важным и острым вопросом [6, 7, 8, 9, 10, 11]. Согласно анализу работ авторов [12,13], исследователи из разных стран мира активно занимаются изучением вопросов целесообразности извлечения РЗМ из разных отходов промышленности и получаемого при этом экономического эффекта.

При разработке условий процессов проведения вскрытия отходов углерепереработки изучены исследовательские работы, в которых описывались пути вскрытия отходов различными кислотами при разных вариациях условий воздействия на систему (учитывались концентрация растворов кислот, температура, перемешивание системы). В том числе выяснено, что для извлечения ионов РЗМ из полученных растворов после вскрытия минералов посредством экстракции необходимо иметь азотнокислые растворы, содержащие извлекаемые ионы [14, 15].

Целью работы являлась проверка на модельной системе возможности извлечения РЗМ из отходов углеобогащения экстракцией трибутилфосфатом (ТБФ) после их азотнокислого вскрытия.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Модельный эксперимент проводили с отходом АО ЦОФ «Березовская» после тяжелосредной сепарации и гидроклассификаторов (объект исследования). К исследуемому отходу добавляли реактив, содержащий 84,08% (масс.) оксида лантана(III). Состав объекта исследования, % (масс.): 62,50 SiO₂; 21,7 Al₂O₃; 4,60 Fe₂O₃; 0,05 MnO; 1,70 SO₃; 3,00 CaO; 5,30 K₂O; 0,94 TiO₂ и др., сумма РЗМ составляла 228,66 г/т.

Схема переработки отхода углеобогащения путем азотнокислого вскрытия с последующей экстракцией ТБФ приведена на *рисунке*.

Данную схему обрабатывали на модельной системе путем введения заведомо известного количества одного из РЗМ. В предварительно подготовленный отход АО ЦОФ «Березовская» после тяжелосредной сепарации и гидроклассификаторов был введен реактив, содержащий оксид лантана (III). Масса вводимого реактива составляла 1% от массы исходного образца отхода.

Образец отхода углеобогащения после тяжелосредной сепарации и гидроклассификаторов массой 300 г с внесенным оксидом лантана (III) подвергали обработке азотной кислотой концентрацией 6 моль/л при температуре 90°C и постоянном перемешивании с частотой вращения мешалки 600 об./мин. Полученную суспензию охлаждали, отстаивали и отфильтровывали. Масса твердого остатка (кремнийсодержащий кек) составила 276 г. Далее работали с полученным фильтратом, содержащим ионы РЗМ (азотнокислый раствор).

Из азотнокислого раствора проводили трехкратную экстракцию ионов РЗМ экстрагентом - ТБФ. Экстракт, содержащий ионы РЗМ, подвергали также трехкратной реэкстракции подкисленной водой, ионы РЗМ высвобождались («переходили» в реэкстракт), а экстрагент ТБФ можно повторно использовать для экстракции (см. *схему рис. 1*).

Массы прокаленных при 900°C реэкстракта и остатка после экстракции составили 6,307 г и 11,477 г соответственно. Основные компоненты определяли на рентгенофлуоресцентном спектрометре (спектроскан МАКС-GV).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты определения состава высушенных и прокаленных реэкстракта и остатка после экстракции приведены в *таблице*.

Согласно данным *таблицы*, при экстракции из растворов азотнокислого выщелачивания ТБФ из отходов углеобогащения происходит полное извлечение ионов лантана, празеодима, иттрия, циркония и тория. В остатке после экстракции остаются ионы алюминия, фосфора, бария, хрома, никеля, иридия. Также в остатке после экстракции обнаружен неизвлеченный трибутилфосфатом церий. Наблюдаются преимущественный переход ионов железа, калия, цинка, стронция и марганца в остаток после экстракции, кальция – в реэкстракт и приблизительно равное распределение свинца и меди между фа-

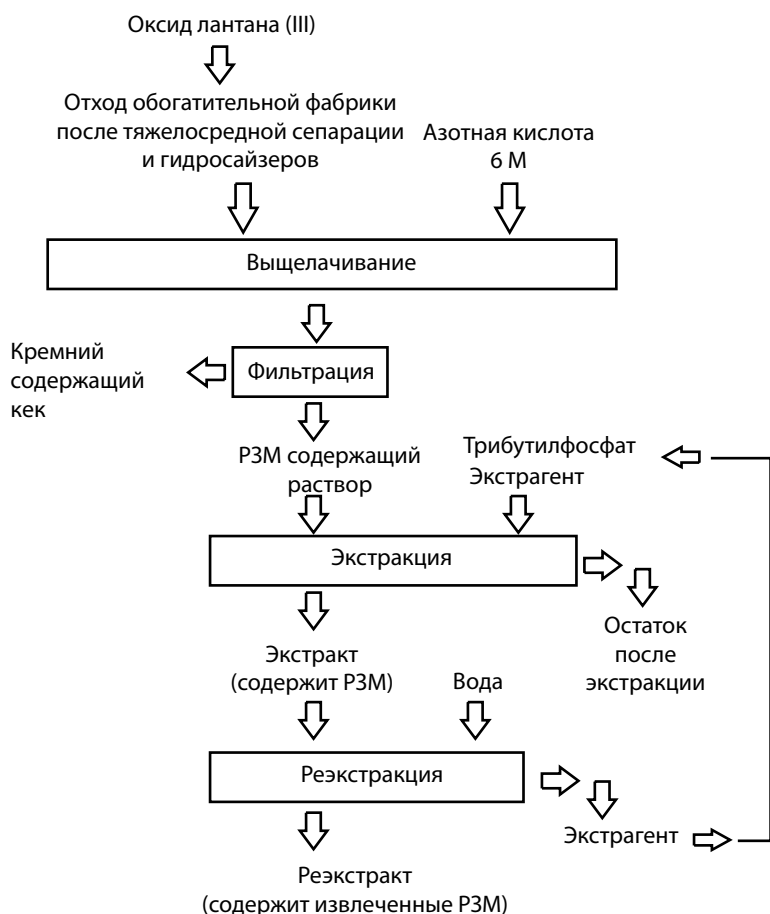


Рис. 1. Схема переработки отхода углеобогащения экстракцией ТБФ
Fig. 1. Scheme of coal enrichment waste processing by tributyl phosphate extraction

Содержание оксидов металлов в реэкстракте и остатке после экстракции

Metal oxide content in the re-extract and residue after extraction

| Формула оксидов металлов/ MeO | Содержание оксидов в реэкстракте, % | Масса оксидов в реэкстракте, г | Содержание оксидов в остатке после экстракции | Масса оксидов в остатке после экстракции, г | Степень разделения (реэкстракт/остаток), % |
|---------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------|---|---|--|
| La ₂ O ₃ | 40,054 | 2,526 | – | – | 100/0 |
| CaO | 27,632 | 1,743 | 7,624 | 0,875 | 66/44 |
| Fe ₂ O ₃ | 21,047 | 1,327 | 65,790 | 7,551 | 15/85 |
| Pr ₆ O ₁₁ | 7,904 | 0,499 | – | – | 100/0 |
| SO ₃ | 1,334 | 0,084 | 1,777 | 0,204 | 29/71 |
| Eu ₂ O ₃ | 0,947 | 0,060 | – | – | 100/0 |
| MnO | 0,222 | 0,014 | 0,975 | 0,112 | 11/89 |
| K ₂ O | 0,221 | 0,014 | 5,829 | 0,669 | 2/98 |
| ZnO | 0,098 | 0,006 | 0,360 | 0,041 | 21/79 |
| SrO | 0,095 | 0,006 | 0,260 | 0,030 | 17/83 |
| Cl | 0,034 | 0,005 | – | – | 100/0 |
| CuO | 0,063 | 0,004 | 0,064 | 0,007 | 36/64 |
| PbO | 0,044 | 0,003 | 0,041 | 0,005 | 38/62 |
| Y ₂ O ₃ | 0,043 | 0,003 | – | – | 100/0 |
| ZrO ₂ | 0,006 | 0,0004 | – | – | 100/0 |
| ThO ₂ | 0,005 | 0,0003 | – | – | 100/0 |
| Al ₂ O ₃ | – | – | 14,522 | 1,667 | 0/100 |
| P ₂ O ₅ | – | – | 1,685 | 0,193 | 0/100 |
| BaO | – | – | 0,949 | 0,109 | 0/100 |
| CeO ₂ | – | – | 0,046 | 0,005 | 0/100 |
| NiO | – | – | 0,046 | 0,005 | 0/100 |
| Cr ₂ O ₃ | – | – | 0,030 | 0,003 | 0/100 |
| Ir ₂ O ₃ | – | – | 0,003 | 0,0003 | 0/100 |

зами. Таким образом, ТБФ может быть использован в процессе извлечения и получения концентрата РЗМ из отходов углеобогащения в качестве экстрагента.

ВЫВОДЫ

Анализ информации, полученной на модельной системе, позволяет сделать вывод о возможности использования трибутилфосфата для извлечения РЗМ из отхода АО ЦОФ «Березовская» после тяжелосредной сепарации и гидроклассификаторов.

Список литературы

1. Проект Энергетической стратегии России на период до 2035 года. URL: <https://minenergo.gov.ru/sites/default/files/documents/11/10/1920/document-66308.pdf?ysclid=Inee68wkn1953378535> (дата обращения: 15.11.2023).
2. Программа развития угольной промышленности России на период до 2030 года. URL: <https://minenergo.gov.ru/node/1846?ysclid=Incqiwarp2u200638516> (дата обращения: 15.11.2023).
3. Стратегия социально-экономического развития Кемеровской области до 2025. URL: <https://кузбасс-2035.рф/?ysclid=Incqir8g2a96491908> (дата обращения: 15.11.2023).
4. Фридман Ю.А., Речко Г.Н., Логинова Е.Ю. О дорожной карте инновационного развития угольного Кузбасса // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. 2015. № 5. С. 76-82.
5. Применение редкоземельных элементов в технических изделиях / П. Витязь, В. Федосюк, И. Макоед и др. // Наука и инновации. 2023. № 6. С. 58-65.
6. Финаева Е.Е., Ямщикова Ю.Е. Перспективы извлечения редких и редкоземельных металлов из отходов углей / Сборник материалов VI Международной научно-практической конференции «Вопросы современной науки: проблемы, тенденции и перспективы (современный мир в условиях глобальной турбулентности)», 8-9 декабря 2022. Новокузнецк, 2022. С. 96-98.
7. Троицкий А.В., Иванков С.И., Скобелев К.Д. Перспективы привлечения техногенных отходов неметаллического сырья в процесс их переработки и утилизации // Научные и технические аспекты охраны окружающей среды. 2021. № 2. С. 40-58. DOI: 10.36535/0869-1002-2021-02-2.
8. Максимова А.М. Извлечение редких и редкоземельных металлов из техногенных объектов как путь к рациональному освоению недр // Интернет-журнал Науковедение. 2016. Т. 8. № 5. [Электронный ресурс]. URL: <http://naukovedenie.ru/PDF/24EVN516.pdf> (дата обращения: 15.11.2023).
9. Анализ отходов угледобычи, углепереработки и углеобогащения месторождений Кузнецкого угольного бассейна / Т.Г. Черкасова, Е.В. Черкасова, А.В. Тихомирова и др. // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2022. № 6. С. 59-64. DOI: 10.26730/1999-4125-2022-6-59-66.
10. Chemical extraction of rare earth elements from coal ash / M. Peiravi, L. Ackah, R. Guru et al. // Minerals & Metallurgical Processing. 2017. Vol. 34. No 4. P. 170-177. DOI: 10.19150/mmp.7856.
11. Dodbiba G., Fujita T. Trends in Extraction of Rare Earth Elements from Coal Ashes: A Review // Recycling, 2023. Vol. 8. No 1. P. 17. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.mdpi.com/2313-4321/8/1/17> (дата обращения: 15.11.2023).

12. Перспективы комплексной переработки отходов углей / В.А. Салихов, В.М. Страхов, О.С. Краснов и др. // Кокс и химия, 2023. № 1. С. 51-59. DOI: 10.52351/00232815_2023_01_51..
13. Study on Solvent Extraction of Rare Earth Elements from Leaching Solution of Coal Fly Ash by P204 / J. Pan, X. Zhao, C. Zhou et al. // Minerals. 2022. Vol. 12. No 12. P. 1547. [Электронный ресурс]. URL: https://www.researchgate.net/publication/365895339_Study_on_Solvent_Extraction_of_Rare_Earth_Elements_from_Leaching_Solution_of_Coal_Fly_Ash_by_P204 (дата обращения: 15.11.2023).
14. Патент № 2748007 С1 Российская Федерация 18.05.2021. Способ извлечения редкоземельных элементов (+3) из кислых водных растворов, содержащих другие металлы и ионы; заявка № 2019145781 от 30.12.2019 / Радусев А.В., Никитина В.А., Батуева Т.Д.
15. Патент № 2538863 С2 Российская Федерация 10.01.2015. Способ реэкстракции редкоземельных металлов из органических растворов и получение концентрата редкоземельных металлов; заявка № 2013109742/05 от 05.03.2013 / Генкин М.В., Евтушенко А.В., Комков А.А., Сафиулина А.М., Спиридонов В.С., Швецов С.В.

Original Paper

UDC 546.05:546.2: 546.65, 661.1 © T.G. Cherkasova, I.V. Isakova, Yu.R. Giniyatullina, E.S. Legocheva, 2023
 ISSN 0041-5790 (Print) • ISSN 2412-8333 (Online) • Ugol' – Russian Coal Journal, 2023, № 512, pp. 75-79
 DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2023-512-75-79>

Title

A MODEL EXPERIMENT ON THE EXTRACTION OF RARE EARTH METALS WITH TRIBUTYL PHOSPHATE FROM coal ENRICHMENT WASTE

Authors

Cherkasova T.G.¹, Isakova I.V.¹, Giniyatullina Yu.R.¹, Legocheva E.S.¹

¹ T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, Kemerovo, 650000, Russian Federation

Authors Information

Cherkasova T.G., Doctor of Chemical Sciences, Professor, Director of the Institute of Chemical and Oil and Gas Technologies, e-mail: ctg.htnv@kuzstu.ru
Isakova I.V., PhD (Chemistry), Associate Professor of the Department of Chemistry, Technology of Inorganic Substances and Nanomaterials, e-mail: ivi.htnv@kuzstu.ru
Giniyatullina Yu.R., PhD (Chemistry), Associate Professor of the Department of Chemistry, Technology of Inorganic Substances and Nanomaterials, e-mail: giniyatullinayur@kuzstu.ru
Legocheva E.S., Master's Student of HTm-221 group, e-mail: liza.legocheva@yandex.ru

Abstract

The energy strategy of Russia's development by 2030 provides for an increase in the volume of coal production, while a large proportion of these coals are subject to enrichment and processing in order to obtain high-margin products. Also, on the modern path of development of coal-processing industries, a great potential is associated, firstly, with the processing of coal enrichment waste and generating income through the production of relevant products; secondly, reducing the environmental burden from the placement and storage of such waste and thereby reducing environmental costs. The article presents a model experiment on nitric acid dissection of coal enrichment waste at the Berezovskaya Research Center with subsequent extraction of rare and rare-earth metals with tributyl phosphate from the obtained solutions. The experiment was carried out with the waste of coal enrichment of the Berezovskaya COF after heavy-medium separation and hydrosizers. The scheme of waste processing is given and the method of conducting the experiment is described, which specifies the conditions of the processes (temperature, contact time, the fraction of the introduced component, the speed of rotation of the agitator). The opening of the waste with nitric acid followed by extraction of rare-earth metals with tributyl phosphate, carried out on a model system, made it possible to completely extract the introduced lanthanum (III) oxide. The obtained samples were examined on an X-ray fluorescence spectrometer.

Keywords

Coal enrichment waste, Opening, Extraction, Concentrate, Rare and rare-earth elements.

Reference

1. Draft Energy Strategy of the Russian Federation for the period up to 2035. Available at: <https://minenergo.gov.ru/sites/default/files/docu->

- ments/11/10/1920/document-66308.pdf?ysclid=Inee68wkn1953378535 (accessed 15.11.2023).
2. Russian Coal Industry Development Program for the Period until 2030. Available at: <https://minenergo.gov.ru/node/1846?ysclid=Incqiwap2u200638516> (accessed 15.11.2023).
3. Strategy for social and economic development of the Kemerovo Region for the period up to 2025. Available at: <https://кузбасс-2035.рф/?ysclid=Incqri8g2a96491908> (accessed 15.11.2023).
4. Friedman Yu.A., Rechko G.N. & Loginova E.Yu. On the innovative development roadmap of the Kuzbass coal industry. *Fiziko-tehnicheskie problemy razrabotki poleznykh iskopaemykh*, 2015, (5), pp. 76-82. (In Russ.).
5. Vityaz P., Fedosyuk V., Makoed I. & Yanushkevich K. The use of rare-earth elements in techware. *Nauka i innovatsii*, 2023, (6), pp. 58-65. (In Russ.).
6. Finaeva E.E. & Yamshchikova Yu.E. Prospects for extraction of rare and rare-earth metals from coal waste. Proceedings of the VI International Scientific and Practical Conference "Issues of Contemporary Science: Challenges, Trends and Prospects (Contemporary World in the Conditions of Global Turbulence", December 8-9, 2022. Novokuznetsk, 2022, pp. 96-98. (In Russ.).
7. Troitskiy A.V., Ivankov S.I. & Skobelev K.D. Prospects of involving man-made wastes of non-metallic raw materials in their processing and utilization. *Nauchnye i tehnicheskie aspekty ohrany okruzhayushchej sredy*, 2021, (2), pp. 40-58. (In Russ.). DOI: 10.36535/0869-1002-2021-02-2.
8. Maximova A.M. Extraction of rare metals from technogenic objects as a way to the rational development of mineral resources. *Naukovedenie*, 2016, Vol. 8, (5) (In Russ.). [Electronic resource]. Available at: <http://naukovedenie.ru/PDF/24EVN516.pdf> (accessed 15.11.2023).
9. Cherkasova T.G., Cherkasova E.V., Tikhomirova A.V., Pilin M.O. & Barantsev D.A. Analyzes of waste from coal mining, coal refining and coal enrichment of deposits of the Kuznetsk coal basin. *Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tehnicheskogo universiteta*, (6), pp. 59-64. (In Russ.). DOI: 10.26730/1999-4125-2022-6-59-66.
10. Peiravi M., Ackah L., Guru R., Mohanty M., Liu J., Xu B., Zhu X. & Chen L. Chemical extraction of rare-earth elements from coal ash. *Minerals & Metallurgical Processing*, 2017, Vol. 34, (4), pp. 170-177. DOI: 10.19150/mmp.7856.
11. Dodbiba G. & Fujita T. Trends in Extraction of Rare-Earth Elements from Coal Ashes: A Review. *Recycling*, 2023, Vol. 8, (1), pp. 17. [Electronic resource]. Available at: <https://www.mdpi.com/2313-4321/8/1/17> (accessed 15.11.2023).
12. Salikhov V.A., Strakhov V.M., Krasnov O.S., Ermak N.B. & Chmeleva K.V. Prospects of complex processing of coal waste. *Koks i himiya*, 2023, (1), pp. 51-59. (In Russ.). DOI: 10.52351/00232815_2023_01_51.
13. Pan J., Zhao X., Zhou C., Yang F. & Ji W. Study on Solvent Extraction of Rare-Earth Elements from Leaching Solution of Coal Fly Ash by P204. *Minerals*,

2022, Vol. 12, (12), pp. 1547. [Electronic resource]. Available at: https://www.researchgate.net/publication/365895339_Study_on_Solvent_Extraction_of_Rare_Earth_Elements_from_Leaching_Solution_of_Coal_Fly_Ash_by_P204 (accessed 15.11.2023).

14. Radushev A.V., Nikitina V.A. & Batueva T.D. Method for extraction of rare-earth elements (+3) from acidic aqueous solutions containing other metals and ions. Pat. No. 2748007 C1 Russian Federation, Applic. No 2019145781, claim 30.12.2019, publ. 18.05.2021. (In Russ.).

15. Genkin M.V., Yevtushenko A.V., Komkov A.A., Safulina A.M., Spiridonov V.S. & Shvetsov S.V. Method of rare-earth metals re-extraction from organic solutions and production of rare earth metals concentrate. Pat. No 2538863 C2 Russian Federation, Applic. No 2013109742/05, claim 05.03.2013, publ. 10.01.2015. (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., Isakova I.V., Giniyatullina Yu.R. & Legocheva E.S. A model experiment on the extraction of rare earth metals with tributyl phosphate from coal enrichment waste. *Ugol*, 2023, (S12), pp. 75-79. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2023-S12-75-79.

Paper info

Received November 1, 2023

Reviewed November 15, 2023

Accepted November 30, 2023

Оригинальная статья

УДК 662.613.654.1:669.85 © А.В. Тихомирова, Е.С. Легочева, Т.Г. Черкасова, 2023

Разработка методики выделения концентрата редких и редкоземельных элементов из отходов углеобогащения с применением водного выщелачивания*

DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2023-S12-79-83>

В современных технологиях все больше внимания уделяется переработке отходов и безотходному производству. В связи с дефицитом редких и редкоземельных металлов для инновационного развития экономики Российской Федерации обоснована актуальность проблемы извлечения этих металлов из техногенных месторождений, среди которых можно рассматривать и отходы углеобогащения. В процессе разработки условий извлечения редких и редкоземельных элементов из смеси отходов углеобогащения – породы с тяжелосредней сепарации и отсадки – произведены их химическое вскрытие и последующее холодное водное выщелачивание. Выявлено, что в системах с принудительным введением оксида лантана(III) лантан переходит в фильтрат на 70%, в случае реальных систем в фильтрат переходит только 40% лантана. Та же самая зависимость наблюдается и для других лантаноидов цериевой группы. Редкоземельные элементы иттриевой группы из отхода в фильтрат переходят так же, как и лантаноиды цериевой – только на 40%.

Ключевые слова: угольные отходы, углеобогащение, редкоземельные элементы, лантаноиды цериевой группы, лантаноиды иттриевой группы, кислотное вскрытие, водное выщелачивание.

ТИХОМИРОВА А.В.

Канд. хим. наук, доцент, доцент Института химических и нефтегазовых технологий ФГБОУ ВО «КузГТУ имени Т.Ф. Горбачева», 650000, г. Кемерово, Россия, e-mail: tav.htnv@kuzstu.ru

ЛЕГОЧЕВА Е.С.

Магистрант группы ХТм-221, ФГБОУ ВО «КузГТУ имени Т.Ф. Горбачева», 650000, г. Кемерово, Россия, e-mail: liza.legocheva.@yandex.ru.

ЧЕРКАСОВА Т.Г.

Доктор хим. наук, профессор, директор Института химических и нефтегазовых технологий ФГБОУ ВО «КузГТУ имени Т.Ф. Горбачева», 650000, г. Кемерово, Россия, e-mail: ctg.htnv@kuzstu.ru

* Исследование выполнено за счет гранта Минобрнауки России (Соглашение № 075-15-2022-1194).

Для цитирования: Тихомирова А.В., Легочева Е.С., Черкасова Т.Г. Разработка методики выделения концентрата редких и редкоземельных элементов из отходов углеобогащения с применением водного выщелачивания // Уголь. 2023. № S12. С. 79-83. DOI: 10.18796/0041-5790-2023-S12-79-83.

ВВЕДЕНИЕ

В современных технологиях все больше внимания уделяется переработке отходов и безотходному производству. Так, предприняты попытки извлечения лития из складируемых отходов обогащения. Группа рассеянных редких металлов, извлекаемых попутно в процессах химико-металлургических переделов различного минерального сырья, продуктов и отходов его обогащения, а также глубокой переработки отходов металлургических производств, включает Re, Ga, In, Tl, Ge, Hf, Se, Te. Уровни их потребления и производства в настоящее время являются индикаторами экономической и национальной безопасности промышленно развитых стран, которые в возрастающих масштабах используют эффективные инновационные свойства редких металлов, в том числе рассеянных, как продуктов попутных производств.

Минерально-сырьевая база редких металлов в России по величине запасов занимает ведущее место в мире. Однако отечественные месторождения существенно уступают зарубежным аналогам по качеству руд, а именно по содержанию полезных компонентов, а также по технологичности, горнотехническим условиям отработки и доступности.

В связи с дефицитом редких и редкоземельных металлов (РЗЭ) для инновационного развития экономики Российской Федерации обоснована актуальность проблемы извлечения этих металлов из техногенных месторождений, среди которых можно рассматривать и отходы углеобогащения [1, 2, 3, 4, 5, 6].

О формах нахождения РЗЭ можно судить по косвенным данным (характер корреляции с зольностью или с золообразующими элементами) и по данным, полученным путем селективного выщелачивания или посредством прямого микрозондового анализа минеральных фаз и угольных мацералов. Эти данные показывают, что РЗЭ могут находиться по меньшей мере в трех-четырёх формах:

- кластогенной и аутигенной силикатной в виде изоморфной примеси в цирконах (и реже в других минералах, таких как полевые шпаты и цеолиты) или сорбированной на глинистом веществе;
- кластогенной и аутигенной фосфатной (монацит, ксенотим и др.);
- аутигенной форме фтор-карбонатов (бастнезита);
- органической.

Одним из самых ярких и наглядных достижений новейшей микроминералогии углей явилось доказательство микроминеральной, а именно фосфатной, формы РЗЭ в углях – монацита и ксенотима.

Гравитационное фракционирование кузнецких углей показало накопление РЗЭ в золе малозольных фракций с плотностью 1,3-1,4 г/см³. Сделав простые расчеты (со-

держание РЗЭ во вмещающих породах использовано для оценки вклада терригенной золы), томские геологи заключили, что на органическую форму РЗЭ в целом для углей свиты приходится от 53 до 65% валового содержания РЗЭ, а в некоторых случаях – даже до 72%. Вместе с тем авторы отмечают «синхронный характер распределения РЗЭ и фосфора в золах фракций углей». Таким образом, можно допустить, что в действительности основной формой нахождения РЗЭ является микроминеральная фосфатная форма РЗЭ, которая не вскрывается при обычном помолле углей для фракционирования. Вместе с тем не вызывает сомнения, что эта форма – не первичная, а первичной была органическая форма. Очевидно, что в ходе «созревания» угля произошла трансформация [7].

Таким образом, основываясь на вышеизложенных исследованиях, было принято решение об осуществлении процесса выделения концентрата редких и РЗЭ по типу переработки монацита сернокислотным способом.

Была предпринята попытка извлечения редких и РЗЭ из смеси отходов углеобогащения – породы с тяжелосредней сепарации и отсадки. Бралась две одинаковые по массе пробы смеси отходов, в одну из них искусственно вводился оксид лантана (III). Далее «вскрытие» проводили по методу, изложенному в источнике [8].

Навески отхода подвергали сульфатизации при 180-200°C в течение трех часов. Массовое соотношение отход : серная кислота равно 1:1,5. Далее пек остужали до комнатной температуры, измельчали и выщелачивали при перемешивании 60 об./мин в течение двух часов в десятикратном избытке холодной дистиллированной водой (10-15°C). Метод холодного водного выщелачивания выбран для наиболее полного перевода лантаноидов в раствор, так как сульфаты редкоземельных элементов имеют аномальную (обратную) зависимость растворимости от температуры [9]. После этого суспензию отфильтровывали, часть фильтрата выпаривали для анализа (ХВФ и ХВФМ), а часть – нейтрализовали раствором аммиака до pH 7. Выпадал осадок, который отфильтровывали, высушивали (ХВОГ и ХВОГМ). Также анализу подвергали твердый остаток после водного выщелачивания (ХВО и ХВОМ). Данные представлены в *таблицах 1, 2*.

В модельной системе лантан, присутствующий в виде оксида, лучше переходит в фильтрат при выщелачивании в отличие от подобных проб без введенного оксида. Это может быть связано с нахождением лантаноидов в отходах в более устойчивой форме, чем оксидная (как, например, глинистые минералы с замещенными на лантаноид атомами алюминия), так как очевидно, что они либо плохо подвергаются сульфатизации, либо образуют в процессе соединения, труднорастворимые в холодной воде. Так, это может быть следствием образования двойных солей.

Двойные сульфаты типа $xLn_2(SO_4)_3 \cdot yMe_2SO_4 \cdot nH_2O$ (x:y = 1:1; 1:5; 2:3) образуются при добавлении к растворам сульфатов РЗЭ сульфатов однозарядных металлов Me_2SO_4 и аммония. Их растворимость значительно меньше, чем у средних сульфатов. А содержание натрия и калия в отходах, особенно по сравнению с суммарным содержанием редкоземельных, достаточно велико.

Таблица 1

Результаты ИСП-МС-анализа порошков после проведения химического обогащения смеси отходов ЦОФ «Березовская» с применением холодного водного выщелачивания

Results of the Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry (ICPMS) analysis of powders upon chemical concentration of a mixture of wastes from the Berezovskaya Central Processing Plant using cold water leaching

| Элемент | Название образца | ХВО | | ХВФ | | ХВОГ | |
|----------------|------------------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|
| | | X | ±Δ | X | ±Δ | X | ±Δ |
| Скандий (Sc) | | 7,5 | 2,4 | 9,8 | 3,1 | 34 | 7 |
| Титан (Ti) | | 2871 | 488 | 1871 | 318 | 7132 | 1213 |
| Ванадий (V) | | 29 | 6 | 61 | 13 | 245 | 51 |
| Хром (Cr) | | 30 | 6 | 35 | 7 | 108 | 23 |
| Марганец (Mn) | | 34 | 7 | 338 | 71 | 1032 | 175 |
| Галлий (Ga) | | 9,9 | 3,2 | 1,8 | 0,6 | 6,7 | 2,1 |
| Рубидий (Rb) | | 52 | 11 | 82 | 17 | 6,4 | 2,0 |
| Стронций (Sr) | | 166 | 35 | 53 | 11 | 44 | 9 |
| Иттрий (Y) | | 21 | 4 | 13,8 | 2,9 | 47 | 10 |
| Цирконий (Zr) | | 261 | 55 | 46 | 10 | 176 | 37 |
| Ниобий (Nb) | | 14,4 | 3,0 | 0,94 | 0,30 | 3,9 | 1,2 |
| Цезий (Cs) | | 2,5 | 0,8 | 2,0 | 0,6 | 0,19 | 0,06 |
| Барий (Ba) | | 730 | 124 | 13,3 | 2,8 | 55 | 12 |
| Лантан (La) | | 47 | 10 | 29 | 6 | 27 | 6 |
| Церий (Ce) | | 65 | 14 | 33 | 7 | 92 | 19 |
| Празеодим (Pr) | | 6,8 | 2,2 | 4,9 | 1,6 | 16,1 | 3,4 |
| Неодим (Nd) | | 14,4 | 3,0 | 23 | 5 | 62 | 13 |
| Самарий (Sm) | | 1,9 | 0,6 | 5,2 | 1,7 | 17,6 | 3,7 |
| Европий (Eu) | | 0,49 | 0,16 | 0,93 | 0,30 | 3,1 | 1,0 |
| Гадолиний (Gd) | | 2,4 | 0,8 | 3,4 | 1,1 | 11,8 | 2,5 |
| Тербий (Tb) | | 0,45 | 0,14 | 0,55 | 0,17 | 1,9 | 0,6 |
| Диспрозий (Dy) | | 2,8 | 0,9 | 2,5 | 0,8 | 8,5 | 2,7 |
| Гольмий (Ho) | | 0,79 | 0,25 | 0,51 | 0,16 | 1,8 | 0,6 |
| Эрбий (Er) | | 2,5 | 0,8 | 1,4 | 0,4 | 4,8 | 1,5 |
| Тулий (Tm) | | 0,34 | 0,11 | 0,16 | 0,05 | 0,58 | 0,18 |
| Иттербий (Yb) | | 3,4 | 1,1 | 1,6 | 0,5 | 5,5 | 1,8 |
| Лютеций (Lu) | | 0,44 | 0,14 | 0,20 | 0,06 | 0,70 | 0,22 |
| Гафний (Hf) | | 7,3 | 2,3 | 0,85 | 0,27 | 3,4 | 1,1 |
| Тантал (Ta) | | 1,5 | 0,5 | 0,0094 | 0,0037 | 0,038 | 0,015 |
| Вольфрам (W) | | 1,9 | 0,6 | 0,28 | 0,09 | 0,68 | 0,22 |
| Германий (Ge) | | 0,65 | 0,26 | 0,30 | 0,12 | 0,36 | 0,15 |
| Селен (Se) | | 1,7 | 0,6 | 1,5 | 0,5 | 4,4 | 1,5 |
| Молибден (Mo) | | 2,2 | 0,8 | 0,24 | 0,1 | 0,94 | 0,38 |
| Палладий (Pd) | | 0,017 | 0,007 | 0,0057 | 0,0029 | 0,0035 | 0,0018 |
| Серебро (Ag) | | 0,30 | 0,12 | 0,043 | 0,020 | 0,34 | 0,14 |
| Сурьма (Sb) | | 1,12 | 0,39 | 0,17 | 0,07 | 0,15 | 0,06 |
| Теллур (Te) | | 0,032 | 0,014 | 0,019 | 0,008 | 0,022 | 0,010 |
| Платина (Pt) | | 0,078 | 0,035 | 0,013 | 0,006 | 0,048 | 0,022 |
| Золото (Au) | | 0,057 | 0,026 | 0,0057 | 0,0028 | 0,047 | 0,021 |
| Висмут (Bi) | | 0,33 | 0,13 | 0,010 | 0,005 | 0,026 | 0,012 |

Таблица 2

Результаты ИСП-МС-анализа порошков после проведения химического обогащения смеси отходов ЦОФ «Березовская» с применением холодного водного выщелачивания (модельная система)

Results of the Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry (ICPMS) analysis of powders upon chemical concentration of a mixture of wastes from the Berezovskaya Central Processing Plant using cold water leaching (a model system)

| Элемент | Название образца | ХВОМ | | ХВФМ | | ХВОГМ | |
|--------------|------------------|------|-----|------|-----|-------|-----|
| | | X | ±Δ | X | ±Δ | X | ±Δ |
| Скандий (Sc) | | 7,2 | 2,3 | 10,9 | 2,3 | 9,0 | 2,9 |
| Титан (Ti) | | 2469 | 420 | 2209 | 375 | 659 | 112 |
| Ванадий (V) | | 26 | 6 | 75 | 16 | 193 | 41 |

| Элемент | Название образца | ХВОМ | | ХВФМ | | ХВОГМ | |
|----------------|------------------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|
| | | X | ±Δ | X | ±Δ | X | ±Δ |
| Хром (Cr) | | 44 | 9 | 87 | 18 | 83 | 17 |
| Марганец (Mn) | | 57 | 12 | 435 | 91 | 193 | 41 |
| Галлий (Ga) | | 9,4 | 3,0 | 3,2 | 1,0 | 5,6 | 1,8 |
| Рубидий (Rb) | | 50 | 10 | 92 | 19 | 0,017 | 0,007 |
| Стронций (Sr) | | 98 | 21 | 107 | 23 | 44 | 9 |
| Иттрий (Y) | | 20 | 4 | 14,2 | 3,0 | 21 | 4 |
| Цирконий (Zr) | | 244 | 51 | 51 | 11 | 128 | 27 |
| Ниобий (Nb) | | 13,2 | 2,8 | 1,11 | 0,36 | 2,9 | 0,9 |
| Цезий (Cs) | | 2,1 | 0,7 | 2,6 | 0,8 | 0,0012 | 0,0005 |
| Барий (Ba) | | 693 | 118 | 18,6 | 3,9 | 13,1 | 2,8 |
| Лантан (La) | | 14,1 | 3,0 | 36 | 8 | 58 | 12 |
| Церий (Ce) | | 12,5 | 2,6 | 72 | 15 | 155 | 33 |
| Празеодим (Pr) | | 1,6 | 0,5 | 8,3 | 2,7 | 14,3 | 3,0 |
| Неодим (Nd) | | 4,8 | 1,6 | 33 | 7 | 44 | 9 |
| Самарий (Sm) | | 1,3 | 0,4 | 6,2 | 2,0 | 10,6 | 2,2 |
| Европий (Eu) | | 0,43 | 0,14 | 1,08 | 0,35 | 1,8 | 0,6 |
| Гадолиний (Gd) | | 1,6 | 0,5 | 5,2 | 1,7 | 9,2 | 2,9 |
| Тербий (Tb) | | 0,40 | 0,13 | 0,63 | 0,20 | 1,05 | 0,34 |
| Диспрозий (Dy) | | 2,8 | 0,9 | 2,9 | 0,9 | 4,7 | 1,5 |
| Гольмий (Ho) | | 0,76 | 0,24 | 0,54 | 0,17 | 0,88 | 0,28 |
| Эрбий (Er) | | 2,3 | 0,7 | 1,4 | 0,5 | 2,4 | 0,8 |
| Тулий (Tm) | | 0,34 | 0,11 | 0,17 | 0,05 | 0,22 | 0,07 |
| Иттербий (Yb) | | 3,3 | 1,0 | 1,6 | 0,5 | 2,7 | 0,9 |
| Лютеций (Lu) | | 0,44 | 0,14 | 0,20 | 0,06 | 0,23 | 0,07 |
| Гафний (Hf) | | 6,7 | 2,1 | 1,01 | 0,32 | 2,6 | 0,8 |
| Тантал (Ta) | | 1,4 | 0,4 | 0,0101 | 0,0040 | 0,0017 | 0,0007 |
| Вольфрам (W) | | 4,7 | 1,5 | 0,38 | 0,12 | 0,0040 | 0,0016 |
| Германий (Ge) | | 0,58 | 0,23 | 0,29 | 0,12 | 0,44 | 0,18 |
| Селен (Se) | | 1,9 | 0,7 | 1,6 | 0,6 | 3,4 | 1,2 |
| Молибден (Mo) | | 2,4 | 0,8 | 0,89 | 0,36 | 0,16 | 0,06 |
| Палладий (Pd) | | 0,011 | 0,005 | 0,010 | 0,005 | 0,0061 | 0,003 |
| Серебро (Ag) | | 0,28 | 0,11 | 0,22 | 0,09 | 0,16 | 0,06 |
| Сурьма (Sb) | | 1,10 | 0,38 | 0,99 | 0,40 | 0,13 | 0,05 |
| Теллур (Te) | | 0,028 | 0,013 | 0,022 | 0,01 | 0,009 | 0,005 |
| Платина (Pt) | | 0,081 | 0,037 | 0,013 | 0,006 | 0,034 | 0,015 |
| Золото (Au) | | 0,051 | 0,023 | 0,027 | 0,012 | 0,050 | 0,022 |
| Висмут (Bi) | | 0,35 | 0,14 | 0,022 | 0,010 | 0,033 | 0,015 |

Лантаноиды иттриевой группы, которые принудительно в систему не вводили, и из модельной, и из реальной пробы отхода в фильтрат переходят хуже. Проведенные исследования показывают, что они главным образом остаются в твердом остатке после выщелачивания. Это может быть связано с нахождением РЗЭ, иттриевой группы в отходах в составе полевых шпатов или глинистых минералов, которые гораздо хуже подвергаются разрушающему воздействию кислоты. Это также может быть связано с образованием двойных сульфатов, хотя растворимость двойных сульфатов иттриевой подгруппы лучше, чем цериевой.

Также отметим, что после нейтрализации фильтрата гидроксидом аммония до нейтральной реакции среды в осадок переходит достаточно много лантаноидов как цериевой, так и иттриевой групп, поэтому для исключения потерь необходимо их дополнительное извлечение в фильтрат перед следующим этапом переработки.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, при разработке методики выделения концентрата редких и РЗЭ из отходов углеобогащения с применением холодного водного выщелачивания в системах с принудительным введением оксида лантана(III) выявлено, что он переходит в фильтрат на 70%, в случае реальных систем в фильтрат переходит только 40% лантана. Та же самая зависимость наблюдается и для других лантаноидов цериевой группы. РЗЭ иттриевой группы из отхода в фильтрат переходят так же, как и лантаноиды цериевой, – только на 40%. Возможно, что для отходов углеобогащения необходимо применять другой способ водного выщелачивания – из горячих растворов. В этом случае РЗЭ должны концентрироваться в твердом осадке после выщелачивания, и работу можно будет продолжать уже с ним.

Список литературы

1. ИТС 24-2017 Производство редких и редкоземельных металлов. М.: Бюро НДТ. 2017. 210 с.
2. Выделение концентратов редких и редкоземельных элементов из золошлаковых отходов Кузбасса / Т.Г. Черкасова, И.В. Исакова, А.В. Тихомирова и др. // Вестник КузГТУ. 2021. № 2. С. 35-39.
3. Определение промышленно значимых кондиций редких элементов в золошлаковых отходах Кузбасса / Т.Г. Черкасова, И.В. Исакова, А.В. Тихомирова и др. // Вестник КузГТУ. 2021. № 5. С. 37-44.
4. Зоря В.Н. Исследование техногенных отходов черной металлургии, в том числе отходов от обогащения и сжигания углей, и разработка технологий их переработки: дисс. ... канд. техн. наук: 05.16.07 / Зоря Вячеслав Николаевич; СибГИУ; науч. рук. Е.П. Волынкина. Новокузнецк, 2015. 207 с.
5. Максимова А.М. Извлечение редких и редкоземельных металлов из техногенных объектов как путь к рациональному освоению недр // Интернет-журнал Науковедение. 2016. Т. 8. № 5. С. 1-11.
6. 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.
7. Юдович Я.Э., Кетрис Л.П. Ценные элементы-примеси в углях. Екатеринбург: УрО РАН, 2006. 538 с.
8. Зеликман А.Н., Коршунов Б.Г. Металлургия редких металлов. М.: Металлургия, 1991. 432 с.
9. Корзанов В.С., Шульгина Н.П. Химия редких, рассеянных и редкоземельных элементов: учеб. пособие для студентов 4, 5 курсов и магистров хим. фак-та. Пермь: Перм. ун-т, 2007. 101 с.

Original Paper

UDC 662.613.654.1:669.85 © A.V. Tikhomirova, E.S. Legocheva, T.G. Cherkasova, 2023
 ISSN 0041-5790 (Print) • ISSN 2412-8333 (Online) • Ugol' – Russian Coal Journal, 2023, № S12, pp. 79-83
 DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2023-S12-79-83>

Title

DEVELOPMENT OF METHODOLOGY TO EXTRACT A CONCENTRATE OF RARE AND RARE-EARTH ELEMENTS FROM COAL PROCESSING WASTE USING AQUEOUS LEACHING

Authors

Tikhomirova A.V.¹, Legocheva E.S.¹, Cherkasova T.G.¹

¹ T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, Kemerovo, 650000, Russian Federation

Authors Information

Tikhomirova A.V., PhD (Chemistry), Associate Professor, Associate Professor of the Institute of Chemical and Oil and Gas Technologies, e-mail: tav.htnv@kuzstu.ru

Legocheva E.S., Master's Student of the Institute of Chemical and Oil and Gas Technologies, e-mail: liza.legocheva@yandex.ru

Cherkasova T.G., Doctor of Chemical Sciences, Professor, Director of the Institute of Chemical and Oil and Gas Technologies, e-mail: ctg.htnv@kuzstu.ru

Abstract

In modern technology, more and more attention is paid to waste recycling and waste-free production. Due to the shortage of rare and rare earth metals for the innovative development of the economy of the Russian Federation, the urgency of the problem of extracting these metals from man-made deposits, among which carbon enrichment waste can be considered, is substantiated. During the development of conditions for the extraction of rare and rare-earth elements from a mixture of carbon enrichment waste – rocks with heavy-medium separation and deposition, their chemical opening and subsequent cold water leaching were carried out. It was revealed that in systems with forced introduction of lanthanum(III) oxide, lanthanum passes into the filtrate by 70%, in the case of real systems, only 40% of lanthanum passes into the filtrate. The same dependence is observed for other lanthanides of the cerium group. Rare-earth elements of the yttrium group pass from the waste to the filtrate as well as lanthanides of cerium only by 40%.

Keywords

Coal waste, Coal processing, Rare-earth elements, Cerium group lanthanoids, Yttrium group lanthanoids, Acid digestion, Aqueous leaching.

References

1. ITS 24-2017 Production of rare and rare-earth metals. Moscow. Bureau of NDT Publ., 2017, 210 p. (In Russ.).
2. Cherkasova T.G., Isakova I.V., Tikhomirova A.V. et al. Isolation of concentrates of rare and rare-earth elements from ash and slag wastes of Kuzbass. *Vestnik KuzGTU*, 2021, (2), pp. 35-39. (In Russ.).

3. Cherkasova T.G., Isakova I.V., Tikhomirova A.V. et al. Determination of industrially significant conditions of rare elements in ash and slag wastes of Kuzbass. *Vestnik KuzGTU*, 2021, (5), pp. 37-44. (In Russ.).

4. Zorya V.N. Research of technogenic waste of ferrous metallurgy, including waste from coal enrichment and combustion, and development of technologies for their processing: diss. ... candidate of technical sciences: 05.16.07. Zorya Vyacheslav Nikolaevich; SibGIU; scientific hand. E.P. Volynkina. Novokuznetsk, 2015, 207 p. (In Russ.).

5. Maksimova A.M. Extraction of rare and rare-earth metals from man-made objects as a way to rational development of the subsoil. *Internet zhurnal Naukovedenie*, 2016, Vol. 8, (5), pp. 1-11. (In Russ.).

6. Cherkasova T.G., Pilin M.O., Barancev 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.

7. Yudovich Ya.E. & Ketris L.P. Valuable elements-impurities in coals. Yekaterinburg, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 2006, 538 p. (In Russ.).

8. Zelikman A.N. & Korshunov B.G. Metallurgy of rare metals. Moscow, Metallurgiya, 1991, 432 p. (In Russ.).

9. Korzanov V.S. & Shulgina N.P. Chemistry of rare, scattered and rare-earth elements: textbook. manual for 4th, 5th year students and masters of chemistry. Perm, Permskij unstitut Publ., 2007, 101 p. (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

Tikhomirova A.V., Legocheva E.S. & Cherkasova T.G. Development of methodology to extract a concentrate of rare and rare-earth elements from coal processing waste using aqueous leaching. *Ugol'*, 2023, (S12), pp. 79-83. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2023-S12-79-83.

Paper info

Received November 1, 2023
 Reviewed November 15, 2023
 Accepted November 30, 2023

COAL PREPARATION

Извлечение редкоземельных элементов и скандия из отходов угледобычи с использованием метода гранульной сульфатизации*

DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2023-S12-84-89>

СМИРНОВ Д.И.

Канд. техн. наук, ведущий научный сотрудник лаборатории переработки техногенного сырья АО «ВНИИХТ»,
111524, г. Москва, Россия,
e-mail: dmigsmirnov@rosatom.ru

КАЛАШНИКОВ А.В.

Канд. техн. наук, старший научный сотрудник лаборатории переработки техногенного сырья АО «ВНИИХТ»,
111524, г. Москва, Россия

ЗАХАРОВ А.А.

Научный сотрудник лаборатории переработки техногенного сырья АО «Гиредмет»
111524, г. Москва, Россия

ЗВОНАРЕВА М.Е.

Ведущий инженер лаборатории переработки техногенного сырья АО «ВНИИХТ»,
111524, г. Москва, Россия

ЧЕРКАСОВА Т.Г.

Доктор хим. наук, профессор, директор Института химических и нефтегазовых технологий ФГБОУ ВО «КузГТУ имени Т.Ф. Горбачева»,
650000, г. Кемерово, Россия,
e-mail: ctg.htnv@kuzstu.ru

БАРАНЦЕВ Д.А.

Ассистент Института химических и нефтегазовых технологий ФГБОУ ВО «КузГТУ имени Т.Ф. Горбачева»,
650000, г. Кемерово, Россия,
e-mail: ketche@yandex.ru

В процессе углепереработки образуются отвалы золошлаков и отходов обогащения угольных материалов, которые занимают большие площади и требуют значительных эксплуатационных затрат. Отвалы являются источником техногенного загрязнения окружающей среды, что негативно влияет на здоровье населения и представляет угрозу растительному и животному миру близлежащих районов. С другой стороны, отходы углепереработки по химическому и минералогическому составу подобны природному минеральному сырью, что делает их использование в промышленности, строительной индустрии и сельском хозяйстве одним из актуальных направлений в стратегическом пути решения экологической проблемы в зоне работы предприятий угольной промышленности. В данной статье приведены результаты исследований процесса гранульной сульфатизации отходов угледобычи с целью получения материала для дальнейшего эффективного извлечения из него скандия и редкоземельных элементов с использованием методов агитационного или перколяционного выщелачивания. Установлено, что проведение процесса гранульной сульфатизации с 95%-ной серной кислотой позволяет при последующем водном выщелачивании гранульного материала получить наибольшее извлечение скандия и редкоземельных элементов. Расход серной кислоты при этом составляет 332 кг/т. Установлено влияние температуры обжига гранулированного материала на извлечение скандия и редкоземельных элементов в процессе последующего водного выщелачивания обожженного гранулированного материала.

Ключевые слова: редкие металлы, техногенные отвалы, золошлаки, отходы угледобычи, грануляция, серная кислота, кислотоёмкость, скандий, редкоземельные элементы.

Для цитирования: Извлечение редкоземельных элементов и скандия из отходов угледобычи с использованием метода гранульной сульфатизации / Д.И. Смирнов, А.В. Калашников, А.А. Захаров и др. // Уголь. 2023. № 512. С. 84-89. DOI: 10.18796/0041-5790-2023-S12-84-89.

* Исследование выполнено за счет гранта Минобрнауки России (Соглашение № 075-15-2022-1194).

ВВЕДЕНИЕ

В процессе углепереработки на обогатительных фабриках и сжигания углей на тепловых электростанциях (ТЭС) образуются отвалы золошлаков и отходов обогащения угольных материалов, которые занимают большие площади, а их содержание требует значительных эксплуатационных затрат, что влияет на повышение себестоимости производства энергоносителей. Отвалы являются источником загрязнения окружающей среды, представляют опасность для здоровья населения и угрозу растительному и животному миру близлежащих районов.

Вместе с тем золошлаковые материалы и отходы углепереработки по химическому и минералогическому составу во многом идентичны природному минеральному сырью. Использование их в промышленности, строительной индустрии и сельском хозяйстве – один из стратегических путей решения экологической проблемы в зоне работы ТЭС и углеобогатительных фабрик. Отходы углепереработки, шлаки и золы имеют хорошую перспективу для их широкого использования с целью ресурсосбережения, то есть решения экономических проблем, связанных с сохранением природных ресурсов, цветных, редких металлов и других материалов.

Состав и свойства отходов углепереработки и золошлаковых материалов зависят от минерального состава топлива и способа его переработки и сжигания. Угли разных месторождений и, соответственно, отходы, образующиеся при их переработке и сжигании, существенно различаются по составу минеральной части – содержанию и соотношению основных элементов. Золошлаки и отходы углепереработки содержат оксиды таких элементов, как кремний, алюминий, кальций, железо, магний, натрий, калий. Содержание микрокомпонентов в них менее 0,1% (германий, галлий, скандий, редкоземельные металлы и т.д.). Присутствие в золах и отходах углепереработки ценных элементов позволяет рентабельно извлекать их при содержании даже более низком, чем в промышленных рудах, что в значительной степени снижает расходы на геологические поиски рудного сырья, разведку месторождений, добычу руды, ее дробление, обогащение, транспортировку. При этом кроме существенного экономического эффекта решаются многие экологические проблемы.

По аналогии с переработкой бедного уранового сырья наиболее перспективными методами комплексной переработки золошлаков и отходов углепереработки следует считать способы, основанные на их химическом выщелачивании различными минеральными кислотами с последующим селективным извлечением переведенных в раствор ценных компонентов [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9].

Одним из эффективных способов переработки забалансовых и бедных балансовых руд, извлечение из которых полезных компонентов обычными обогатительными или гидрометаллургическими методами (выщелачивание в пачуках, автоклавах и других аппаратах) нерентабельно, является кучное выщелачивание. Переработка руд методом кучного выщелачивания позволяет существенно снизить затраты за счет исключения операций рудоподготовки, упрощения аппаратурного оформления процесса, а так-

же значительного уменьшения расхода материальных и энергетических ресурсов на операциях выщелачивания и извлечения ценных компонентов [10, 11].

Реализация технологии кучного серноокислотного выщелачивания бедных, высокоглинистых и склонных к переизмельчению материалов, к которым относятся золошлаки и отходы углепереработки, без предварительной подготовки невозможна. Способность названных материалов к переизмельчению, а также наличие в них значительного количества глинистых минералов приводят к заиливанию материала, что способствует нарушению проницаемости кучи и, в конечном счете, к прекращению процесса выщелачивания. Для вовлечения таких рудных материалов в переработку с использованием технологии кучного выщелачивания необходима разработка процесса их специальной подготовки. Внедрение подготовки рудных материалов с высоким содержанием глинистых минералов к процессу кучного выщелачивания позволит вовлечь в техническую эксплуатацию бедные, высокоглинистые, забалансовые руды, а также небольшие месторождения полиметаллических руд, переработка которых ранее считалась экономически нецелесообразной. Предварительная подготовка таких материалов позволит значительно сократить сроки выщелачивания, полностью провести процесс в течение одного сезона и повысить степень извлечения ценных компонентов [12].

Имеется несколько вариантов реализации технологии кучного выщелачивания, позволяющих решить проблему заиливания. Чаще всего используется технология подготовки с окускованием рудной мелочи различными вяжущими веществами (цемент, известь и т.д.).

Одним из способов подготовки рудного материала к кучному выщелачиванию, позволяющих значительно сократить продолжительность переработки типового сырья, является гранульный метод. Названный метод заключается в гранулировании измельченного рудного материала с необходимым для выщелачивания ценных компонентов количеством серной кислоты [13, 14, 15].

При грануляции измельченного рудного материала с серной кислотой происходит гетерогенная химическая реакция в слое твердого, подвижного гранулированного материала при минимальном соотношении фаз, близких к стехиометрически необходимому. В процессе гранульной сульфатизации серная кислота выступает в качестве связующего компонента для получения материала в виде гранул. Использование данного способа получения сульфатизированного гранулированного материала позволяет перерабатывать методом кучного выщелачивания рудные материалы с высоким содержанием глинистых минералов.

Совмещение процессов сульфатизации и грануляции и проведение гранульной сульфатизации устраняют или в значительной степени снижают влияние основных неблагоприятных факторов, присущих жидкофазной и твердофазной сульфатизациям. Нет препятствий организации непрерывного процесса вскрытия, так как вскрываемый материал находится в подвижном состоянии. Интенсивный массо- и теплообмен зачастую позволяет сократить продолжительность процесса. Непрерывность процес-

Химический состав отходов ЦОФ «Березовская»
 Chemical composition of waste at the Berezovskaya Central Processing Plant

| Содержание, % | | | | | | | | | | | | | |
|---------------|-------|------|------|------|------|-----|------|------|------|--------|--------|-------|--------|
| Fe | Al | Ca | Mg | Si | K | C | S | Ti | Zr | Sc | Y | La | Ce |
| 2,59 | 10,06 | 1,93 | 1,02 | 26,7 | 1,99 | 8,4 | 0,12 | 0,59 | 0,07 | 0,0005 | 0,0006 | 0,002 | 0,0025 |

са позволяет устранить некоторые технологические линии (трубопроводы, транспортеры), снизить металлоемкость оборудования, сократить потребности в площадях. Вскрытый продукт получается в виде гранул, что позволяет проводить эффективное водное выщелачивание ценных компонентов [12, 13].

ОСНОВНОЙ РАЗДЕЛ

Исследования процесса гранульной сульфатизации проводили с использованием пробы отходов центральной обогатительной фабрики «Березовская» Кемеровской области. Представленная для исследований проба, химический состав которой приведен в табл. 1, характеризуется очень низким (ниже кларков) содержанием редкоземельных элементов и скандия.

Для определения оптимальных параметров вскрытия исходного материала и установления предела потребления серной кислоты на стадии грануляции были проведены исследования по определению кислотоемкости отходов ЦОФ «Березовская». Из исследований установлено, что для представленной пробы, измельченной до крупности 0,05 мм, при комнатной температуре и расходе серной кислоты 1 т/т кислотоемкость составляет 128 кг/т. При этих условиях было достигнуто извлечение скандия в раствор 37%, извлечение иттрия, лантана и церия при этом составило соответственно: 76, 9,5 и 19%.

В ходе лабораторных исследований, опираясь на экспериментальные данные по кислотоемкости, обрабатывали режимы процесса грануляции отходов ЦОФ «Березовская» с серной кислотой.

Эксперименты по грануляции отходов ЦОФ проводили с использованием лабораторного чашевого гранулятора с диаметром чаши 300 мм. Навеску отходов ЦОФ высыпали на чашу гранулятора и одновременно с началом вращения чаши в материал через капельную воронку постепенно вводили серную кислоту. Эксперименты проводили с использованием растворов серной кислоты с концентрацией 70%, 75%, 80% и 95%.

Образцы гранулированного материала изучали методом дифференциально-термического анализа. Дериwаtограммы трех образцов представлены на рис. 1, 2, 3. Анализ проводили на приборе синхронно-термического анализа – NETZCH STA

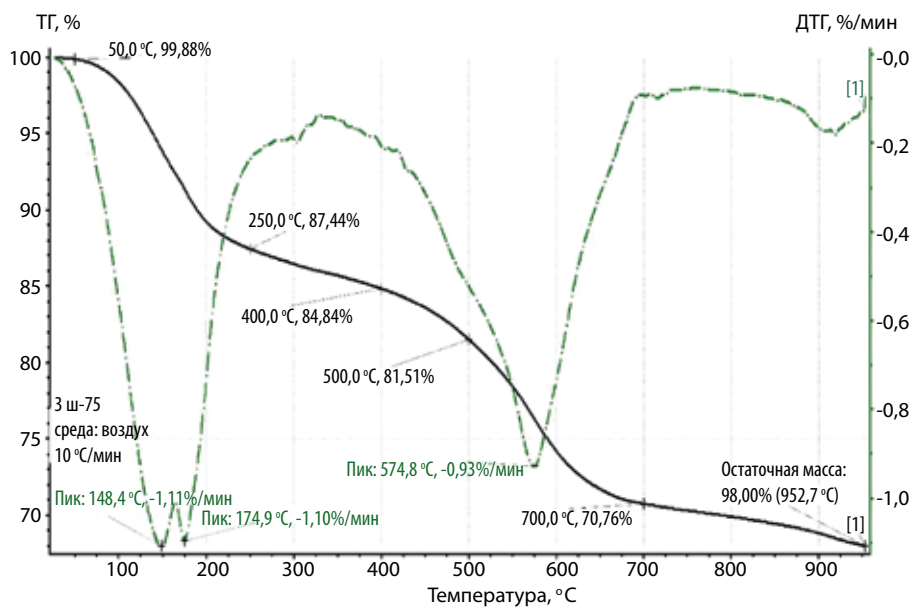


Рис. 1. Термограмма образца, загранулированного с 75%-ной серной кислотой
 Fig. 1. Thermogram of a sample pelletized with 75% sulfuric acid

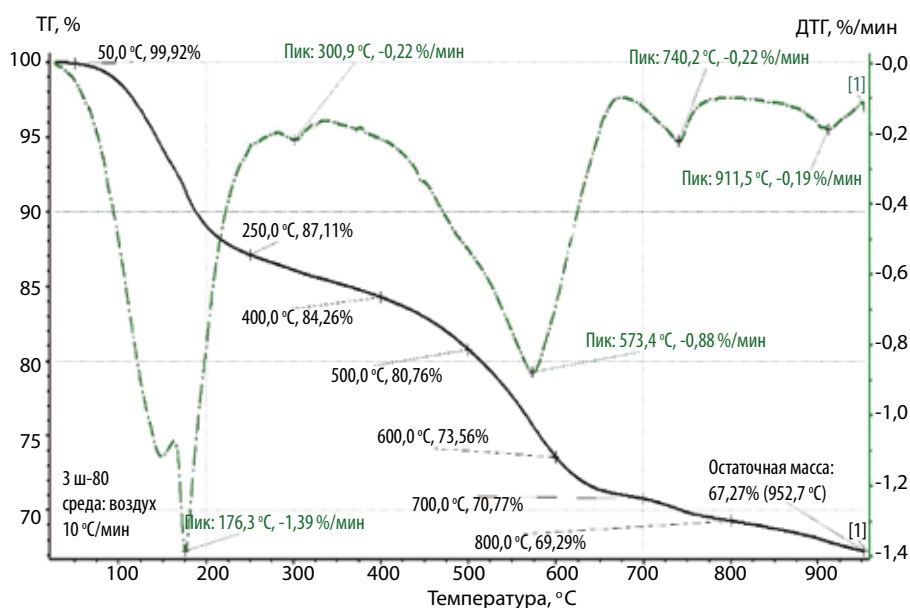


Рис. 2. Термограмма образца, загранулированного с 80%-ной серной кислотой
 Fig. 2. Thermogram of a sample pelletized with 80% sulfuric acid

449 f1 jupiter. Скорость нагрева образца равнялась 10 градусам в минуту.

На приведенных термограммах трех образцов присутствуют пики в близких интервалах температур. Наблюдается эндотермический эффект при температуре 280°C, что характеризует завершение процесса сульфатизации и испарения остаточной серной кислоты. Убыль массы составляет: 13% для образца, загранулированного с 75%-ной серной кислотой, 14% для образца, загранулированного с 80%-ной серной кислотой и 15,9% для образца, загранулированного с 95%-ной серной кислотой. Также присутствует пик в интервале 650-700°C. При данных температурах происходит разложение образовавшихся сульфатов, в первую очередь алюминия и железа. При температуре выше 800°C происходит выгорание углерода.

Полученные материалы, загранулированные с серной кислотой разной концентрации, обжигали в муфельной печи при температуре 300, 400 и 700°C.

Для определения кинетических характеристик процесса термической обработки образцов гранулированного материала проведены эксперименты по влиянию продолжительности на степень приближения процесса к равновесию F , которую рассчитывали по формуле (1):

$$F = \frac{\Delta m_i}{\Delta m_{\max}} \quad (1)$$

где, Δm_i – потеря массы образца в заданный временной интервал, г; Δm_{\max} – максимальная убыль массы, г.

Данные, приведенные на рис. 4, показывают, что 100 минут достаточно для завершения процесса сульфатизации гранул при температуре 300°C.

Из данных, представленных на рис. 5, видно, что для завершения процесса высокотемпературного обжига гранульного материала достаточно одного часа.

Обожженные гранулы, полученные в результате смешения отходов ЦОФ «Березовская» с растворами 70%, 75%, 80% и 95% серной кислоты, выщелачивали водой. Продолжительность выщелачивания – два часа. Соотношение Т:Ж – 1:4.

Из представленных данных видно, что наибольшее извлечение скан-

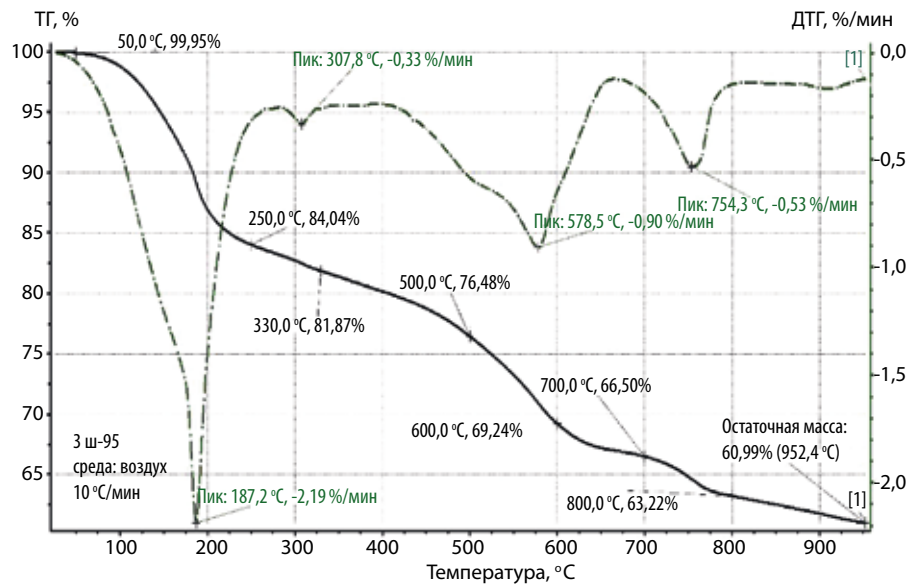


Рис. 3. Термограмма образца, загранулированного с 95%-ной серной кислотой
Fig. 3. Thermogram of a sample pelletized with 95% sulfuric acid

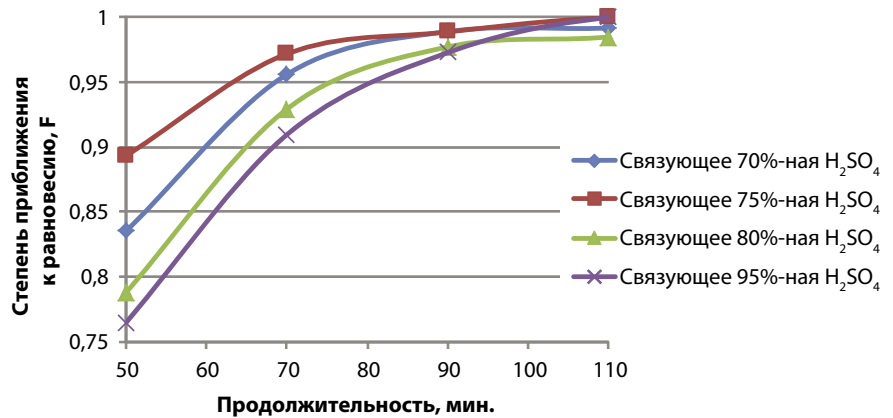


Рис. 4. Кинетика процесса сульфатизации при температуре 300°C
Fig. 4. Kinetics of the sulphatization process at 300°C

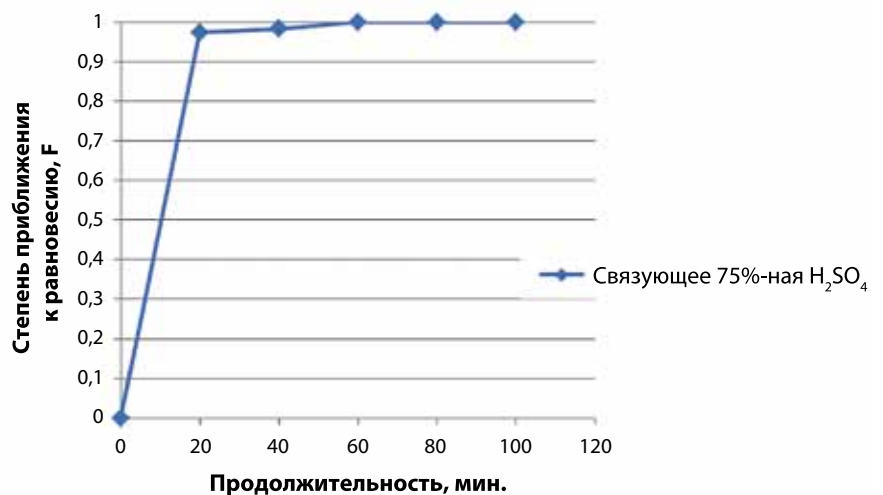


Рис. 5. Кинетика процесса обжига при температуре 700°C
Fig. 5. Kinetics of the baking process at a temperature of 700°C

Извлечение ценных компонентов в раствор после водного выщелачивания обожженных гранул
Extraction of valuable components into solution after aqueous leaching of baked pellets

| Название пробы* | Извлечение, % | | | | | | | | | | |
|-----------------|---------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | Fe | Al | Ca | Mg | Si | Ti | Zr | Sc | La | Ce | Y |
| 3Ш-70/300 | 72,6 | 14,7 | 22,1 | 33,7 | 0,01 | 0,16 | 0,20 | 45,8 | 9,43 | 22,4 | 37,0 |
| 3Ш-80/300 | 70,6 | 18,4 | 23,9 | 35,8 | 0,03 | 0,03 | 0,06 | 39,5 | 8,48 | 22,8 | 34,0 |
| 3Ш-95/300 | 29,8 | 20,4 | 18,1 | 34,5 | 0,03 | 0,05 | 0,05 | 73,2 | 40,2 | 58,6 | 87,5 |
| 3Ш-70/400 | 51,5 | 14,2 | 23,5 | 35,4 | 0,04 | 0,20 | 0,14 | 52,0 | 10,0 | 14,9 | 36,2 |
| 3Ш-75/400 | 30,1 | 14,2 | 22,0 | 36,6 | 0,08 | 0,11 | 0,09 | 40,9 | 14,9 | 42,1 | 35,1 |
| 3Ш-80/400 | 34,7 | 16,1 | 24,0 | 35,2 | 0,05 | 0,06 | 0,06 | 62,4 | 3,12 | 2,50 | 10,4 |
| 3Ш-95/400 | 18,7 | 22,2 | 18,8 | 37,6 | 0,09 | 0,11 | 0,08 | 78,8 | 43,1 | 66,5 | 82,1 |
| 3Ш-70/700 | 0,03 | 2,08 | 21,3 | 27,0 | 0,16 | 0,01 | 0,04 | 6,68 | 2,78 | 2,23 | 9,28 |
| 3Ш-75/700 | 0,06 | 1,51 | 18,3 | 22,8 | 0,17 | 0,00 | 0,01 | 5,77 | 19,2 | 36,5 | 50,5 |
| 3Ш-80/700 | 0,17 | 2,02 | 24,6 | 26,2 | 0,14 | 0,01 | 0,04 | 5,55 | 2,78 | 2,22 | 9,26 |
| 3Ш-95/700 | 0,12 | 2,23 | 18,9 | 37,8 | 0,15 | 0,00 | 0,04 | 23,9 | 65,5 | 93,5 | 96,0 |

* В названии пробы цифрами обозначены: концентрация серной кислоты при грануляции (%) / температура обжига (°C).

дия (73-78%) получено в результате грануляции отходов ЦОФ «Березовская» с 95%-ным раствором серной кислоты, обжигом гранул при температуре 300-400°C и последующим водным выщелачиванием обожженных гранул (см. табл. 2). Наилучшие показатели извлечения редкоземельных элементов (лантана – 65%, церия – 93% иттрия – 96%) получены в результате обжига гранул при 700°C. При этом наблюдается значительное снижение извлечения железа, алюминия и скандия, вызванное разложением сульфатов этих элементов с образованием нерастворимых в воде оксидов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведены исследования по отработке режимов химической обработки отходов центральной обогатительной фабрики «Березовская» с целью достижения максимального извлечения редкоземельных элементов и скандия. Водное выщелачивание отходов ЦОФ «Березовская», прошедших стадию гранульной сульфатизации, показало перспективность применения данного способа вскрытия для сырья с содержанием редкоземельных элементов и скандия ниже кларков.

Проведение процесса гранульной сульфатизации с 95%-ной серной кислотой позволяет при последующем водном выщелачивании гранульного материала получить наибольшее извлечение скандия и редкоземельных элементов. Расход серной кислоты при этом составляет 332 кг/т.

Установлено влияние температуры обжига гранулированного материала на извлечение скандия и редкоземельных элементов в процессе последующего водного выщелачивания обожженного гранулированного материала.

При выщелачивании обожженных при 300-400°C гранул было достигнуто максимальное извлечение скандия – 73-78%, извлечение редкоземельных элементов при этом составило: иттрия – 82-87%; лантана – 40-43%; церия – 58-66%.

Наилучшие показатели по извлечению редкоземельных элементов (лантана – 65%, церия – 93% иттрия – 96%) получены в результате выщелачивания гранульного матери-

ала, обожженного при 700°C. При этом наблюдается значительное снижение извлечения железа, алюминия и скандия, вызванное разложением сульфатов названных компонентов с образованием нерастворимых в воде оксидов.

Следует отметить, что использование любого процесса, основанного на химическом вскрытии отходов угледобычи для извлечения только микроколичеств ценных компонентов не может быть экономически оправданно. Поэтому дальнейшие исследования следует направить на создание комплексной технологии переработки отходов угледобычи с получением продуктов, пригодных для получения полезных материалов, с попутным извлечением редкоземельных элементов и скандия.

Список литературы

1. Самоделов А.П. Состояние и комплексообразование скандия в растворах минеральных кислот // Радиохимия. 1964. Т. 6. Вып. 5. С. 110-112.
2. Зеликман А.Н., Меерсон Г.А. Металлургия редких металлов. М.: Металлургия, 1973. 608 с.
3. Зеликман А.Н., Вольдман Г.М., Белявская Л.В. Теория гидрометаллургических процессов. М.: Металлургия, 1975. 504 с.
4. Волощук С.Н. Кучное и подземное выщелачивание металлов. М.: Недра, 1982. 113 с.
5. Равич Б.М. Брикетирование руд. М.: Недра, 1982. 183 с.
6. Коршунов Б.Г., Резник А.М., Семенов С.А. Скандий. М.: Металлургия, 1987. 184 с.
7. Зеликман А.Н., Коршунов Б.Г. Металлургия редких металлов. М.: Металлургия, 1991. 432 с.
8. Редкие и рассеянные элементы. Химия и технология / С.С. Коровин, В.И. Букин, П.И. Федоров и др. М.: МИСиС. 2003. Т. 3. 438 с.
9. Абдурахмонов О.Э., Семенов С.А., Соколова Ю.В. Экстракционное извлечение скандия из сернокислых растворов выщелачивания красных шламов алюминиевого производства // Цветные металлы. 2022. № 4. С. 33-39.
10. Смирнов И.П., Матвеев А.А., Смирнов К.М. Выщелачивание урановых и комплексных руд // Цветные металлы. 2003. № 4. С. 27-34.
11. Фазлуллина М.И. Подземное и кучное выщелачивание урана, золота и других металлов. Т. I. Уран. М.: Руда и металлы, 2005. 328 с.

12. Кузнецов И.В. Разработка процесса подготовки глинистых комплексных урановых руд к кучному выщелачиванию: дисс. ... канд. техн. наук 05.17.02. М., 2014. 175 с.
13. Патент на изобретение RU 2657149 C1, 08.06.2018. Способ извлечения редкоземельных металлов и скандия из золошлаковых отходов / Кольцов В.Ю., Новиков П.Ю., Власова Т.В., Захаров А.А., Калашников А.В., Юдина Т.Б., Звонарева М.Е., Величина Н.С. Заявка № 2017126637 от 25.07.2017.
14. Патент на изобретение RU 2665512 C1, 30.08.2018. Способ переработки фосфогипса / Кольцов В.Ю., Новиков П.Ю., Власова Т.В., Захаров А.А., Величина Н.С., Калашников А.В., Юдина Т.Б. Заявка № 2017115339 от 02.05.2017.
15. Патент на изобретение RU 2714309 C1, 14.02.2020. Способ очистки нефтезагрязненных грунтов от естественных радионуклидов / Кольцов В.Ю., Юдина Т.Б., Новиков П.Ю., Величина Н.С., Власова Т.В. Заявка № 2019121721 от 11.07.2019.

Original Paper

UDC 62-665.4; 661.86 © D.I. Smirnov, A.V. Kalashnikov, A.A. Zakharov, M.E. Zvonareva, T.G. Cherkasova, D.A. Barantsev 2023
 ISSN 0041-5790 (Print) • ISSN 2412-8333 (Online) • Ugol' – Russian Coal Journal, 2023, № S12, pp. 84-89
 DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2023-S12-84-89>

Title
EXTRACTION OF RARE EARTH ELEMENTS AND SCANDIUM FROM COAL MINING WASTE USING GRANULAR SULPHATISATION METHOD

Authors

Smirnov D.I.¹, Kalashnikov A.V.¹, Zakharov A.A.², Zvonareva M.E.¹, Cherkasova T.G.³, Barantsev D.A.³

¹ JSC "VNIИТ", Moscow, 111524, Russian Federation

² JSC "Giredmet", Moscow, 111524, Russian Federation

³ T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, Kemerovo, 650000, Russian Federation

Authors Information

Smirnov D.I., PhD (Engineering), Leading Researcher of the Laboratory of Processing of Technogenic Raw Materials, e-mail: dmigsmirnov@rosatom.ru

Kalashnikov A.V., PhD (Engineering), Senior Researcher

at the Laboratory of Processing of Technogenic Raw Materials

Zakharov A.A., Researcher at the Laboratory of Processing

of Technogenic Raw Materials

Zvonareva M.E., Leading engineer of the Laboratory of Processing

of Technogenic Raw Materials

Cherkasova T.G., Doctor of Chemical Sciences, Professor, Director

of the Institute of Chemical and Oil and Gas Technologies,

e-mail: ctg.htnv@kuzstu.ru

Barantsev D.A., Assistant the Institute of Chemical and Oil and Gas

Technologies, e-mail: kemche@yandex.ru

Abstract

In the process of coal refining, dumps of ash and slag and waste from the enrichment of coal materials are formed, which occupy large areas and require significant operating costs. Dumps are a source of man-made environmental pollution, which negatively affects the health of the population and poses a threat to the flora and fauna of nearby areas. On the other hand, coal processing wastes are similar in chemical and mineralogical composition to natural mineral raw materials, which makes their use in industry, the construction industry and agriculture one of the relevant directions in the strategic way of solving the environmental problem in the area of operation of coal industry enterprises. This article presents the results of studies of the process of granular sulfatization of coal mining waste in order to obtain material for further effective extraction of scandium and rare earth elements from it using agitation or percolation leaching methods. It has been established that carrying out the process of granule sulfatization with 95% sulfuric acid makes it possible, with subsequent aqueous leaching of the granule material, to obtain the greatest extraction of scandium and rare earth elements. The consumption of sulfuric acid in this case is 332 kg/t. The influence of the firing temperature of the granular material on the extraction of scandium and rare earth elements during the subsequent water leaching of the fired granular material has been established.

Keywords

Rare metals, Man-made dumps, Ashes and slag waste, Coal mining waste, Granulation, Sulfuric acid, Acid capacity, Scandium, Rare earth elements.

References

1. Samodelov A.P. The state and complexation of scandium in solutions of mineral acids. *Radiokhimiya*, 1964, Vol. 6, (5), pp. 110-112. (In Russ.).
2. Zelikman A.N. & Meerson G.A. Metallurgy of rare metals. Moscow, Metallurgiya Publ., 1973, 608 p. (In Russ.).
3. Zelikman A.N., Woldman G.M. & Belyavskaya L.V. Theory of hydrometallurgical processes. Moscow, Metallurgiya Publ., 1975, 504 p. (In Russ.).

4. Voloshchuk S.N. Heap and underground leaching of metals. Moscow, Nedra Publ., 1982, 113 p. (In Russ.).

5. Ravich B.M. Briquetting of ores. Moscow, Nedra Publ., 1982, 183 p. (In Russ.).

6. Korshunov B.G., Reznik A.M. & Semenov S.A. Scandium. Moscow, Metallurgiya Publ., 1987, 184 c. (In Russ.).

7. Zelikman A.N. & Korshunov B.G. Metallurgy of rare metals. Moscow, Metallurgiya Publ., 1991, 432 p. (In Russ.).

8. Korovin S.S., Bukin V.I., Fedorov P.I. & Reznik A.M. Rare and scattered elements. Chemistry and technology. Moscow, MISiS Publ., 2003, Vol. 3, 438 p. (In Russ.).

9. Abdurakhmonov O.E., Semenov S.A. & Sokolova Yu.V. Extraction of scandium from sulfuric acid solutions of leaching of red slurries of aluminum production. *Tsvetnye metally*, 2022, (4), pp. 33-39. (In Russ.).

10. Smirnov I.P., Matveev A.A. & Smirnov K.M. Leaching of uranium and complex ores. *Tsvetnye metally*, 2003, (4), pp. 27-34. (In Russ.).

11. Fazlullina M.I. Underground and heap leaching of uranium, gold and other metals. T.I. Uran. Moscow, Ruda i metally Publ., 2005, 328 p. (In Russ.).

12. Kuznetsov I.V. Development of the process of preparation of clay complex uranium ores for heap leaching. Dissertation for the degree of Candidate of Technical Sciences 05.17.02. Moscow, 2014, 175 p. (In Russ.).

13. Patent for the invention RU 2657149 C1, 08.06.2018. Method of extraction of rare earth metals and scandium from ash and slag waste. Koltsov V.Yu., Novikov P.Yu., Vlasova T.V., Zakharov A.A., Kalashnikov A.V., Yudina T.B., Zvonareva M.E., Velichkina N.S. Application No. 2017126637 dated 25.07.2017. (In Russ.).

14. Patent for the invention RU 2665512 C1, 30.08.2018. Method of processing phosphogypsum. Koltsov V.Yu., Novikov P.Yu., Vlasova T.V., Zakharov A.A., Velichkina N.S., Kalashnikov A.V., Yudina T.B. Application No 2017115339 dated 02.05.2017. (In Russ.).

15. Patent for the invention RU 2714309 C1, 02/14/2020. Method of purification of oil-contaminated soils from natural radionuclides. Koltsov V.Yu., Yudina T.B., Novikov P.Yu., Velichkina N.S., Vlasova T.V. Application No 2019121721 dated 11.07.2019. (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

Smirnov D.I. Kalashnikov A.V., Zakharov A.A., Zvonareva M.E., Cherkasova T.G. & Barantsev D.A. Extraction of rare earth elements and scandium from coal mining waste using granular sulphatization method. *Ugol'*, 2023, (S12), pp. 84-89. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2023-S12-84-89.

Paper info

Received November 1, 2023

Reviewed November 15, 2023

Accepted November 30, 2023

Исследование фракционного состава каменноугольной смолы и каменноугольных пеков*

DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2023-S12-90-93>

НЕВЕДРОВ А.В.

Канд. техн. наук, доцент, доцент Института химических и нефтегазовых технологий ФГБОУ ВО «КузГТУ им. 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 ФГБОУ ВО «КузГТУ им. Т.Ф. Горбачева», 650000, г. Кемерово, Россия, e-mail: pav.httt@kuzstu.ru

ЧЕРКАСОВА Т.Г.

Доктор хим. наук, профессор, директор Института химических и нефтегазовых технологий ФГБОУ ВО «КузГТУ им. Т.Ф. Горбачева», 650000, г. Кемерово, Россия, e-mail: ctg.htnv@kuzstu.ru

Каменноугольный пек имеет широкую область применения: как связующее в электродном производстве, производстве углеграфитовой продукции, как сырье для производства углеродных волокон и т.д. Одной из главных характеристик качества каменноугольного пека является его фракционный состав. Были проведены исследования по получению каменноугольного пека методом дистилляции каменноугольной смолы при атмосферном давлении. В процессе дистилляции смолы были определены ее фракционный состав. Выход каменноугольного пека составил 54%. Для полученного образца пека был определен фракционный состав и зольность. На основании полученных результатов исследования была дана оценки возможности применения полученного пека для производства углеродных волокон и в электродном производстве.

Ключевые слова: каменноугольная смола, каменноугольный пек, дистилляция, углеродные волокна, фракционный состав.

Для цитирования: Неведров А.В., Папин А.В., Черкасова Т.Г. Исследование фракционного состава каменноугольной смолы и каменноугольных пеков // Уголь. 2023. № S12. С. 90-93. DOI: 10.18796/0041-5790-2023-S12-90-93.

ВВЕДЕНИЕ

Для производства крупнотоннажных электродных масс и многих видов современных углеродных материалов в качестве основного связующего применяется каменноугольный пек. Рынок электродного производства включает достаточно большое количество участвующих в нем предприятий, относящихся главным образом к черной и цветной металлургии. Основными потребителями электродных пеков являются цветная металлургия, в которой пек применяется для изготовления анодной массы и анодов для алюминиевой промышленности, и собственно производство электродов различного назначения [1, 2, 3, 4]. В России на алюминиевую промышленность приходится до 52% всего потребляемого каменноугольного пека.

Другим важным направлением применения каменноугольного пека является производство углеродных волокон. Углеродные волокна, полученные из мезофазного каменноугольного пека [5, 6, 7, 8], обладают высокой прочностью и упругостью, вслед-

* Исследование выполнено за счет гранта Минобрнауки России (Соглашение № 075-15-2022-1193).

ствие чего находят широкое применение. Они используются в аэрокосмической промышленности, в самолетостроении, в производстве автомобилей, спортивного инвентаря, протезов и др. [1, 9].

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Каменноугольный пек является остатком, получаемым в результате перегонки каменноугольной смолы. При комнатной температуре пек представляет собой однородное по внешнему виду твердое тело, состав которого представлен сложной смесью в основном конденсированных ароматических углеводородов и гетероциклических ароматических соединений с числом колец четыре и более. При нагревании пек переходит в пластическое состояние [5]. Уникальное свойство каменноугольных пеков давать высокий коксовый остаток при карбонизации объясняется их полиароматической структурой, которая включает в себя более 10000 различных соединений [10, 11, 12]. Мезофазный пек обладает упорядоченной структурой (т.е. анизотропией), что важно для его применения в производстве углеродных волокон.

В связи с содержанием в каменноугольном пеке большого количества различных химических соединений, многие из которых не идентифицированы, при характеристике состава пека его разделяют не на химические индивидуальные вещества, а на группы веществ последовательной экстракцией различными растворителями.

Пеки разделяют на следующие группы веществ (фракции) [13, 14]:

– мальтены (γ -фракция, по составу преимущественно полициклические соединения с 4-6 кольцами), растворимые в изооктане;

– асфальтены (β -фракция, полициклические соединения с 8-10 кольцами и молекулярной массой 350-450), не растворимые в изооктане, но растворимые в толуоле (бензоле);

– карбены (α_2 -фракция, высококонденсированные соединения неустановленной структуры), не растворимые в толуоле, но растворимые в хинолине (пиридине);

– карбоиды (α_1 -фракция, высококонденсированные соединения неустановленной структуры с молекулярной массой в несколько раз большей, чем α_2 -фракции, кроме того, частицы графита, угля, кокса, полициклических ароматических углеводородов), не растворимые в любом растворителе, то есть нерастворимый остаток.

α -фракция является нерастворимой в толуоле. Это сумма двух наиболее высокомолекулярных фракций: $\alpha = \alpha_1 + \alpha_2$. Естественно, $\gamma + \beta + \alpha_2 + \alpha_1 = 100\%$.

Влияние этих фракций на технологические свойства пека различно. При коксовании нерастворимого остатка выход кокса очень велик и достигает 80%. С увеличением α -фракции в пеке приходится увеличивать количество связующего в шихте для электродного производства [15], так как пластичность пека и его смачивающая способность снижаются. При операциях смешения и прессования требуются более высокие температуры. Но при обжиге усадка изделий снижается. Механические свойства обожженных и графитированных изделий возрастают, электропроводность снижается.

Выход кокса из асфальтенов 32-50%. Кокс хорошо графитируется. При увеличении содержания асфальтенов в пеке возрастает усадка изделий при обжиге. Мальтены улучшают пластифицирующие свойства пека. Участие их в образовании коксового остатка мало (при нагреве они почти полностью переходят в летучие вещества) [15, 16].

Фракционный состав каменноугольного пека оказывает значительное влияние на образование мезофазы. Высокое содержание α_1 -фракции в пеке затрудняет формирование мезофазы.

В Институте химических и нефтегазовых технологий ФГБОУ ВО «Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева» были проведены исследования фракционного состава каменноугольной смолы и каменноугольного пека, полученного при атмосферной дистилляции каменноугольной смолы.

В качестве исходного сырья использовалась каменноугольная смола коксохимического производства ПАО «Кокс». Каменноугольная смола имела следующие качественные характеристики:

- массовая доля воды – 2%;
- массовая доля веществ, не растворимых в толуоле, – 11%;
- массовая доля веществ, не растворимых в хинолине, – 6,7%;
- зольность – 0,1%.

В процессе дистилляции каменноугольной смолы из нее выделялись по интервалам кипения четыре фракции: легкая + фенольная с температурой кипения < 210°C; нафталиновая + поглотительная с интервалом кипения 210-300°C; антраценовая с интервалом кипения 300-360°C; каменноугольный пек с температурой кипения > 360°C.

Выход фракций с каменноугольной смолы представлен в табл. 1.

Для образца каменноугольного пека, полученного в ходе дистилляции каменноугольной смолы при атмосферном давлении, был определен фракционный состав

Таблица 1

Фракционный состав каменноугольной смолы ПАО «Кокс»

Fractional composition of coal tar by the Koks Kemerovo Coking Coal Plant

| Наименование фракции | Температура отгона, °C | Выход фракции, % |
|-------------------------------|------------------------|------------------|
| Легкая + фенольная | < 210 | 1 |
| Нафталиновая + поглотительная | 210-300 | 27 |
| Антраценовая | 300-360 | 18 |
| Каменноугольный пек | > 360 | 54 |

Характеристика каменноугольного пека

Characteristics of the coal tar pitch

| Образец пека | Содержание веществ, не растворимых в толуоле (α -фракция), % | Содержание веществ, не растворимых в хинолине (α_1 -фракция), % | Зольность (A^d), % |
|---|--|---|------------------------|
| Каменноугольный пек, полученный при атмосферной дистилляции каменноугольной смолы | 34,0 | 13,0 | 0,28 |
| Требования, предъявляемые к электродному пеку в соответствии с ГОСТ 10200-2017 | 24, не менее | 7-16 | 0,3, не более |
| Требования, предъявляемые к исходному (изотропному) каменноугольному пеку для производства углеродных волокон | – | Менее 1 | 0,1, не более |

(содержание α -фракции и α_1 -фракции). Содержание α -фракции определялось по ГОСТ 7847-2020, а содержание α_1 -фракции – по ГОСТ 10200-2017. Кроме того, была определена зольность пека по ГОСТ 7846-73. Результаты исследований каменноугольного пека представлены в табл. 2.

Как видно из табл. 2, каменноугольный пек, полученный при атмосферной дистилляции каменноугольной смолы ПАО «Кокс», по представленным показателям качества соответствует требованиям ГОСТ 10200-2017. Однако полученный пек непригоден для производства углеродных волокон, поскольку содержит высокое количество α_1 -фракции, что затрудняет формирование мезофазы, необходимой для волокнообразующей способности пека [17]. По этой причине при использовании каменноугольного пека в качестве сырья для получения мезофазного пека в производстве углеродных волокон требуется предварительно очищать пек от α_1 -фракции.

Поскольку в состав α_1 -фракции каменноугольных пеков входят частицы графита, угля и кокса, содержащие минеральные (зольные) компоненты, то после очистки пеков от α_1 -фракции снизится и зольность пеков.

Таким образом, фракционный состав каменноугольных пеков является одной из главных характеристик их качества, определяющих их пригодность для применения в электродном производстве и производстве углеродных волокон.

Список литературы

1. Получение высокотехнологичных продуктов из каменноугольной смолы / И.С. Ветошкина, В.С. Солодов, В.С. Васильева и др. // Кокс и химия. 2019. № 2. С. 51-53.
2. Губанов С.А., Букка А.А., Иващенко Е.Ю. Технологические особенности производства каменноугольного пека из низкопиролитованных каменноугольных смол и варианты совершенствования процесса // Кокс и химия. 2017. № 11. С. 37-42.
3. Кисельков Д.М., Москалев И.В., Стрельников В.Н. Углеродные материалы на основе каменноугольного сырья // Вестник Пермского федерального исследовательского центра. 2013. № 2. С.13-22.
4. Innovative Coal-Tar Products at PAO Koks / A.P.Kozlov, T.G.Cherkasova, S.V.Frolov et al. // Coke and Chemistry. 2020. Vol. 63. Is. 7. P. 344-350.
5. Кинетика образования мезофазы при термополиконденсации высокоароматизированных нефтяных остатков / А.А. Мухамедзянова, М.И. Абдуллин, А.Т. Мухамедзянов и др. // Вестник Башкирского университета. 2012. Т. 17. № 4. С. 1722-1725.
6. Тесаловская Т.М., Андрейков Е.И., Карпин Г.М. Способы управления качеством электродного пека // Кокс и химия. 1992. № 6. С. 27-33.
7. Управление качеством пека / Г.М. Карпин, Т.М. Тесаловская, В.А. Евстигнеев и др. // Кокс и химия. 1990. № 4. С. 28-31.
8. Maruyama M. New materials high module carbon fibres on a base of a pitch // Nikkei Mechanical. 1985. № 7. P. 53-66.
9. Коротева Л.И. Технология и оборудование для получения волокон и нитей специального назначения. М.: ИНФРА-М, 2019. 288 с.
10. Zander M., Collin G. A review of the significance of polycyclic aromatic chemistry for pitch science // Fuel. 1993. Vol. 72. P. 1281-1285.
11. Семенова С.А., Гаврилюк О.М., Патраков Ю.Ф. Анализ компонентного состава групповых фракций каменноугольной коксохимической смолы // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2010. № 5. С. 135-139.
12. Role of quinoline insoluble particles during the processing of coal tars to produce graphene materials / L. Fernández-García, P. Álvarez, A.M. Pérez-Mas et al. // Fuel. 2017. Vol. 206. P. 99-106.
13. Валинурова Э.Р., Кудашева Ф.Х. Структурно-групповой состав волокнообразующих нефтяных пеков // Химия и химическая технология. 2015. Т. 58. Вып. 7. С. 62-65.
14. Properties and micro-morphology of primary quinoline insoluble and mesocarbon microbeads / Y. Zhu, X.F. Zhao, L.J. Gao et al. // Journal of Materials Science. 2016. Vol. 51. P. 8098-8107.
15. Крутский Ю.Л. Производство углеграфитовых материалов. Новосибирск: Издательство НГТУ, 2012. 116 с.
16. Ахметов С.А., Ишмияров М.Х., Кауфман А.А. Технология переработки нефти, газа и твердых горючих ископаемых. Санкт-Петербург: Недра, 2009. 832 с.
17. Preparation and characterization of coal-pitch-based needle coke (part III): the effects of quinoline insoluble in coal tar pitch / Y. Zhu, H. Liu, Y. Xu et al. // Energy & Fuels. 2020. Vol. 34. № 7. P. 8676-8684.

Original Paper

UDC 662.749.33 © A.V. Nevedrov, A.V. Papin, T.G. Cherkasova, 2023
 ISSN 0041-5790 (Print) • ISSN 2412-8333 (Online) • Ugol' – Russian Coal Journal, 2023, № S12, pp. 90-93
 DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2023-S12-90-93>

Title

INVESTIGATION OF FRACTIONAL COMPOSITION OF COAL TAR AND COAL TAR PITCH

Authors

Nevedrov A.V.¹, Papin A.V.¹, Cherkasova T.G.¹

¹ T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, Kemerovo, 650000, Russian Federation

Authors Information

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

Cherkasova T.G., Doctor of Chemical Sciences, Professor, Director of Institute of Chemical and Oil and Gas Technologies, e-mail: ctg.htnv@kuzstu.ru

Abstract

Coal pitch has a wide range of applications: as a binder in electrode production, production of carbon graphite products, as raw materials for the production of carbon fibers, etc. One of the main characteristics of the quality of coal pitch is its fractional composition. Studies have been carried out on the production of coal pitch by distillation of coal tar at atmospheric pressure. During the distillation of the resin, its fractional composition was determined. The yield of coal pitch was 54%. The fractional composition and ash content were determined for the resulting pitch sample. Based on the results of the study, an assessment was made of the possibility of using the resulting pitch for the production of carbon fibers and in electrode production.

Keywords

Coal tar, Coal pitch, Distillation, Carbon fibers, Fractional composition.

References

- Vetoshkina I.S., Solodov V.S., Vasilyeva V.S., Subbotin C.P., Cherkasova T.G. & Nevedrov A.V. Obtaining high-tech products from coal tar. *Koks i khimiya*, 2019, (2), pp. 51-53. (In Russ.).
- Gubanov S.A., Bukka A.A. & Ivashchenko E.Yu. Technological features of the production of coal pitch from low-pyrolyzed coal tar and process improvement options. *Koks i khimiya*, 2017, (11), pp. 37-42. (In Russ.).
- Kiselkov D.M., Moskalev I.V. & Strelnikov V.N. Carbon materials based on coal raw materials. *Vestnik Permskogo federalnogo issledovatel'skogo tsentra*, 2013, (2), pp. 13-22. (In Russ.).
- Kozlov A.P., Cherkasova T.G., Frolov S.V., Subbotin S.P. & Solodov V.S. Innovative Coal-Tar Products at PAO Koks. *Coke and Chemistry*, 2020, Vol. 63, (7), pp. 344-350.
- Mukhametzyanova A.A., Abdullin M.I., Mukhametzyanov A.T. & Gimaev R.N. Kinetics of mesophase formation during thermopolycondensation of highly aromatized oil residues. *Vestnik Bashkirskogo universiteta*, 2012, Vol. 17, (4), pp. 1722-1725. (In Russ.).
- Tsalovskaya T.M., Andreikov E.I. & Karpin G.M. Methods of quality management of electrode pitch. *Koks i khimiya*, 1992, (6), pp. 27-33. (In Russ.).

- Karpin G.M., Tsalovskaya T.M., Evstigneev V.A. & Stepanova L.A. Quality management of pitch. *Koks i khimiya*, 1990, (4), pp. 28-31. (In Russ.).
- Maruyaina M. New materials high module carbon fibres on a base of a pitch. *Nikkei Mechanical*, 1985, (7), pp. 53-66.
- Koroteeva L.I. Technology and equipment for the production of special purpose fibers and yarns. Moscow, INFRA-M Publ., 2019, 288 p. (In Russ.).
- Zander M. & Collin G. A review of the significance of polycyclic aromatic chemistry for pitch science. *Fuel*, 1993, (72), pp. 1281-1285.
- Semenova S.A., Gavrilyuk O.M. & Patrakov Yu.F. Analysis of the component composition of group fractions of coal coke chemical resin. *Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2010, (5), pp. 135-139. (In Russ.).
- Fernández-García L., Álvarez P., Pérez-Mas A.M., Blanco C., Santamaría R., Menéndez R. & Granda M. Role of quinoline insoluble particles during the processing of coal tars to produce graphene materials. *Fuel*, 2017, (206), pp. 99-106.
- Valinurova E.R. & Kudasheva F.H. Structural and group composition of fiber-forming oil pitches. *Khimiya i khimicheskaya tekhnologiya*, 2015, Vol. 58, (7), pp. 62-65. (In Russ.).
- Zhu Y., Zhao X.F., Gao L.J., Jun L., Cheng J.X. & Lai S.Q. Properties and micro-morphology of primary quinoline insoluble and mesocarbon microbeads. *Journal of Materials Science*. 2016, (51), pp. 8098-8107.
- Krutsky Yu.L. Production of carbon-graphite materials. Novosibirsk, NSTU Publishing House, 2012, 116 p. (In Russ.).
- Akhmetov S.A., Ishmiyarov M.H. & Kaufman A.A. Technology of oil, gas and solid fuels processing. Saint Petersburg, Nedra Publ., 2009, 832 p. (In Russ.).
- Zhu Y., Liu H., Xu Y., Hu C., Zhao C., Cheng J., Xingxing C. & Zhao X. Preparation and characterization of coal-pitch-based needle coke (part III): the effects of quinoline insoluble in coal tar pitch. *Energy & Fuels*, 2020, Vol. 34, (7), pp. 8676-8684.

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

Nevedrov A.V., Papin A.V. & Cherkasova T.G. Investigation of fractional composition of coal tar and coal tar pitch. *Ugol'*, 2023, (S12), pp. 90-93. (In Russ.). DOI: [10.18796/0041-5790-2023-S12-90-93](https://doi.org/10.18796/0041-5790-2023-S12-90-93).

Paper info

Received November 1, 2023

Reviewed November 15, 2023

Accepted November 30, 2023

Оценка качества каменноугольного пека, полученного при дистилляции каменноугольной смолы*

DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2023-S12-94-97>

ЧЕРКАСОВА Т.Г.

Доктор хим. наук, профессор, директор
Института химических и нефтегазовых
технологий ФГБОУ ВО «КузГТУ им. 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
ФГБОУ ВО «КузГТУ им. 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
ФГБОУ ВО «КузГТУ им. Т.Ф. Горбачева»,
650000, г. Кемерово, Россия,
e-mail: pav.httt@kuzstu.ru

В статье рассматривается процесс получения каменноугольного пека методом дистилляции каменноугольной смолы. В качестве исходного сырья применялась каменноугольная смола производства ПАО «Кокс». При проведении исследований варьировалась конечная температура кубового остатка в интервале 400–430°C. Полученные образцы каменноугольного пека подвергались исследованию по определению их качественных характеристик. Даны оценка качества полученного пека и его пригодность для применения в электродном производстве и в производстве углеродных материалов.

Ключевые слова: каменноугольная смола, каменноугольный пек, дистилляция, углеродные волокна.

Для цитирования: Черкасова Т.Г., Неведров А.В., Папин А.В. Оценка качества каменноугольного пека, полученного при дистилляции каменноугольной смолы // Уголь. 2023. № S12. С. 94–97. DOI: 10.18796/0041-5790-2023-S12-94-97.

ВВЕДЕНИЕ

Пек является важнейшим сырьевым компонентом для целого ряда высокотехнологичных уникальных продуктов для электродной промышленности, производства углеродных волокон, углеграфитовых, конструкционных, полупроводниковых материалов, авиа- и ракетостроения [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10]. Основной потребитель продукции из пеков – алюминиевая отрасль.

Углеродные волокна занимают особое место среди конструкционных материалов благодаря своим уникальным свойствам – низкой плотности, химической стойкости в агрессивных средах, прочности при высоких температурах, хорошим тепло-, электрофизическим, антифрикционным свойствам, устойчивости к радиационному излучению, высокой адсорбционной активности и др. [11, 12].

Пеки относятся к доступным и дешевым источникам сырья и характеризуются высоким содержанием углерода. Состав и свойства пеков зависят от их происхождения и могут изменяться в широких пределах [13, 14]. Пек обладает высокой степенью ароматичности составляющих его соединений и способен к развитию слоистой графеноподобной структуры за счет межмолекулярной упаковки при термообработке.

Качество пеков оценивается такими показателями, как выход летучих веществ, зольность, а также групповой состав. Группо-

* Исследование выполнено за счет гранта Минобрнауки России (Соглашение № 075-15-2022-1193).

Таблица 1

Характеристики исходной каменноугольной смолы

Characteristics of the initial coal tar

| Наименование показателя | Значения |
|---|----------------------------------|
| Внешний вид | Черная, вязкая, тяжелая жидкость |
| Плотность при 20°C, г/см ³ | 1,178 |
| Массовая доля воды, % | 2,0 |
| Массовая доля веществ, не растворимых в толуоле, % | 8,2 |
| Массовая доля веществ, не растворимых в хинолине, % | 3,9 |
| Зольность, % | 0,1 |

Таблица 2

Качественная характеристика каменноугольного пека

Qualitative characteristics of the coal tar pitch

| Наименование показателя | Конечная температура дистилляции, °C | | Значение показателя по ГОСТ 10200-2017 |
|--|--------------------------------------|------|--|
| | 400 | 430 | |
| Температура размягчения, (T_p), °C | 57,6 | 79,8 | 65-95 |
| Содержание веществ, не растворимых в толуоле (α -фракция), не менее, % | 23,4 | 34,2 | 24 |
| Содержание веществ, не растворимых в хинолине (α_1 -фракция), % | 6,3 | 8,2 | 7-16 |
| Зольность (A_d), не более, % | 0,16 | 0,21 | 0,3 |
| Выход летучих веществ ($V_{лет}$), не более, % | 67,1 | 59,8 | 63 |

вой (или фракционный) состав определяется путем разделения пека на фракции с помощью органических растворителей (гептана, хинолина, толуола). Таким образом, методом селективной экстракции растворителями пеки разделяют на следующие фракции [15]:

- γ -фракция – нейтральные смолы или мальтены, растворимые в легком бензине и насыщенных углеводородах (гептане и др.);
- β -фракция – асфальтены, не растворимые в предельных углеводородах, но растворимые в горячем бензоле, толуоле;
- α -фракция – карбены, не растворимые в бензоле, но растворимые в хинолине;
- α_1 -фракция – карбоиды, практически не растворимые в известных растворителях.

От соотношения фракций пеков зависят их волокнообразующие свойства [16, 17]. Как правило, пеки характеризуются содержанием нерастворимых в толуоле (α) и в хинолине (α_1) фракций. α_1 -фракция содержит частицы уноса угля, зольные и высокомолекулярные соединения, поэтому ее присутствие снижает графитируемость [18].

Групповой состав во многом определяет такие технологические свойства пека, как температура размягчения, динамическая вязкость, текучесть при определенной температуре, коксумость и выход коксового остатка [19].

В Институте химических и нефтегазовых технологий ФГБОУ ВО «Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева» были проведены исследования по получению каменноугольного пека методом перегонки каменноугольной смолы при атмосферном давлении (дистилляцией).

Сырьем для получения каменноугольного пека являлась каменноугольная смола производства ПАО «Кокс». Каче-

ственные характеристики смолы представлены в табл. 1.

Обезвоженная каменноугольная смола подвергалась разгонке на фракции при атмосферном давлении на лабораторной установке [20] путем ее нагревания до заданной температуры. По мере нагревания из смолы удалялись легкокипящие фракции, а пек в виде высококипящего остатка накапливался в колбе. Конечная температура дистилляции смолы (температура кубового остатка) варьировалась в интервале 400-430°C.

В ходе дистилляции каменноугольной смолы из нее выделялись следующие фракции (в скобках указаны интервалы температур кипения фракций): легкая ($\leq 170^\circ\text{C}$); фенольная (170-210°C); нафталиновая (210-230°C); поглотительная (230-270°C); антраценовая (270-360°C), пек ($\geq 360^\circ\text{C}$).

Полученные в ходе дистилляции каменноугольной смолы образцы каменноугольного пека подвергались исследованию с целью определения их качественных характеристик, которые включены в ГОСТ 10200-2017, регламентирующий качество каменноугольного пека для электродного производства [21].

Для образцов каменноугольного пека были определены следующие показатели: температура размягчения, растворимость в толуоле и хинолине, зольность, выход летучих веществ (табл. 2).

Из данных, представленных в табл. 2, видно, что при увеличении конечной температуры дистилляции каменноугольной смолы в образцах получаемого каменноугольного пека возрастает температура размягчения, снижается выход летучих веществ, увеличивается содержание α и α_1 -фракций. Каменноугольный пек, полученный при конечной температуре дистилляции 430°C, соответствует требованиям качества пека для электродного производства (в соответствии с ГОСТ 10200-2017).

Каменноугольные пеки, используемые для получения мезофазного пека, необходимого для производства углеродных волокон, должны содержать органические молекулы планарного строения, включающие не менее 7 ароматических циклов [22]. Требования к химическому составу каменноугольных пеков для электродного производства приведены в *табл. 3* [23].

Элементный состав каменноугольного пека, полученного атмосферной перегонкой каменноугольной смолы, представлен в *табл. 4*.

Из *табл. 3* и *4* видно, что в полученном при атмосферной перегонке образце каменноугольного пека содержание углерода недостаточно для применения данного пека в производстве углеродных волокон. Кроме того, полученный пек имеет высокое содержание α_1 -фракции (см. *табл. 2*), а для получения мезофазного пека в производстве углеродных волокон пригоден исходный пек с содержанием α_1 -фракции не более 0,5%. Поэтому перед применением в производстве углеродных волокон каменноугольный пек, полученный при атмосферной перегонке каменноугольной смолы, необходимо очищать от α_1 -фракции, а затем подвергать дополнительной термической обработке для повышения содержания в пеке углерода и полициклических ароматических углеводородов, необходимых для формирования мезофазной структуры пека.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, каменноугольный пек, полученный методом дистилляции каменноугольной смолы при температуре кубового остатка, равной 430°C, пригоден для использования в электродном производстве. Для производства углеродных волокон данный пек непригоден, требуется его очищать от α_1 -фракции и подвергать дополнительной термической обработке.

Список литературы

1. Methods for the preparation of coal tar pitch / P.N. Kuznetsov, L.I. Kuznetsova, F.A. Buryukin et al. // *Solid Fuel Chemistry*. 2015. Vol. 49. No 4. P. 213-225.
2. Use of coal tar pitch and petroleum bitumen in the production of thermally expanded graphite (short communication) / T.P. Miloshenko, O.Y. Fetisova, M.L. Shchipko et al. // *Soil Fuel Chem*. 2008. Vol. 42. No 3. P. 163-164.
3. Hard carbon derived from coal tar pitch for use as the anode material in lithium ion batteries / Zhihua Guo, Chengyang Wang, Mingming Chen et al. // *Int. J. Electrochem. Sci*. 2013. No 8. P. 2702-2709.
4. Synthesis of porous carbon from coal tar pitch for high-performance supercapacitors / Feng Wei, Han-fang Zhang, Xiao-jun He et al. // *New Carbon Materials*. 2019. Vol. 34. № 2. P. 132-139.
5. Banerjee C., Chandaliya V.K., Dash P.S. Recent advancement in coal tar pitch-based carbon fiber precursor development and fiber manufacturing process // *Appl. Pyrolysis*. 2021. Vol. 158. P. 105272.
6. Synthesis of isotropic carbon fibers and activated carbon fibers from pitch precursors / F. Derbyshire, R. Andrews, D. Jacques et al. // *Fuel*. 2001. Vol. 80. № 3. P. 345-356.
7. Characteristics of the mesophase and needle coke derived from the blended coal tar and biomass tar pitch / L. Li, X. Lin, Y. Zhang et al. // *J. Anal. Appl. Pyrolysis*. 2020. Vol. 150. P. 104889.

Таблица 3

Требования к химическому составу исходных пеков, %

Qualitative characteristics of the coal tar pitch

| | |
|--------------------------------|-------|
| Углерод | 92–96 |
| Водород | 4–8 |
| Кислород, сера, азот, не более | 4 |

Таблица 4

Элементный состав каменноугольного пека

Elemental composition of the coal tar pitch

| Наименование образца | Элемент | Содержание элемента, % мас. |
|--|---------|-----------------------------|
| Пек, полученный атмосферной перегонкой каменноугольной смолы | C | 91,3 |
| | H | 4,0 |
| | N | 0,0 |
| | S | 0,0 |
| | O | 4,7 |

8. Preparation of mesocarbon microbeads from coal tar pitch with blending of biomass tar pitch / L. Li, X. Lin, J. He et al. // *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*. 2021. Vol. 155. P. 105039.
9. Коротева Л.И. Технология и оборудование для получения волокон и нитей специального назначения. М.: ИНФРА-М, 2019. 288 с.
10. 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.
11. Maruyama M. New materials high module carbon fibres on a base of a pitch // *Nikkei Mechanical*. 1985. No 7. P. 53-66.
12. Кинетика образования мезофазы при термополиконденсации высокоароматизированных нефтяных остатков / А.А. Мухамедзянова, М.И. Абдуллин, А.Т. Мухамедзянов и др. // *Вестник Башкирского университета*. 2012. Т. 17. № 4. С. 1722 -1725.
13. Тесаловская Т.М., Андрейков Е.И., Карпин Г.М. Способы управления качеством электродного пека // *Кокс и химия*. 1992. Т. 6. С. 27-33.
14. Управление качеством пека / Г.М. Карпин, Т.М. Тесаловская, В.А. Евстигнеев и др. // *Кокс и химия*. 1990. Т.4. С. 28-31.
15. Валинурова Э.Р., Кудашева Ф.Х. Структурно-групповой состав волокнообразующих нефтяных пеков // *Химия и химическая технология*. 2015. Т. 58. Вып. 7. С. 62-65.
16. Матвейчук Л.С. Разработка технологии получения нефтяного изотропного волокнообразующего пека в реакторах проточного типа: дисс. ... канд. техн. наук. Уфа: Башкир. науч.-иссл. ин-т по перераб. нефти. 1991. 215 с.
17. Мухамедзянова А.А. Разработка технологии получения волокнообразующих пеков на основе нефтяного сырья: дисс. ... доктора техн. наук. Уфа: Башкир. гос. ун-т. 2013. 288 с.
18. Янко Э.А. Аноды алюминиевых электролизеров. М.: Руда и металлы, 2001. 671 с.
19. 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.
20. Разделение каменноугольной смолы на фракции в ходе дистилляции с использованием различных контактных устройств и параметров процесса / А.П. Козлов, Т.Г. Черкасова, С.П. Субботин и др. // *Кокс и химия*. 2022. № 7. С. 17-25.

21. ГОСТ 10200-2017. Пек каменноугольный электродный. Технические условия. М., 2018. С. 20.
22. Капустин В.М., Чернышева Е.А. Проблемы и тенденции развития современного нефтеперерабатывающего и нефтехимического комплекса России / Материалы VI Международной научно-практической конференции «Нефтегазопереработка-2010», Уфа: ГУП «ИНХП РБ». 2010. С. 180-19.
23. Термо-, жаростойкие и негорючие волокна / под ред. А.А. Конкина. М.: Химия, 1978. 424 с.

Original Paper

COAL PREPARATION

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, № S12, pp. 94-97
 DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2023-S12-94-97>

Title
QUALITY ASSESSMENT OF THE COAL TAR PITCH PRODUCED BY DISTILLATION OF COAL TAR

Authors

Cherkasova T.G.¹, Nevedrov A.V.¹, Papin A.V.¹

¹ T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, Kemerovo, 650000, Russian Federation

Authors Information

Cherkasova T.G., Doctor of Chemical Sciences, Professor, Director of the 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 obtaining coal pitch by distillation of coal tar. Coal tar produced by PJSC "Cox" was used as a feedstock. During the studies, the final temperature of the cubic residue varied in the range of 400-430°C. The obtained samples of coal pitch were examined to determine their qualitative characteristics. An assessment of the quality of the resulting pitch and its suitability for use in electrode production and in the production of carbon materials is given.

Keywords

Coal tar, Coal pitch, Distillation, Carbon fibers.

References

- Kuznetsov P.N., Kuznetsova L.I., Buryukin F.A., Marakushina E.N. & Frizorger V.K. Methods for the preparation of coal tar pitch. *Solid Fuel Chemistry*, 2015, Vol. 49, (4), pp. 213-225.
- Miloshenko T.P., Fetisova O.Y., Shchipko M.L. & Kuznetsov B.N. Use of coal tar pitch and petroleum bitumen in the production of thermally expanded graphite (short communication). *Soil Fuel Chem.*, 2008, Vol. 42, (3), pp. 163-164.
- Zhuhua Guo, Chengyang Wang, Mingming Chen & Mingwei Li. Hard carbon derived from coal tar pitch for use as the anode material in lithium ion batteries. *Int. J. Electrochem. Sci.*, 2013, (8), pp. 2702-2709.
- Feng Wei, Han-fang Zhang, Xiao-jun He, Hao Ma, Shi-an Dong & Xiao-yu Xie. Synthesis of porous carbon from coal tar pitch for high-performance supercapacitors. *New Carbon Materials*, 2019, Vol. 34, (2), pp. 132-139.
- Banerjee C., Chandaliya V.K. & Dash P.S., Recent advancement in coal tar pitch-based carbon fiber precursor development and fiber manufacturing process. *Appl. Pyrolysis*, 2021, (158), pp. 105272.
- Derbyshire F., Andrews R., Jacques D., Jagtoyen M., Kimber G. & Rantell T. Synthesis of isotropic carbon fibers and activated carbon fibers from pitch precursors. *Fuel*, 2001, Vol. 80, (3), pp. 345-356.
- Li L., Lin X., Zhang Y., Dai J., Xu D. & Wang Y. Characteristics of the mesophase and needle coke derived from the blended coal tar and biomass tar pitch. *J. Anal. Appl. Pyrolysis*, 2020, (150), pp. 104889.
- Li L., Lin X., He J., Zhang Y. & Wang Y. Preparation of mesocarbon microbeads from coal tar pitch with blending of biomass tar pitch. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 2021, (155), pp. 105039.
- Koroteeva L.I. Technology and equipment for the production of special-purpose fibers and yarns. Moscow, INFRA-M Publ., 2019, 288 p. (In Russ.).

- Andreikov E.I., Safarov L.F. & Tsaur 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 khimiya*, 2016, (3), pp. 59-64. (In Russ.).
- Maruyama M. New materials high module carbon fibres on a base of a pitch. *Nikkei Mechanical*, 1985, (7), pp. 53-66.
- Mukhamedzyanova A.A., Abdullin M.I., Mukhamedzyanov A.T. & Gimaev R.N. Kinetics of mesophase formation during thermopolycondensation of highly aromatized oil residues. *Vestnik Bashkirskogo universiteta*, 2012, Vol. 17, (4), pp. 1722 -1725. (In Russ.).
- Tesalovskaya T.M., Andreikov E.I. & Karpin G.M. Methods of quality management of electrode pitch. *Koks i Khimiya*, 1992, (6), pp. 27-33. (In Russ.).
- Karpin G.M., Tesalovskaya T.M., Evstigneev V.A. & Stepanova L.A. Quality management of pitch. *Koks i khimiya*, 1990, (4), pp. 28-31. (In Russ.).
- Valinurova E.R. & Kudasheva F.H. Structural and group composition of fiber-forming oil pitches. *Khimiya i khimicheskaya tekhnologiya*, 2015, Vol. 58, (7), pp. 62-65. (In Russ.).
- Matveychuk L.S. Development of technology for producing petroleum isotropic fiber-forming pitch in flow-type reactors. Diss. Candidate of Technical Sciences Ufa, Bashkir. sci.-res. in-t for oil reworking, 1991, 215 p. (In Russ.).
- Mukhamedzyanova A.A. Development of technology for obtaining fiber-forming pitches based on petroleum raw materials. Diss Doctor of Technical Sciences Ufa: Bashkir State University. 2013. 288 p. (In Russ.).
- Yanko E.A. Anodes of aluminum electrolyzers. Moscow, Ruda I Metall Publ., 2001, 671 p. (In Russ.).
- 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.
- Kozlov A.P., Cherkasova T.G., Subbotin S.P., Solodov V.S. & Nevedrov A.V. Separation of coal tar into fractions during distillation using various contact devices and process parameters. *Koks i khimiya*, 2022, (7), pp. 17-25. (In Russ.).
- GOST 10200-2017. Coal-fired electrode pitch. Technical conditions. Moscow, 2018, p. 20.
- Kapustin V.M. & Chernysheva E.A. Problems and trends in the development of the modern oil refining and petrochemical complex of Russia. Materials of the VI International scientific and practical Conference "Oil and gas processing-2010", Ufa, SUE "INHP RB" Publ., 2010, pp. 180-19. (In Russ.).
- Thermo-, heat-resistant and non-combustible fibers, edited by A.A. Konkin. Moscow, Khimiya Publ., 1978, 424 p. (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. Quality assessment of the coal tar pitch produced by distillation of coal tar. *Ugol'*, 2023, (S12), pp. 94-97. (In Russ.). DOI: [10.18796/0041-5790-2023-S12-94-97](https://doi.org/10.18796/0041-5790-2023-S12-94-97).

Paper info

Received November 1, 2023

Reviewed November 15, 2023

Accepted November 30, 2023

Характеристика пека, полученного при атмосферной перегонке каменноугольной смолы*

DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2023-S12-98-102>

НЕВЕДРОВ А.В.

Канд. техн. наук, доцент, доцент Института химических и нефтегазовых технологий ФГБОУ ВО «КузГТУ им. 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 ФГБОУ ВО «КузГТУ им. Т.Ф. Горбачева», 650000, г. Кемерово, Россия, e-mail: pav.httt@kuzstu.ru

ЧЕРКАСОВА Т.Г.

Доктор хим. наук, профессор, директор Института химических и нефтегазовых технологий ФГБОУ ВО «КузГТУ им. Т.Ф. Горбачева», 650000, г. Кемерово, Россия, e-mail: ctg.htnv@kuzstu.ru

В статье рассматриваются результаты научных исследований по получению каменноугольного пека путем атмосферной перегонки каменноугольной смолы коксохимического производства ПАО «Кокс». Были исследованы качественные характеристики исходной каменноугольной смолы (плотность, зольность, содержание воды и др.). В процессе дистилляции каменноугольной смолы были выделены следующие фракции: легкая, фенольная, нафталиновая, поглотительная, антраценовая и пек каменноугольный. Выход пековой фракции составил 54% масс. Анализ результатов исследований качества каменноугольного пека, полученного при атмосферной перегонке смолы, показал, что данный пек по большинству показателей соответствует требованиям, предъявляемым к электродным пекам (согласно ГОСТ 10200-2017). Для снижения содержания летучих веществ в каменноугольном пеке требуется его дополнительная термическая обработка при температурах более 360°C.

Ключевые слова: каменноугольная смола, пек, углеродное волокно, атмосферная перегонка, температура размягчения.

Для цитирования: Неведров А.В., Папин А.В., Черкасова Т.Г. Характеристика пека, полученного при атмосферной перегонке каменноугольной смолы // Уголь. 2023. № S12. С. 98-102. DOI: 10.18796/0041-5790-2023-S12-98-102.

ВВЕДЕНИЕ

Ежегодное производство металлургического кокса в мире составляет 600 млн т. В процессе производства кокса образуются около 20 млн т каменноугольной смолы [1], которая является побочным продуктом коксохимического производства.

В России металлургический кокс производится на одиннадцати заводах и при этом образуется 1,2 млн т каменноугольной смолы. Только на двух из всех российских заводов не вырабатывают каменноугольный пек – остаток дистилляции каменноугольной смолы, являющийся сырьем для получения наиболее маргинальных продуктов из угля, которыми являются игольчатый кокс и высокомолекулярное углерод-

* Исследование выполнено за счет гранта Минобрнауки России (Соглашение № 075-15-2022-1193).

ное волокно. Один из этих двух заводов расположен в Кузбассе (ПАО «Кокс», г. Кемерово).

В настоящее время в нашей стране инновационные углеродные продукты с высокой добавленной стоимостью в промышленных масштабах не производятся.

Каменноугольная смола, образующаяся в процессе коксования каменных углей, представляет собой вязкую черную жидкость с характерным запахом. Основные характеристики каменноугольной смолы включают в себя: плотность 1120-1220 кг/м³, низшую теплоту сгорания 35,6-39,0 МДж/кг, температуру самовоспламенения 580-630°C. Выход и состав каменноугольной смолы при коксовании напрямую зависят от состава угольной шихты и условий ее коксования. Традиционно выход смолы составляет 3-4% от сухой массы угольной шихты. Более 10000 различных химических веществ присутствуют в каменноугольной смоле. Из них около 500 идентифицированы. Большинство этих веществ присутствует в смоле в концентрации менее одного процента [2].

В составе каменноугольной смолы обнаружены ароматические, гетероциклические, гетероатомные, в том числе сера, азот и кислородсодержащие соединения, парафиновые, циклоалкановые и алкилароматические соединения [3].

Полиароматические углеводороды, присутствующие в смоле и пеке, легко полимеризуются при термообработке, давая углеродные слои, пористые углеродные слои, которые с помощью темплатов и активаторов или допирующих агентов обеспечивают получение различных материалов от игольчатого кокса до графенов и графеноподобных структур [4, 5, 6].

Каменноугольная смола является источником получения широкого спектра углеродсодержащей продукции – каменноугольного пека, пекового кокса, бензола, нафталина, масел и т.д. [7, 8, 9, 10, 11]. Качество смолы определяется плотностью, выходом дистиллятных фракций при разгонке, содержанием воды, нерастворимых в толуоле и хинолине веществ, фенолов, азотистых оснований, нафталина и антрацена [12].

Качество каменноугольной смолы зависит от состава угольной шихты, размера зерен угля, характеристик коксовой печи, температуры карбонизации и давления. Важным является не только фракционный состав каменноугольной смолы, но и групповой состав смолы, то есть наличие групп веществ, близких по своей растворимости в растворителях различной полярности. Все компоненты каменноугольной смолы перераспределяются между

следующими фракциями группового состава: α ($\alpha_1 + \alpha_2$), β и γ . α -фракция является нерастворимой в толуоле. Это сумма двух наиболее высокомолекулярных фракций: фракций $\alpha_1 + \alpha_2$. При этом фракция α_2 математически вычисляется по разнице фракций: $\alpha_2 = \alpha - \alpha_1$. α_1 – фракция является нерастворимой в хинолине. γ -фракция является растворимой в изооктане. β -фракция определяется математически по формуле: $\beta = 100 - (\alpha + \gamma)$, %. Анализ группового состава каменноугольной смолы является важным, так как именно он непосредственно связан с эксплуатационными качествами смолы [13].

В ФГБОУ ВО «Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева» были проведены исследования по получению каменноугольного пека из каменноугольной смолы путем ее перегонки при атмосферном давлении.

В качестве исходного сырья применялась каменноугольная смола производства ПАО «Кокс». В табл. 1 представлены характеристики качества данной смолы.

При подготовке каменноугольной смолы к перегонке из нее удалялась пирогенетическая вода методом Дина-Старка путем отгонки образующейся азеотропной смеси, состоящей из воды и наиболее легких соединений, присутствующих в каменноугольной смоле. После охлаждения азеотропная смесь расслаивается, и вода легко удаляется из мерного колена насадки Дина-Старка 2 (рис. 1).

Обезвоженная каменноугольная смола подвергалась разгонке на фракции при атмосферном давлении на лабораторной установке, представленной на рис. 2.

Для проведения процесса дистилляции подготовленная проба каменноугольной смолы (500±5 г) наливается в медную колбу 2, колба со смолой помещается на колбонагреватель 1 и утепляется стеклотканью. Дефлегматор 3 через стальной переходник присоединяется к медной колбе. Холодильник 4 через пробковый переходник присоединяется к дефлегматору. Ртутный термометр 7 через пробковый переходник присоединяется к дефлегматору. В карман медной колбы помещается термopара.

Дистилляция каменноугольной смолы проводится на лабораторной установке путем ее нагревания до заданной температуры. По мере нагревания из смолы удаляются легкокипящие фракции, а пек накапливается в колбе.

В ходе дистилляции каменноугольной смолы из нее выделялись следующие фракции (в скобках указаны ин-

Таблица 1

Характеристики исходной каменноугольной смолы

Characteristics of the initial coal tar

| Наименование показателя | Значения |
|---|----------------------------------|
| Внешний вид | Черная, вязкая, тяжелая жидкость |
| Плотность при 20°C, г/см ³ | 1,198 |
| Массовая доля воды, % | 2,0 |
| Массовая доля веществ, не растворимых в толуоле, % | 11,0 |
| Массовая доля веществ, не растворимых в хинолине, % | 6,7 |
| Зольность, % | 0,1 |

Выход фракций каменноугольной смолы
Yield of coal tar fractions

| Наименование фракции | Температура кипения, °С | Выход, % масс. |
|----------------------|-------------------------|----------------|
| Легкая | ≤ 170 | 0,4 |
| Фенольная | 170-210 | 1,8 |
| Нафталиновая | 210-230 | 9,8 |
| Поглотительная | 230-270 | 9,6 |
| Антраценовая | 270-360 | 24,4 |
| Пек | ≥360 | 54,0 |

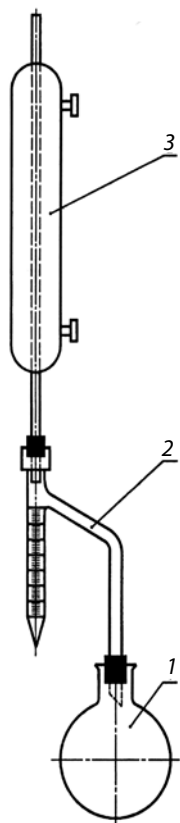


Рис. 1. Лабораторная установка для удаления воды из каменноугольной смолы: 1 – круглодонная колба; 2 – насадка Дина-Старка; 3 – водный холодильник

Fig. 1. Laboratory device for water removal from coal tar: 1 – a round bottom flask; 2 – the Dean-Stark trap; 3 – a water refrigerator

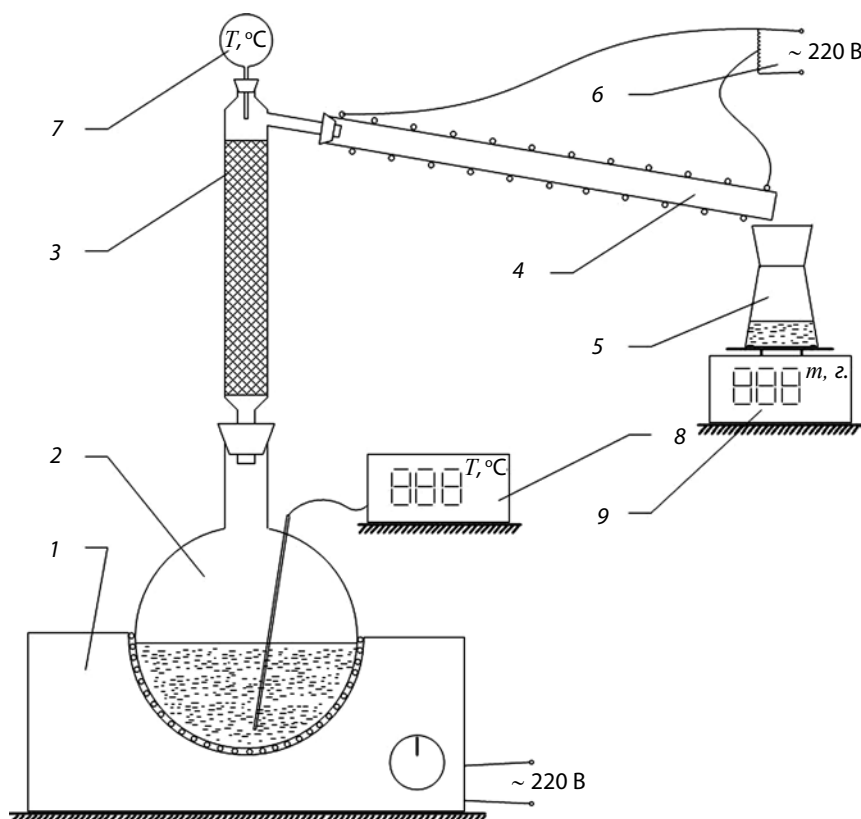


Рис. 2. Схема лабораторной установки для дистилляции каменноугольной смолы: 1 – колба нагреватель; 2 – колба медная; 3 – дефлегматор; 4 – холодильник (обогреваемый); 5 – сборник фракций; 6 – автотрансформатор; 7 – термометр ртутный; 8 – измеритель температуры ТРМ-101; 9 – весы лабораторные

Fig. 2. A schematic diagram of the laboratory unit for coal tar distillation: 1 – a flask heater; 2 – a copper flask; 3 – a fractional distilling tube; 4 – a refrigerator (heated); 5 – a fraction collector; 6 – an automatic transformer; 7 – a mercury thermometer; 8 – the TRM-101 temperature gauge; 9 – laboratory scales

тервалы температур кипения фракций): легкая (≤ 170°C); фенольная (170-210°C); нафталиновая (210-230°C); поглотительная (230-270°C); антраценовая (270-360°C), пек (≥ 360°C). Выход каждой фракции представлен в табл. 2.

Из данных, представленных в табл. 2, видно, что в результате атмосферной разгонки каменноугольной смолы до температуры 360°C выход каменноугольного пека составил 54% масс.

К основным показателям, регламентирующим качество каменноугольного пека для электродного производства,

относятся температура размягчения, растворимость в толуоле и хинолине, зольность, выход летучих веществ, которые включены в ГОСТ 10200-2017 [14].

Для полученных образцов каменноугольного пека были определены данные показатели качества (табл. 3).

Согласно данным, представленным в табл. 3, качество каменноугольного пека, полученного при атмосферной перегонке каменноугольной смолы, по большинству показателей соответствует требованиям, предъявляемым к пекам для электродного производства в со-

Качественная характеристика каменноугольного пека

Qualitative characteristics of the coal tar pitch

| Наименование показателя | Значение | Значение показателя по ГОСТ 10200-2017 |
|--|----------|--|
| Температура размягчения (T_p), °C | 92,6 | 65-95 |
| Содержание веществ, не растворимых в толуоле (α -фракция), не менее, % | 34,1 | 24 |
| Содержание веществ, не растворимых в хинолине (α_1 -фракция), % | 13,0 | 7-16 |
| Зольность (A_d), не более, % | 0,28 | 0,3 |
| Выход летучих веществ (V_{daf}), не более, % | 67,3 | 63 |

ответствии с ГОСТ 10200-2017, за исключением показателя выхода летучих веществ. Образцы полученного пека в большей степени соответствуют маркам В и В1 электродного пека.

ВЫВОДЫ

Технология атмосферной перегонки каменноугольной смолы позволяет получать каменноугольный пек, по качеству близкий к маркам В и В1 электродного пека. Для снижения выхода летучих веществ каменноугольный пек, полученный при атмосферной разгонке каменноугольной смолы, требуется дополнительно подвергать термической обработке или, после достижения температуры дистилляции 360°C, выдерживать пек при этой температуре не менее одного часа.

Технология получения углеродных волокон предъявляет особые требования к качеству каменноугольного пека, используемого в качестве исходного сырья. Каменноугольный пек должен иметь зольность не более 0,1%, температуру размягчения – более 150°C, содержание веществ, не растворимых в хинолине (α_1 -фракция), – не более 1% [15]. Поэтому перед использованием каменноугольного пека, полученного атмосферной перегонкой каменноугольной смолы, для производства углеродных волокон требуется предварительная его очистка от нежелательных примесей: зольных компонентов и нерастворимых в хинолине веществ.

Список литературы

- Innovative Coal-Tar Products at PAO Koks / A.P. Kozlov, T.G. Cherkasova, S.V. Frolov et al. // *Coke and Chemistry*. 2020. Vol. 63. Is. 7. P. 344-350.
- Семенова С.А., Гаврилюк О.М., Патраков Ю.Ф. Анализ компонентного состава групповых фракций каменноугольной коксохимической смолы // *Вестник Кузбасского государственного технического университета*. 2010. № 5. С. 135-139.
- A solvent based separation method for phenolic compounds from low-temperature coal tar / H. Gai, L. Qiao, C. Zhong et al. // *Journal of cleaner production*. 2019. Vol. 223. P. 1-11.
- Porous carbon nanosheets from coal tar for high-performance supercapacitors / X. He, H. Ma, J. Wang et al. // *Journal of Power Sources*. 2017. Vol. 357. P. 41-46.
- Coal tar pitch derived N-doped porous carbon nanosheets by the in-situ formed g-C₃N₄ as a template for supercapacitor electrodes / D. Wang, Y. Wang, Y. Chen et al. // *Electrochimica Acta*. 2018. Vol. 283. P. 132-140.
- Role of quinoline insoluble particles during the processing of coal tars to produce graphene materials / L.P. Fernández-García Álvarez, A.M. Pérez-Mas Blanco, R. Santamaría et al. // *Fuel*. 2017. Vol. 206. P. 99-106.
- Blümer G.P. Tar and Pitch // *Industrial Carbon and Graphite Materials. Volume I: Raw Materials. Production and Applications*. 2021. Vol. 1. P. 172-210.
- Diez M.A., Garcia R. Coal tar: a by-product in cokemaking and an essential raw material in carbochemistry // *New trends in coal conversion*. Woodhead Publishing. 2019. P. 439-487.
- Chemicals from coal coking / M. Granda, C. Blanco, P. Alvarez et al. // *Chemical Reviews*. 2014. Vol. 114. Is. 3. P. 1608-1636.
- Value-added utilization of high-temperature coal tar: A review / Z.H. Ma, X.Y. Wei, G.H. Liu et al. // *Fuel*. 2021. Vol. 292. P. 119954.
- Кисельков Д.М., Москалев И.В., Стрельников В.Н. Углеродные материалы на основе каменноугольного сырья // *Вестник Пермского федерального исследовательского центра*. 2013. № 2. С.13-22.
- Окислительное модифицирование каменноугольной смолы озоном в различных средах / С.А., Семенова, О.М. Гаврилюк, Н.И. Федорова и др. // *Химия твердого топлива*. 2012. № 6. С. 23.
- Properties and micro-morphology of primary quinoline insoluble and mesocarbon microbeads / Y. Zhu, X.F. Zhao, L.J. Gao et al. // *Journal of Materials Science*. 2016. Vol. 51. P. 8098-8107.
- ГОСТ 10200-2017. Пек каменноугольный электродный. Технические условия. Введ. 2019-03-01. М., 2018. С. 20.
- Preparation and characterization of coal-pitch-based needle coke (part III): the effects of quinoline insoluble in coal tar pitch / Y. Zhu, H. Liu, Y. Xu et al. // *Energy & Fuels*. 2020. Vol. 34. №. 7. P.8676-8684.

Original Paper

UDC 662.749.33 © A.V. Nevedrov, A.V. Papin, T.G. Cherkasova, 2023
 ISSN 0041-5790 (Print) • ISSN 2412-8333 (Online) • Ugol' – Russian Coal Journal, 2023, № S12, pp. 98-102
 DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2023-S12-98-102>

Title**CHARACTERISTICS OF PITCH PRODUCED BY ATMOSPHERIC DISTILLATION OF COAL TAR****Authors**

Nevedrov A.V.¹, Papin A.V.¹, Cherkasova T.G.¹

¹ T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, Kemerovo, 650000, Russian Federation

Authors Information

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

Cherkasova T.G., Doctor of Chemical Sciences, Professor, Director of the Institute of Chemical and Oil and Gas Technologies, e-mail: ctg.htnv@kuzstu.ru

Abstract

The article discusses the results of scientific research on the production of coal pitch by atmospheric distillation of coal tar of coke chemical production of PJSC "Coke". The qualitative characteristics of the initial coal tar (density, ash content, water content, etc.) were investigated. During the distillation of coal tar, the following fractions were isolated: light, phenolic, naphthalene, absorbent, anthracene and coal pitch. The yield of the sand fraction was 54% by weight. Analysis of the results of studies of the quality of coal pitch obtained during atmospheric distillation of resin showed that this pitch meets the requirements for electrode pitches in most indicators (according to GOST 10200-2017). To reduce the content of volatile substances in coal tar requires additional heat treatment at temperatures above 360 °C.

Keywords

Coal tar, Pitch, Carbon fiber, Atmospheric distillation, Softening temperature.

References

- Kozlov A.P., Cherkasova T.G., Frolov S.V., Subbotin S.P. & Solodov V.S. Innovative Coal-Tar Products at PAO Koks. *Coke and Chemistry*, 2020, Vol. 63, (7), pp. 344-350.
- Semenova S.A., Gavrilyuk O.M. & Patrakov Yu.F. Analysis of the component composition of group fractions of coal coke chemical resin. *Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2010, (5), pp. 135-139. (In Russ.).
- Gai H., Qiao L., Zhong C., Zhang X., Xiao M. & Song H. A solvent based separation method for phenolic compounds from low-temperature coal tar. *Journal of cleaner production*, 2019, (223), pp. 1-11.
- He X., Ma H., Wang J., Xie Y., Xiao N., Qiu J. Porous carbon nanosheets from coal tar for high-performance supercapacitors. *Journal of Power Sources*, 2017, (357), pp. 41-46.
- Wang D., Wang Y., Chen Y., Liu W., Wang H., Zhao P., Li Y., Zhang J., Dong Y., Hu S. & Yang J. Coal tar pitch derived N-doped porous carbon nanosheets

by the in-situ formed g-C₃N₄ as a template for supercapacitor electrodes. *Electrochimica Acta*, 2018, (283), pp. 132-140.

6. Fernández-García Álvarez L.P., Pérez-Mas Blanco A.M., Santamaría R., Menéndez R. & Granda M. Role of quinoline insoluble particles during the processing of coal tars to produce graphene materials. *Fuel*, 2017, (206), pp. 99-106.

7. Blümer G.P. Tar and Pitch // Industrial Carbon and Graphite Materials. Volume I: Raw Materials. *Production and Applications*, 2021, (1), pp. 172-210.

8. Diez M.A. & Garcia R. Coal tar: a by-product in cokemaking and an essential raw material in carbochemistry. *New trends in coal conversion. Woodhead Publishing*, 2019, pp. 439-487.

9. Granda M., Blanco C., Alvarez P., Patrick J.W. & Menendez R. Chemicals from coal coking. *Chemical Reviews*, 2014, Vol. 114, (3), pp. 1608-1636.

10. Ma Z.H., Wei X.Y., Liu G.H., Liu F.J. & Zong Z.M. Value-added utilization of high-temperature coal tar: A review. *Fuel*, 2021, (292), pp. 119954.

11. Kiselkov D.M., Moskalev I.V. & Strel'nikov V.N. Carbon materials based on coal raw materials. *Vestnik Permskogo federalnogo issledovatel'skogo tsentra*, 2013, (2), pp. 13-22. (In Russ.).

12. Semenova S.A., Gavrilyuk O.M., Fedorova N.I. & Ismagilov Z.R. Oxidative modification of coal tar by ozone in various media. *Khimiya Tverdogo Topliva*, 2012, (6), pp. 23. (In Russ.).

13. Zhu Y., Zhao X.F., Gao L.J., Jun L., Cheng J.X. & Lai S.Q. Properties and micro-morphology of primary quinoline insoluble and mesocarbon microbeads. *Journal of Materials Science*, 2016, (51), pp. 8098-8107.

14. GOST 10200-2017. Coal-fired electrode pitch. Technical conditions. Introduction. 2019-03-01. Moscow, 2018, pp. 20.

15. Zhu Y., Liu H., Xu Y., Hu C., Zhao C., Cheng J., Xingxing C. & Zhao X. Preparation and characterization of coal-pitch-based needle coke (part III): the effects of quinoline insoluble in coal tar pitch. *Energy & Fuels*, 2020, Vol. 34, (7), pp. 8676-8684.

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

Nevedrov A.V., Papin A.V. & Cherkasova T.G. Characteristics of pitch produced by atmospheric distillation of coal tar. *Ugol'*, 2023, (S12), pp. 98-102 (In Russ.). DOI: [10.18796/0041-5790-2023-S12-98-102](https://doi.org/10.18796/0041-5790-2023-S12-98-102).

Paper info

Received November 1, 2023

Reviewed November 15, 2023

Accepted November 30, 2023

Результаты исследований различных типов винтовых сепараторов на отходах угледобычи*

DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2023-S12-103-106>

В представленной статье идет речь о применении на отходах угледобычи гравитационных методов обогащения, а именно винтовой сепарации. Поскольку оборудование имеет различие в своей конструкции, авторы статьи приводят сравнительные данные работы двух типов аппаратов, испытания которых осуществлялось на одном и том же сырье.

Ключевые слова: угольные шламы, обогащение угольных шламов, режимные параметры, гранулометрический анализ, винтовая сепарация.

Для цитирования: Прокопьев Е.С., Прокопьев С.А., Алексеева О.Л. Результаты исследований различных типов винтовых сепараторов на отходах угледобычи // Уголь. 2023. № 512. С. 103-106. DOI: 10.18796/0041-5790-2023-12-103-106.

ВВЕДЕНИЕ

Гравитационные методы обогащения занимают ведущее место среди других методов в практике переработки добытого угля и накопленных углесодержащих шламовых отходов. Для данного метода обогащения контрастным разделительным параметром является плотность минералов, составляющих породу. Высокая производительность гравитационных машин позволяет упрощать схему цепи аппаратов фабрик, более экономично использовать производственные площади и объемы зданий, в результате чего снижаются удельные капитальные затраты на строительство обогатительных фабрик, уменьшается число обслуживающего персонала, снижается себестоимость переработки [1, 2, 3, 4, 5].

Винтовые сепараторы являются популярным гравитационным оборудованием в области обогащения угольных шламов. Закономерность и преимущества применения винтовых сепараторов базируются на низких эксплуатационных затратах при достаточно высокой эффективности разделения исходного угля на фракции различных плотностей, особенно при выделении высокозольных тяжелых фракций. В сепараторе отсутствуют подвижные части, приемники электроэнергии, и не используются реагенты и другие расходные материалы. Процесс разделения происходит при самотеке материала по криволинейной поверхности в результате действия основных сил – грави-

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

* Работы выполнены в рамках комплексного научно-технического проекта Министерства науки и высшего образования Российской Федерации № 075-15-2022-1192 «Переработка хвостов угольных обогатительных 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.

тационной и центробежной. Основными геометрическими параметрами винтовых аппаратов являются: диаметр, форма поперечного сечения желоба, шаг, количество витков (рис. 1). От этих параметров напрямую будет зависеть процесс обогащения. Влияние указанных параметров на процесс винтовой сепарации минерального сырья установлено экспериментально и подробно проанализировано в работах [6, 7, 8]. Задача настоящего исследования заключалась в проведении сравнительного анализа двух типов аппаратов с разными геометрическими параметрами при работе на одном и том же сырье.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объектом исследований стала технологическая проба, отобранная из отходов флотации (кек) ОФ «Краснобродская-Коксовая» филиала УК «УРК» «Краснобродский угольный разрез». Определение зольности сухого топлива исходной пробы и продуктов обогащения выполнено методом ускоренного озоления (Лаборатория аналитического контроля ООО «Инженерный центр «Иркутскэнерго»).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Перед началом технологических испытаний на исходном сырье были выполнены основные подготовительные работы, которые основывались на полученных данных гранулометрического анализа. Поскольку в исходном материале в крупности более 125 мкм присутствует негорючая фаза, представленная неорганическим веществом, о чем свидетельствуют данные показателя зольности сухого топлива (зольность материала более 125 мкм составляет 66,19 %), на исходной пробе выполнена операция грохочения. Сгущение подрешетного продукта проводилось с целью вывода из обогатительного процесса тонкодисперсного материала крупностью менее 20 мкм, выход которого составляет 53,89% с показателем зольности сухого топлива 40,5%. После проведения подготовительных операций дальнейшие испытания на сырье проводились на винтовой сепарации.

Для технологических испытаний были выбраны два типа лабораторных винтовых сепараторов: минеральный винтовой сепаратор (марка СВМ-500) и шламовый (марка СВШ-500) с одинаковым диаметром. Различие оборудования заключается в профиле сечения желоба. У минерального винтового сепаратора он напоминает форму, близкую к эллипсу, желоб шламового аппарата име-

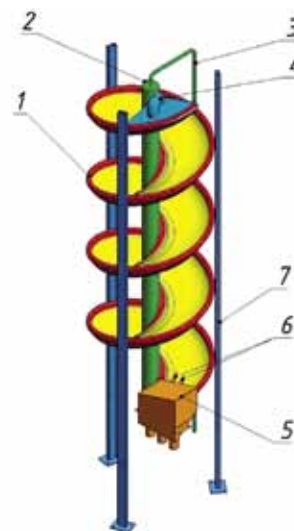


Рис. 1. Винтовой сепаратор: 1 – винтовой желоб; 2 – трубы смывной воды; 3 – трубы для подвода воды; 4 – узел загрузки; 5 – приемник продуктов обогащения; 6 – отсекатели продуктов обогащения; 7 – стойки

Fig. 1. Screw separator: 1 – screw chute; 2 – flush water pipes; 3 – pipes for water supply; 4 – loading unit; 5 – receiver of enrichment products; 6 – enrichment products cut-offs; 7 – racks

ет слабоогнутый профиль поперечного сечения. Также производительность минерального винтового сепаратора выше, чем у шламового. В конструкции лабораторных аппаратов предусмотрено посекционное разделение желоба в приемнике (приемной коробке). Посекционное разделение позволяет проследить процесс распределения минеральных частиц по всей ширине желоба. Данные, полученные в результате такого обогащения, позволяют скорректировать дальнейшие испытания, выбрать наиболее эффективный тип аппарата. Лабораторный винтовой сепаратор марки СВМ-500 разделен на пять секций, СВШ-500 – на четыре секции. В процессе опытов опробуется каждая секция для технологической оценки работы аппарата и сравнения качественных показателей продуктов обогащения (см. таблицу).

Обогащение сырья на винтовом сепараторе марки СВШ-500 протекает следующим образом: к внутреннему радиусу ВС (секции 1, 2 желоба) концентрируется материал с показателем зольности сухого топлива, равным 76,3%. В цен-

Техническая характеристика и режимные параметры винтовых сепараторов марки СВМ-500 и СВШ-500 тестового опыта

Technical specifications and operating parameters of the SVM-500 and SVSh-500 screw separators of the test experiment

| Параметры | СВМ-500 | СВШ-500 |
|--|---------------------------|---------------------------|
| Количество желобов, шт. | 1 | 1 |
| Шаг винтового желоба, мм | 350 | 350 |
| Количество витков | 3,5 | 3,5 |
| Профиль желоба | Вогнутый | Слабоогнутый |
| Расход смывной воды, м ³ /ч | 0,08 | 0,08 |
| Плотность пульпы | 30-35% твердого в питании | 30-35% твердого в питании |
| Производительность, т/ч | 0,6 | 0,350 |

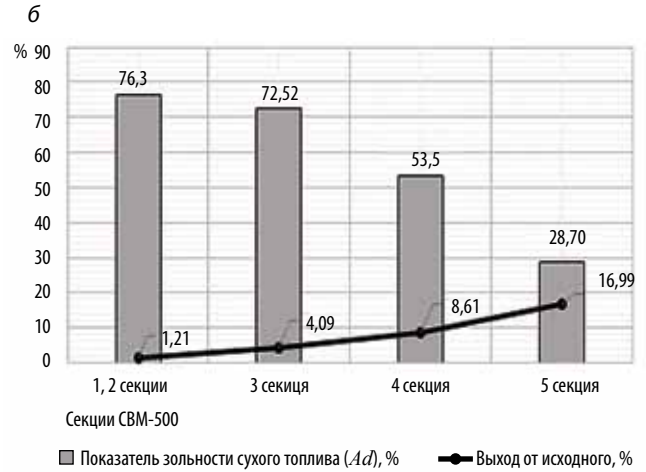
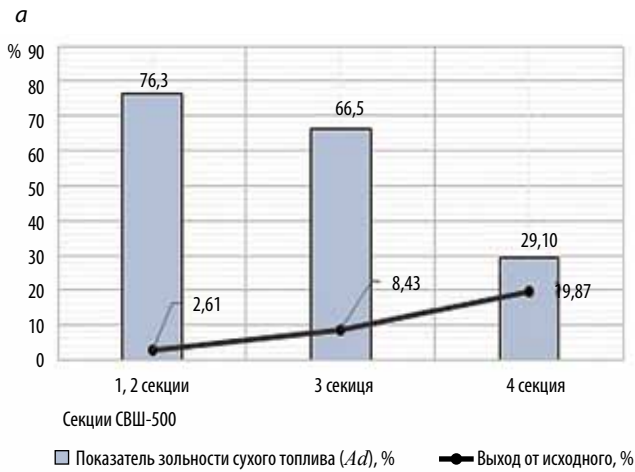


Рис. 2. График обогащения сырья на желобе винтового сепаратора марки СВШ-500 (а); график обогащения сырья на желобе винтового сепаратора марки СВМ-500 (б)

Fig. 2. Graph of raw material enrichment on the chute of a screw separator of the SVSh-500 brand (a); graph of raw material enrichment on the chute of a screw separator of the SVM-500 brand (б)

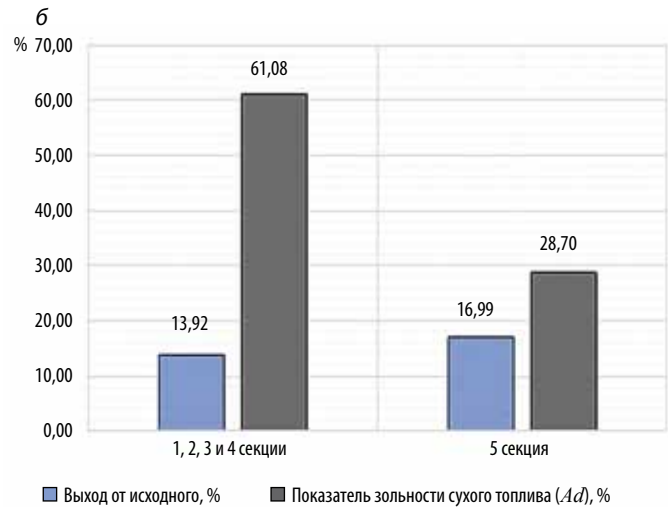
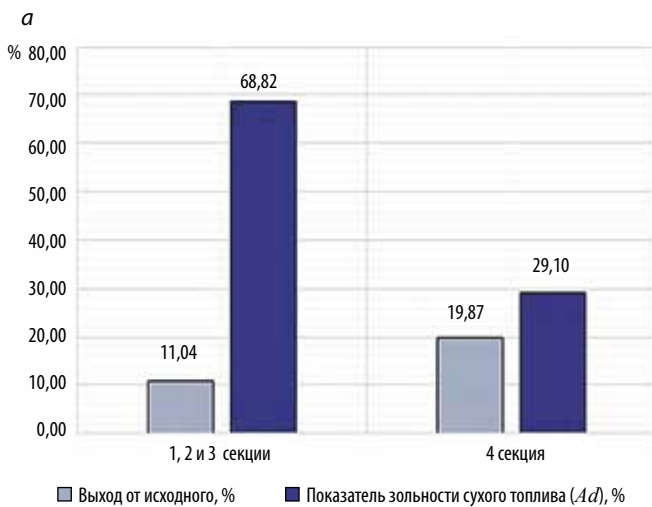


Рис. 3. Объединенные продукты обогащения тестового испытания на винтовом сепараторе марки СВШ-500 (а); объединенные продукты обогащения тестового испытания на винтовом сепараторе марки СВМ-500 (б)

Fig. 3. Combined enrichment products tested on a screw separator of the SVSh-500 brand (a); combined enrichment products tested on a screw separator of the SVM-500 brand (б)

тральной части желоба протекает обогащение материала с зольностью 66,5%. К бортовой части желоба (4-я секция) происходит вынос материала с показателем зольности 29,10% (рис. 2, а).

На винтовом сепараторе марки СВМ-500 так же, как и на СВШ-500 наблюдается снижение показателя зольности сухого топлива к периферии желоба ВС. Зольность сырья, которая сконцентрирована у внутренней части, составляет 76,3%, в секции 3 наблюдается концентрация продукта с зольностью, равной 72,52%. В центральную часть желоба (4-я секция) поступает материал с зольностью 53,50%, а у продукта бортовой части (5-я секция) зольность составляет 28,7% (рис. 2, б).

Из графиков наглядно видно, что в бортовой части желоба происходит обогащение материала с низким показателем зольности, что свидетельствует о том, что обогащение сырья на обоих аппаратах протекает успешно. Для

сравнения работы двух аппаратов расчетным путем были объединены следующие продукты: 1-й, 2 и 3-й секций аппарата СВШ-500 (см. рис. 2) и продукты 1,2,3 и 4-й секции ВС СВМ-500 (рис. 3).

Из анализа результатов (см. рис. 3) установлено, что выход объединенного продукта 1,2,3 и 4-й секции СВМ-500 составляет 13,92%, что на 2,88% выше, чем у объединенного продукта секций 1,2 и 3 СВШ-500, а разница в показателе зольности составляет 7,74%. Расхождение в продуктах бортовых частей наблюдается в выходе материала. Выход продукта 4-й секции СВШ-500 на 2,88% больше, чем выход продукта 5-й секции СВМ-500. Показатель зольности значительных различий не имеет. Сравнивая полученные данные, следует предположить, что на винтовом сепараторе марки СВШ-500 сегрегационная способность минеральных частиц породной части происходит чуть выше, чем на винтовом сепараторе марки СВМ-500.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате технологических испытаний оба винтовых аппарата достигают удовлетворительных результатов. Их сравнительный анализ показал, что обогащение сырья на винтовом сепараторе марки СВШ-500, который имеет слабовогнутое сечение желоба, протекает незначительно лучше. Это объясняется тем, что на данном сечении сегрегационная способность минеральных частиц выше, чем на желобе с вогнутым профилем.

Список литературы

1. Горнопромышленные отходы: ресурсный потенциал и технологии переработки (на примере Сибири и Урала) / И.В. Шадрунова, Е.В. Зелинская, Н.А. Волкова и др. / Современные проблемы комплексной переработки труднообогатимых руд и техногенного сырья. Материалы Международной научной конференции Плаксинские чтения. Красноярск, 2017. С. 15-21.
2. Новак В.И., Козлов В.А. Обзор современных способов обогащения угольных шламов // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2012.
3. Белоусов В.А. Перспективные методы обогащения угольных шламов // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2014. № 4. С. 15-17.
4. Сокур А.К. Обзор гравитационных технологий обогащения угольных шламов нефлотационной крупности // Збагачення корисних копалин. Наук.-техн. зб. 2012. Вып. 51(92).
5. Прокопьев С.А. Обзор гравитационных технологий обогащения угольных шламов // Науки о Земле и недропользование. 2022. Т. 45. № 4. С. 458-468.
6. Иванов В.Д., Прокопьев С.А. Винтовые аппараты для обогащения руд и песков в России. Монография. М.: Дакси, 2000. С. 239-241.
7. Аникин М.Ф., Иванов В.Д., Певзнер М.Л. Винтовые аппараты для обогащения руд. Монография. М.: Недра, 1970. С. 170-172.
8. Яшин А.В., Аникин М.Ф., Скрипко В.А. Сепараторщик винтовых аппаратов. Монография. М.: Недра, 1984. С. 102-103.

Original Paper

UDC 552.574 © E.S. Prokopyev, S.A. Prokopyev, O.L. Alekseeva, 2023
 ISSN 0041-5790 (Print) • ISSN 2412-8333 (Online) • Ugol' – Russian Coal Journal, 2023, № S12, pp. 103-106
 DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2023-S12-103-106>

Title

RESEARCH RESULTS OF DIFFERENT TYPES OF SCREW SEPARATORS FOR COAL MINING WASTE

Authors

Prokopyev E.S.^{1,2}, Prokopyev S.A.^{1,2}, Alekseeva O.L.^{1,2}

¹ Institute of the Earth's Crust of SB RAS, Irkutsk, 664033, Russian Federation

² LLC Research and Production Company Spirit, Irkutsk, 664033, Russian Federation

Authors Information

Prokopyev E.S., Junior Researcher of the Department of Integrated Use of Mineral Raw Materials, Director for Technology and Innovation, e-mail: pes@spirit-irk.ru

Prokopyev S.A., PhD (Engineering), Head of the Department of Integrated Use of Mineral Raw Materials, Chief Executive Officer, e-mail: 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

Abstract

The presented article discusses the use of gravitational enrichment methods for coal mining waste, namely screw separation. Since the equipment has a difference in its design, the authors of the article provide comparative data on the operation of two types of devices, the testing of which was carried out on the same raw materials.

Keywords

Coal sludge, Enrichment of coal sludge, Operating parameters, Granulometric analysis, Screw separation.

References

1. Shadrunova I.V., Zelinskaya E.V., Volkova N.A. et al. Mining wastes: resource potential and processing technologies (using Siberia and the Urals as an example. Current challenges in complex processing of hard-to-process ores and man-made raw materials. Proceedings of the 'Plaksin Readings' International Scientific Conference. Krasnoyarsk, 2017, pp. 15-21. (In Russ.).
2. Novak V.I. & Kozlov V.A. An overview of modern methods of coal sludge preparation. *Gornyy informatsionno-analiticheskij byulleten'*, 2012.
3. Belousov V.A. Promising methods of coal sludge processing. *Mezhdunarodnyy zhurnal prikladnykh i fundamental'nykh issledovaniy*, 2014, (4), pp. 15-17. (In Russ.).

4. Sokur A.K. An overview of gravity methods for concentration of coal sludges of non-flotation size. *Obogashchenie poleznykh iskopayemykh*, 2012, 51(92). (In Russ.).

5. Prokopyev S.A. Overview of coal sludge gravity concentration technologies. *Nauki o Zemle i nedropol'zovanie*, 2022, Vol. 45, (4), pp. 458-468. (In Russ.).

6. Ivanov V.D. & Prokopyev S.A. Screw machines for ore and sand processing in Russia. Monograph. Moscow, Daxi Publ., 2000, pp. 239-241. (In Russ.).

7. Anikin M.F., Ivanov V.D. & Pevzner M.L. Screw machines for ore processing. Monograph. Moscow, Nedra Publ., 1970, pp. 170-172. (In Russ.).

8. Yashin A.V., Anikin M.F. & Skripko V.A. Separator of screw machines. Monograph. Moscow, Nedra Publ., 1984, pp. 102-103. (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

Prokopyev E.S., Prokopyev S.A. & Alekseeva O.L. Research results of different types of screw separators for coal mining waste. *Ugol'*, 2023, (S12), pp. 103-106. (In Russ.). DOI: [10.18796/0041-5790-2023-S12-103-106](https://doi.org/10.18796/0041-5790-2023-S12-103-106).

Paper info

Received November 1, 2023

Reviewed November 15, 2023

Accepted November 30, 2023

COAL PREPARATION

УДК 552.574 © О.Л. Алексеева, 2023

Влияние производительности винтового сепаратора при обогащении угольных шламов*

DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2023-S12-107-110>

В представленной статье идет речь о влиянии одного из режимных параметров винтового сепаратора при обогащении угольных шламов. Автор своими результатами показывает, как протекает процесс обогащения тонкодисперсного угольного шлама по сечению рабочей части аппарата в зависимости от его производительности при одинаковом показателе плотности питания и ширине сечения желоба аппарата.

Ключевые слова: угольные шламы, обогащение угольных шламов, режимные параметры, гранулометрический анализ, винтовая сепарация.

Для цитирования: Алексеева О.Л. Влияние производительности винтового сепаратора при обогащении угольных шламов // Уголь. 2023. № S12. С. 107-110. DOI: 10.18796/0041-5790-2023-S12-107-110.

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

ВВЕДЕНИЕ

Проблема обогащения отходов угледобычи актуальна в связи с увеличением содержания тонких классов в добываемых углях и, следовательно, в угольных шламах [1, 2]. Основная масса угольных шламов представлена мелкодисперсными частицами крупностью менее 0,5 мм. На сегодняшний день известны только флотационные методы обогащения подобного сырья, которые, к сожалению, не отвечают экологическим требованиям из-за использования различных реагентов [3, 4, 5]. Наиболее экологичными методами обогащения являются гравитационные, но большинство из них применимы только к обогащению крупнозернистого сырья [6, 7, 8, 9]. Исключением может быть только один метод – винтовая сепарация. Как правило, она используется для обогащения материала крупностью от 0,15-1(2) мм, но обзор современных отечественных технологий показал, что обогащение угольных шламов крупностью менее 0,5 мм на винтовом сепараторе протекает удовлет-

* Работы выполнены в рамках комплексного научно-технического проекта Министерства науки и высшего образования Российской Федерации № 075-15-2022-1192 «Переработка хвостов угольных обогатительных 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.

ворительно [10, 11, 12]. Поэтому задача данного исследования заключалась в изучение влияния производительности винтового сепаратора при обогащении угольных шламов крупностью менее 0,5 мм.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объектом исследований стала технологическая проба, отобранная из отходов флотации (кек) ОФ «Краснобродская-Коксовая» филиала УК «УРК «Краснобродский угольный разрез». Определение зольности сухого топлива исходной пробы и продуктов обогащения выполнено методом ускоренного озоления (Лаборатория аналитического контроля ООО «Инженерный центр «Иркутскэнерго»). Обогащение угольных шламов осуществлялось при помощи лабораторного винтового сепаратора марки СВШ-500.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Исследуемое сырье на 53,89% представлено крупностью менее 20 мкм с показателем зольности сухого топлива в нем равным 53,89%, а в материале более 125 мм, выход которого составляет 10,25%, показатели зольности сухого топлива варьируются от 57 до 81%. Из анализа полученных данных установлено, что присутствие такого большого количества тонкодисперсного шлама повлияет на вязкость пульпы и сегрегационные способности более крупных зерен, поэтому данный материал необходимо будет вывести из обогатительного процесса. Высокий показатель зольности в материале более 0,125 мм свидетельствует о том, что в данном сырье присутствует большое количество минералов и минеральных агрегатов, поэтому вводить его в процесс обогащения нецелесообразно. Практический интерес по всем своим показателям представляет материал, находящийся в диапазоне крупности от 0,125 мм до 20 мкм. Данные, полученные в ходе изучения гранулометрического состава, позволили определить продуктивный класс крупности и уточнить предварительные операции подготовки исходного сырья к обогащению.

Опираясь на полученные результаты перед началом технологических испытаний на исходном сырье, были выполнены основные подготовительные работы: грохочение, сгущение. После проведения подготовительных операций дальнейшие испытания на сырье проводились на винтовом сепараторе марки СВШ-500. Данный тип аппарата является лабораторным. В его конструкцию входит один желоб с диаметром 500 мм, который имеет слабовогнутый профиль сечения, шаг винтового сепаратора 350

мм – 3,5 витка. Дополнительно аппарат оснащен смывной водой. В конструкции приемной коробки предусмотрены три секции (первая секция – зона концентрата, вторая – промпродуктовая зона, третья – зона концентрации хвостов).

В ходе испытаний было проведено три тестовых опыта со следующими режимными параметрами:

- опыт № 1: плотность пульпы – 35%, расход смывной воды – 0,08 м³/ч, производительность – 0,25 т/ч;
- опыт № 2: плотность пульпы – 35%, расход смывной воды – 0,08 м³/ч, производительность – 0,30 т/ч;
- опыт № 3: плотность пульпы – 35%, расход смывной воды – 0,08 м³/ч, производительность – 0,35 т/ч;

В процессе проведения опытов были опробованы каждые секции с целью оценки работы аппарата.

В ходе выполнения работ было установлено, что при увеличении производительности аппарата наблюдается сдвиг потока пульпы к бортовой части желоба, соответственно, из-за этого происходят изменения в выходах продуктов секций (см. таблицу). Также с увеличением производительности возрастает и показатель зольности сухого топлива в третьей секции ВС, в которой как раз происходит концентрация угольного продукта. Поскольку легкие, тонкие зерна и так имеют большую скорость перемещения по потоку, они еще и смещаются под влиянием большей центробежной силы и поперечной циркуляции к внешнему краю потока в отличие от более крупных зерен, поэтому вместе с углем в угольный продукт происходит снос породных частиц (см. рисунок), тем самым увеличивается показатель зольности. Поскольку угольные шламы в большей своей части как раз представлены углисто-илистым материалом, состоящим из слоистых силикатов – каолинита и гидрослюдистых глин [3, 4, 5], то проводить процесс обогащения угольных шламов следует в ламинарном потоке, который может быть достигнут только при низких показателях производительности аппарата.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, было установлено, что удовлетворительная сегрегационная способность материала (угольных шламов), который в основной своей массе представлен крупностью менее 0,5 мм и на 10-50% и более состоит из глинистых веществ, достигается при ламинарном потоке пульпы, то есть когда производительность аппарата невысокая. Также полученные данные подтверждают, что обогащение столь труднообогатимого сырья возможно с помощью винтовой сепарации, если соблюдать

Технологические показатели тестовых опытов

Technological indicators of test experiments

| № секции ВС | Выход, % | | | Зольность сухого топлива (A ^d), % | | |
|--------------|---------------|---------------|---------------|---|--------------|--------------|
| | Опыт № 1 | Опыт № 2 | Опыт № 3 | Опыт № 1 | Опыт № 2 | Опыт № 3 |
| 1-я секция | 8,44 | 6,25 | 5,02 | 86,5 | 88,12 | 88,56 |
| 2-я секция | 27,26 | 25,86 | 25,96 | 76,23 | 75,41 | 76,01 |
| 3-я секция | 64,30 | 67,89 | 69,02 | 23,64 | 26,91 | 27,68 |
| Итого | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 43,28 | 43,28 | 43,28 |

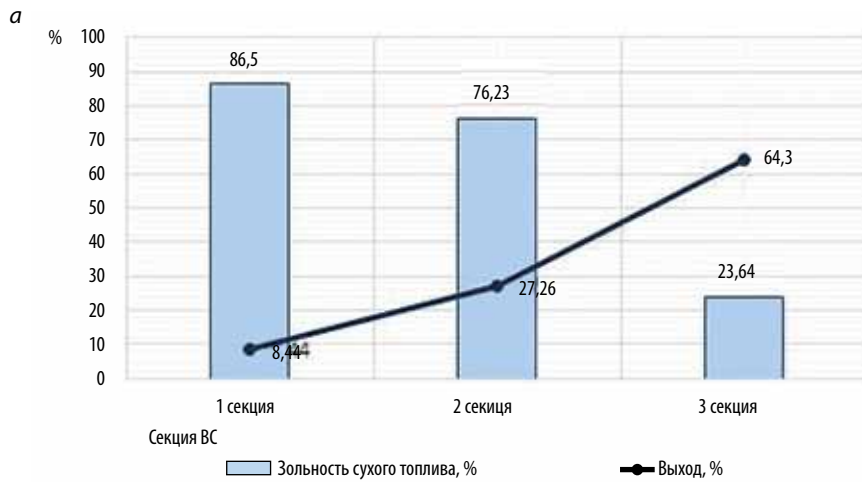
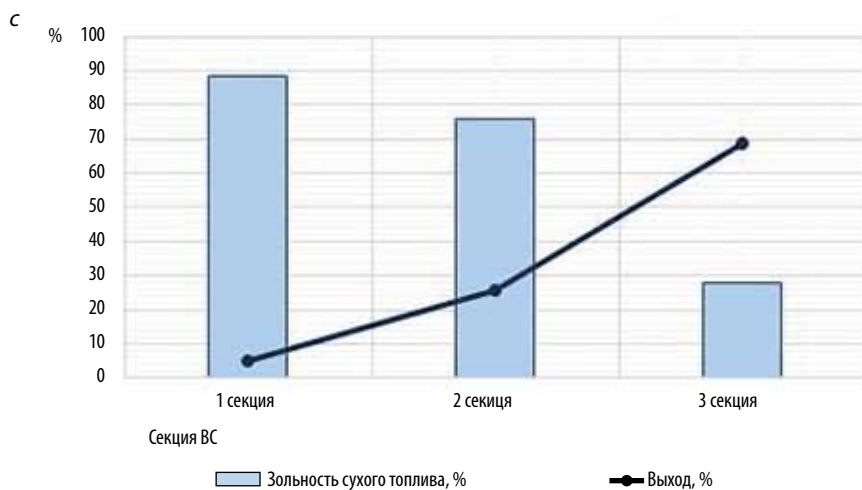


График зависимости показателя зольности продуктов обогащения от производительности аппарата:
 а – график тестового опыта № 1, производительность – 0,25 кг/ч;
 б – график тестового опыта № 2, производительность – 0,30 кг/ч;
 в – график тестового опыта № 3, производительность – 0,35 кг/ч

Graph of the dependence of the ash content of enrichment products on the productivity of the apparatus:
 a – graph of test experiment No. 1, productivity – 0,25 kg/h;
 b – graph of test experiment No. 2, productivity – 0,30 kg/h;
 c – graph of test experiment No. 3, productivity – 0,35 kg/h



приемлемые режимные параметры аппарата. А поскольку винтовая сепарация является одним из экологически чистых методов обогащения, ее внедрение позволит решить вопрос не только ресурсосбережения, но и защиты окружающей среды.

Список литературы

1. Горнопромышленные отходы: ресурсный потенциал и технологии переработки (на примере Сибири и Урала) / И.В. Шадрунова, Е.В. Зелинская, Н.А. Волкова и др. / Современные проблемы комплексной переработки труднообогатимых руд и техноген-

ного сырья. Материалы Международной научной конференции Плаксинские чтения. Красноярск. 2017. С. 15-21.
 2. Козлов В.А., Новак В.И. Оптимизация работы углеобогащательной фабрики с целью получения максимального выхода концентрата // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2019. С. 175-186.
 3. Behera B., Sahu H.B. Coal mine waste characterization and defluoridation property // Heliyon. 2023. No 9. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e13244>.
 4. Kopyayeva A.N., Portnov S., Kim S.P. Tectonic factors of impurity elements accumulation at the Shubarkol coal deposit (Kazakhstan). January. 2020. DOI: 10.33271/nvngu/2021-5/011.

5. 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. October. 2020. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-3-030-60839-2-29>.
6. Новак В.И., Козлов В.А. Обзор современных способов обогащения угольных шламов // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2012.
7. Белоусов В.А. Перспективные методы обогащения угольных шламов // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2014. № 4. С. 15-17.
8. Сокур А.К. Обзор гравитационных технологий обогащения угольных шламов нефлотационной крупности // Забагачения корисних копалин. Наук.-техн. зб. 2012. Вып. 51(92).
9. Прокопьев С.А. Обзор гравитационных технологий обогащения угольных шламов // Науки о Земле и недропользование. 2022. Т. 45. № 4. С. 458-468.
10. Прокопьев Е.С., Алексеева О.Л. Оценка возможности вовлечения в переработку углеродсодержащих отходов шламохранилища Западносибирского металлургического комбината // Науки о Земле и недропользование. 2022. Т. 45. № 4. С. 446-457.
11. 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.
12. 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.

Original Paper

UDC 552.574 © O.L. Alekseeva, 2023
 ISSN 0041-5790 (Print) • ISSN 2412-8333 (Online) • Ugol' – Russian Coal Journal, 2023, № S12, pp. 107-110
 DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2023-S12-107-110>

Title
INFLUENCE OF productivity OF SCREW SEPARATOR WHEN ENRICHING COAL SLUDGES

Author
 Alekseeva O.L.^{1,2}

¹ Institute of the Earth's Crust of SB RAS, Irkutsk, 664033, Russian Federation
² LLC Research and Production Company Spirit, Irkutsk, 664033, Russian Federation

Authors information
Alekseeva O.L., Leading Engineer of the Department for Integrated Use of Mineral Raw Materials, Director of Economics and Finance

Abstract
 The presented article deals with the influence of one of the operating parameters of a screw separator during the enrichment of coal sludge. The author shows with her results how the process of enrichment of finely dispersed coal slurry proceeds along the cross-section of the working part of the apparatus, depending on its productivity with the same feed density and the cross-sectional width of the apparatus trough.

Keywords
 Coal sludge, Enrichment of coal sludge, Operating parameters, Granulometric analysis, Screw separation.

References

1. Shadrunova I.V., Zelinskaya E.V., Volkova N.A. et al. Mining wastes: resource potential and processing technologies (using Siberia and the Urals as an example). Current challenges in complex processing of hard-to-process ores and man-made raw materials. Proceedings of the 'Plaksin Readings' International Scientific Conference. Krasnoyarsk, 2017, pp. 15-21. (In Russ.).
2. Kozlov V.A. & Novak V.I. Optimization of coal preparation plant operation to maximize concentrate yield. *Gornyy informatsionno-analiticheskij byulleten'*, 2019, pp. 175-186. (In Russ.).
3. Behera B. & Sahu H.B. Coal mine waste characterization and defluoridation property. *Heliyon*, 2023, 9. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e13244>.
4. Kopobayeva A.N., Portnov S. & Kim S.P. Tectonic factors of impurity elements accumulation at the Shubarkol coal deposit (Kazakhstan), January, 2020. DOI: 10.33271/nvngu/2021-5/011.
5. 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, October, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-3-030-60839-2-29>.
6. Novak V.I. & Kozlov V.A. An overview of modern methods of coal sludge preparation. *Gornyy informatsionno-analiticheskij byulleten'*, 2012. (In Russ.).
7. Belousov V.A. Promising methods of coal sludge processing. *Mezhdunarodnyy zhurnal prikladnykh i fundamental'nykh issledovaniy*, 2014, (4), pp. 15-17. (In Russ.).

8. Sokur A.K. An overview of gravity methods for concentration of coal sludges of non-flotation size. *Obogashchenie poleznykh iskopaemykh*, 2012, Issue 51. (In Russ.).
9. Prokopyev S.A. Overview of coal sludge gravity concentration technologies. *Nauki o Zemle i nedropol'zovanie*, 2022, Vol. 45, (4), pp. 458-468. (In Russ.).
10. 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.).
11. Soloveyenko N.P. & Bolotin N.M. Application of screw separation technology in coal sludge processing. *Nauki o Zemle i nedropol'zovanie*, 2022, Vol. 5, (4), pp. 69-480. (In Russ.).
12. 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. 36-445. (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
 Alekseeva O.L. Influence of productivity of screw separator when enriching coal sludges. *Ugol'*, 2023, (S12), pp. 107-110. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2023-S12-107-110.

Paper info
 Received November 1, 2023
 Reviewed November 15, 2023
 Accepted November 30, 2023

COAL PREPARATION

Разработка web-ориентированных приложений для управления промышленными объектами на примере механизированной шагающей крепи*

DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2023-S12-111-116>

В статье обосновывается актуальность развития единых информационно-управляющих инфраструктур, предназначенных для мониторинга и управления технологическим оборудованием. Проведен сравнительный анализ способов разработки приложений промышленной автоматизации. Рассматривается подход к управлению промышленными объектами посредством web-ориентированных приложений. Предложена структурная схема дистанционного управления промышленными объектами на основе web-сервиса. Приведено описание реализованной системы на примере управления масштабной механизированной шагающей крепью. Отмечена практическая значимость использования технологии для моделирования работы систем управления технологическими процессами горношахтного оборудования в условиях цифрового горного предприятия.

Ключевые слова: промышленная автоматизация, автоматизированная система управления, дистанционное управление, web-приложение, web-сервис, шагающая крепь, проходческие работы, электрогидравлическая система управления.

Для цитирования: Разработка web-ориентированных приложений для управления промышленными объектами на примере механизированной шагающей крепи / Д.Ю. Худоногов, М.С. Никитенко, Ю.В. Малахов и др. // Уголь. 2023. № S12. С. 111-116. DOI: 10.18796/0041-5790-2023-S12-111-116.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время угледобывающие предприятия России вовлечены в масштабный процесс автоматизации технологических процессов. Согласно Программе развития угольной отрасли [1], внедрение новой техники и технологий добычи угля должно соответствовать стратегическим трендам мирового научно-технологического и технического развития. В части подземных горных работ к приоритетным направлениям относится внедрение технологий на основе автоматизации и роботизации производственных процессов. Важнейшим направлением является развитие единых информационно-управляющих инфраструктур на основе организационно-технических подсистем многофункциональной системы безопасности (МФСБ), предназначенных для мониторинга и управления технологическим оборудованием в шахте. Закономерно, что для организации и осу-

ХУДОНОГОВ Д.Ю.

Научный сотрудник ФИЦ УУХ СО РАН,
650000, г. Кемерово, Россия
e-mail: admolv@gmail.com

НИКИТЕНКО М.С.

Канд. техн. наук,
старший научный сотрудник ФИЦ УУХ СО РАН,
650000, г. Кемерово, Россия,
e-mail: mseng@gmail.com

МАЛАХОВ Ю.В.

Канд. техн. наук,
ведущий инженер ФИЦ УУХ СО РАН,
650000, г. Кемерово, Россия,
старший научный сотрудник ИПКОН РАН,
111020, г. Москва, Россия
e-mail: yv.malakhov@mail.ru

КИЗИЛОВ С.А.

Научный сотрудник ФИЦ УУХ СО РАН,
650000, г. Кемерово, Россия
e-mail: sergkizilov@gmail.com

* Работа выполнена в рамках государственного задания ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр угля и углехимии Сибирского отделения Российской академии наук», проект FWEZ-2021-0017 «Разработка научных основ создания автономных и автоматизированных горных машин, оборудования, технических и управляющих систем на базе перспективных цифровых и роботизированных технологий» (рег. № 121121000036-1).

ществления безопасности ведения горных работ, оперативного контроля соответствия технологических и производственных процессов заданным параметрам подсистемы МФСБ и системы управления оборудованием должны быть обеспечены надежным и эффективным каналом передачи данных.

В промышленных условиях для дистанционного управления горношахтным оборудованием наибольшее распространение имеют проводные телекоммуникационные технологии, где в системах АСУ и АСУТП объект автоматизации управляется программируемым логическим контроллером (ПЛК), который обеспечивает выполнение заданных действий технологического процесса и сбор контрольных данных текущих состояний [2, 3]. При этом аппаратная архитектура ПЛК, как правило, включает в свой состав процессор с операционной системой реального времени, программируемую логическую интегральную схему (ПЛИС), каналы цифрового и аналогового ввода/вывода, при помощи которых осуществляются управление и обратная связь с объектом автоматизации.

Телекоммуникационный обмен данными между ПЛК и объектом автоматизации, как правило, осуществляется такими промышленными протоколами, как: Modbus; FieldBus; ProfiBus; EtherCat; PLC5; CLX, RS-232/485, что обуславливает применение различных стандартов и средств разработки для каждого отдельного инженерного решения промышленной автоматизации. Управление объектом автоматизации обеспечивается при помощи пультов управления, которые подключаются к объектам автоматизации проводным (кабельным) соединением, на базе которого и организуется система управления. Такие решения проверены многолетней инженерной практикой и поддерживаются производителями.

Однако, с учетом требований к обеспечению безопасности персонала, тенденции развития современных цифровых технологий, стремления к организационному переходу производств к уровню Индустрии 4.0, проводные системы дистанционного управления показывают все меньшую эффективность, в особенности когда:

- работа объекта автоматизации реализуется в опасных средах (для шахт – опасных по газу и пыли);
- в технологическом процессе разделена ионосфера и гомосфера;
- масштаб производств характеризуется значительными расстояниями до объекта автоматизации.

Обусловлено это ограниченной пропускной способностью проводной передачи информации на центральный пульт контроля технологических процессов, что является неотъемлемой частью в работе промышленных АСУ и АСУТП [4], в особенности при реализации комплексных управляющих платформ [5]. Таким образом, разработка и внедрение систем дистанционного управления технологическими процессами и оборудованием на базе беспроводных сетей становятся все более востребованными и актуальными, особенно в условиях опасных производственных сред.

Применение беспроводных протоколов связи 802.11b и 802.11g [6] в промышленной автоматизации позволило обеспечить управление без использования проводных

технологий [7, 8]. Схема построения на основе ЭВМ сетевых измерительных комплексов и систем для территориально удаленных пользователей и пользователей одного сегмента сети успешно реализовывалась, в частности, для проведения научных и учебных экспериментов [9]. Впоследствии наиболее преимущественной для разработки приложений беспроводного дистанционного управления выступила web-технология – реализация web-приложений в стандарте HTML5 [10, 11, 12] с поддержкой разработки приложений на AJAX [13, 14]. Разработанные на основе таких стандартов приложения функционируют в web-браузере и не требуют установки дополнительных Runtime-библиотек выполнения среды в операционной системе программного обеспечения оператора, в отличие от проектирования интерфейсов в базе толстого клиента программными средами разработки для ПЛК. Достоинства и недостатки способов разработки приложений промышленной автоматизации представлены в *таблице*.

Однако такой подход требует наличия дополнительных аппаратно-программных компонентов или решений для обмена данными с объектом автоматизации на уровне взаимодействия с исполнительными устройствами. Таким образом, в web-архитектуре промышленной автоматизации управление исполнительными устройствами и обмен данными с ними обеспечиваются web-сервисами.

ОСНОВНОЙ РАЗДЕЛ

Управление промышленными объектами на основе web-сервиса представляет собой совокупность клиент/серверных приложений, обеспечивающих прием и обработку GET/POST запросов web-интерфейса (панель оператора управления промышленным объектом, отображаемая в браузере мобильного устройства) по сети Internet/Intranet протоколом http на основе формата строки JSON. Обобщенная структурная схема дистанционного управления промышленными объектами на основе web-сервиса представлена на *рис. 1*.

Программное обеспечение web-сервиса и web-интерфейса интегрировано в ПЛК, таким образом, архитектура аппаратно-программного обеспечения включает в свой состав:

- web-сервер, выполняющий прием и обработку запросов, который развернут в операционной системе реального времени ПЛК (Linux RT);
- web-интерфейс панели оператора в разметке HTML5 и кодом JavaScript, функционирующий на стороне web-сервера;
- web-сервис – программный модуль обмена данными между web-интерфейсом и аппаратно-программным обеспечением ПЛК.

Структура web-сервера включает в свой состав программные модули инициализации сессии HTTP между web-интерфейсом оператора и web-сервисом, прием GET-запроса от оператора, установку MIME типа данных (текстовая строка JSON), конвертации строки JSON в формат данных для ПЛК.

Формат строки JSON включает в свой состав набор пар «КЛЮЧ: ЗНАЧЕНИЕ», где КЛЮЧ – параметр управления объектом, а ЗНАЧЕНИЕ – его номинал. Таким образом, фор-

Сравнение способов разработки приложений промышленной автоматизации

Comparison of ways to develop industrial automation applications

| Операции, выполняемые в процессе разработки, установки и эксплуатации ПО | Инсталлируемое ПО | | Web-технологии | |
|--|-------------------|---|---|------------|
| | Преимущества | Недостатки | Преимущества | Недостатки |
| Обновление | – | Процесс обновления ПО требует разработки сервиса для загрузки дополнительных обновленных компонентов либо полной замены клиентского ПО | Обновление ПО осуществляется на сервере без участия пользователя | – |
| Развертывание на промышленных ЭВМ (ПЭВМ) пользователя | – | Совместимость с ОС пользователя | Нет необходимости в инсталляции ПО для доступа к объекту автоматизации. Пользователь использует web-браузер | – |
| Интеграция в АСУТП (SCADA) | – | Требуются зарегистрированные и совместимые с ОС пользователя дополнительные программные компоненты от разработчика: библиотеки .dll; runtime; API | Процесс управления выполняется в единой web-среде | – |
| Работа приложения на ПЭВМ пользователя | – | Разработчики, как правило, включают в состав ПО дополнительно разработанные подключаемые библиотеки, которые могут быть случайно удалены с диска, перенесены в другой каталог либо идентифицированы как вирусы антивирусной программой, или блокируются брандмауэром на этапе обращения к серверу | Нет зависимости от ОС пользователя и прикладного уровня ПО в ОС ПЭВМ пользователя | – |

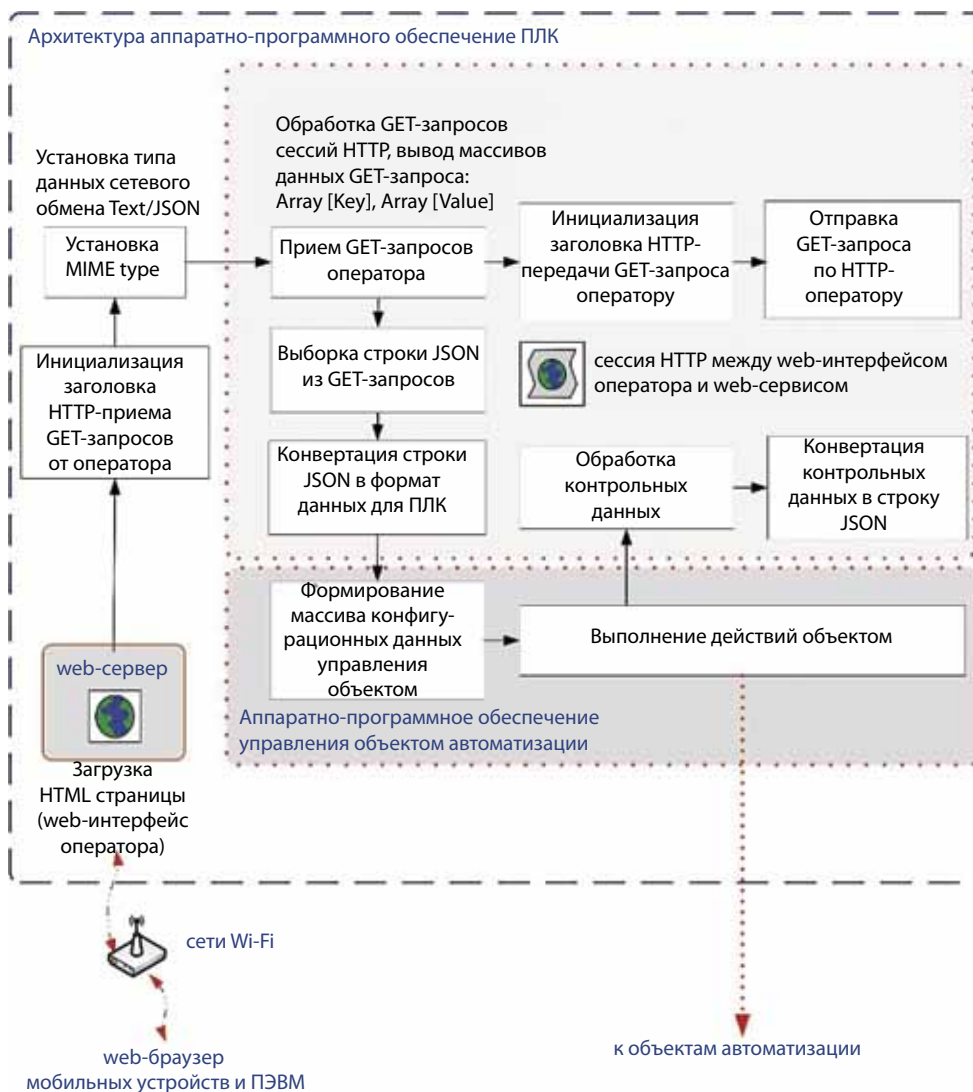


Рис. 1. Структурная схема дистанционного управления промышленными объектами на основе web-сервиса

Fig. 1. A structural schematic diagram of a web-service based system for remote management of industrial facilities

мат строки JSON должен представлять собой набор конфигурационных параметров управления объектом и его действий.

После приема и обработки запроса web-сервис формирует массив данных для передачи в аппаратное обеспечение ПЛК для управления промышленным объектом (выполнение заданных действий) и формирует массив данных контрольных состояний объекта автоматизации.

На основе массива данных контрольных состояний объекта автоматизации web-сервис формирует строку JSON и отправляет ее парой «КЛЮЧ: ЗНАЧЕНИЕ» в web-интерфейс оператора посредством GET/POST-запроса по протоколу HTTP и обеспечивает индикацию контрольных данных (состояний) в web-интерфейсе оператора.

В настоящее время в лаборатории перспективных методов управления горнотехническими системами описанная

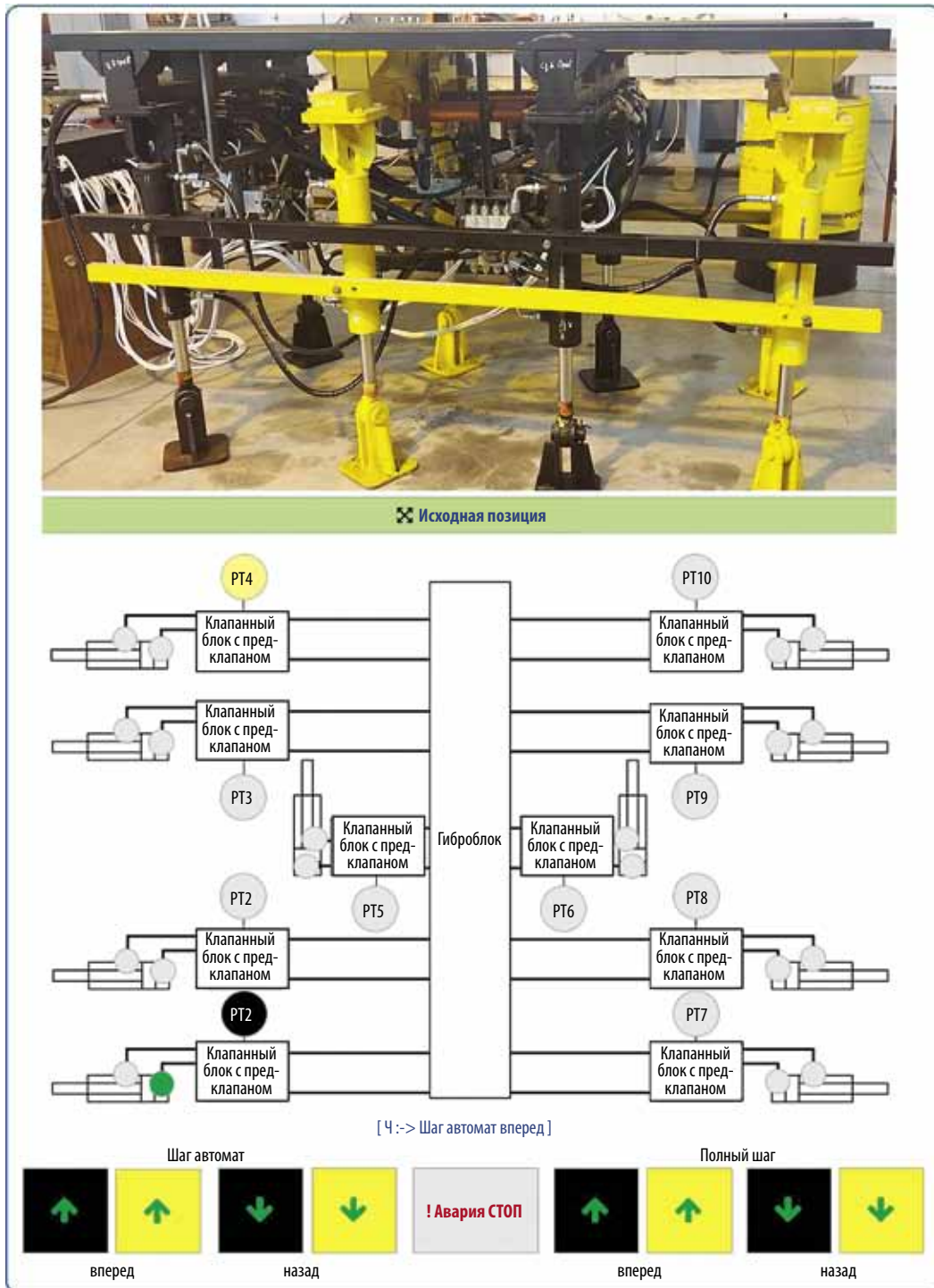


Рис. 2. Лицевая панель web-интерфейса дистанционного беспроводного пульта управления электрогидравликой механизированной шагающей крени на базе носимых мобильных устройств
 Fig. 2. Web interface front panel of the remote wireless console to control electrohydraulic system of the mechanized walking support based on portable mobile devices

технология была апробирована и реализована на примере разработки системы управления многофункциональной механизированной поддерживающе-оградительной шагающей крепи (ММШК), предназначенной в качестве временной крепи для скоростной проходки, поддержания кровли при отработке целиков короткими забоями, а также отработки крутых мощных пластов с выпуском подэтажными штреками [15, 16]. ММШК состоит из двух секций, взаимосвязанных друг с другом гидроцилиндрами передвижения. Каждая секция оборудована продольными верхняками и поперечными балками, жестко закрепленными друг к другу, которые опираются через гидростойки и опоры на почву выработки.

ММШК с гидравлическим приводом для проведения испытаний выполнена в виде масштабного (1:4) экспериментального макета и представляет собой восемь гидравлических опор, соединенных по четыре в две опорные секции, перемещаемые друг относительно друга с помощью двух гидравлических домкратов.

Разработка программного обеспечения дистанционно-го пульта управления ММШК проводилась в среде разработки web-приложений G-Web LabVIEW. Лицевая панель, представленная на *рис. 2*, отображает основные элементы интерфейса оператора управления ГШО.

Функциональные возможности дистанционного пульта управления ММШК обеспечивают управление цилиндрами секции в автоматическом режиме (шаг вперед, шаг назад), аварийную остановку и установку секции ММШК в исходную позицию.

Дополнительно в интерфейс интегрирован программный модуль передачи видеоинформации, позволяющий оператору в режиме реального времени наблюдать за ходом выполнения команд технологического цикла работы горношахтного оборудования.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработанный и апробированный способ построения систем автоматизации на базе web-сервисов может использоваться для моделирования управления технологическими процессами горношахтного оборудования в условиях цифрового горного предприятия, а также реализации различных сценариев управления технологическими процессами горно-шагающего оборудования для профессиональной подготовки специалистов.

Применение дистанционных технологий управления может способствовать развитию систем безопасного управления промышленными объектами в условиях вредных или опасных факторов производственного процесса или среды, в том числе подсистем МФСБ.

Список литературы

1. Программа развития угольной промышленности России на период до 2035 года от 13 июня 2020 г. № 1582-р.
2. 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.
3. Аппаратура управления // Нива-Холдинг. URL: <https://niva.by/catalog/oborudovanie-dlya-ochistnyh-zaboev/oborudovanie-dlya-ugolnyh-shaht/apparatura-upravleniya/> (дата обращения: 15.11.2023).
4. Ваганов В.С., Гоффарт Т.В., Дубков И.С. Мультисервисные компьютерные сети в угольных шахтах. Особенности реализации и развития // Вестник научного центра по безопасности работ в угольной промышленности. 2018. № 2. С. 56-69.
5. Рябков Н.В. Электрогидравлическая интеллектуальная система управления ZMJ. Технология меняет мир // Горная промышленность. 2023. № 2. С. 40-41.
6. Протоколы беспроводных сетей семейства 802.11 // Компьютер пресс. URL: <https://compress.ru/article.aspx?id=10805> (дата обращения: 15.11.2023)
7. First 5G intelligent coal mine built in north China // CGTN. URL: <https://news.cgtn.com/news/2020-06-21/First-5G-intelligent-coal-mine-built-in-north-China--Rvg5RF4R9K/index.html> (дата обращения: 15.11.2023).
8. Robots Help 'Smart Mines' Drive China's Coal Build-Out // Bloomberg. URL: <https://www.bloomberg.com/news/articles/2023-04-27/robots-help-smart-mines-keep-pace-with-china-s-coal-build-out> (дата обращения: 15.11.2023).
9. Сарафанов А.В., Худоногов Д.Ю. Построение сетевых измерительных комплексов научного и учебного эксперимента на основе web-технологий // Качество. Инновации. Образование. 2010. № 10 (65). С. 56-62.
10. Raj C., Sundaram M., Anand M. Automation of industrial machinery // The Scientific Temper. 2023. No 14(02). P. 500-503.
11. Муслимова Ф.Н. Повышение отказоустойчивости распределенных информационно-вычислительных комплексов правоохранительных органов // Информационные системы и технологии. 2015. № 3 (89). С. 94-98.
12. Theisen K.J. Programming languages in chemistry: a review of HTML5/JavaScript // Cheminform. 2019. No 11(1). P. 11.
13. Shoikhedbrod M. Using JavaScript in web design // BOHR International Journal of Engineering. 2023. P. 7-14.
14. Towards a digital twin for supporting multi-agency incident management in a smart city / K. Wolf, R. Dawson, J. Mills et al. // Scientific Reports. 2022. No 12. P. 16221.
15. Клишин В.И., Малахов Ю.В. Разработка и обоснование параметров многофункциональной шагающей крепи // Научное исследование технологии разработки и использования минеральных ресурсов. 2019. № 5. С. 125-131
16. Никитенко М.С., Малахов Ю.В., Никитенко С.М. Роботизированный комплекс по отработке мощных крутонаклонных пластов угля и рудных месторождений // Научное исследование технологии разработки и использования минеральных ресурсов. 2017. № 3. С. 248-251.

Original Paper

UDC 004.4+681.527.34:62-503.55+622.28.04 © D.Yu. Khudonogov, M.S. Nikitenko, Yu.V. Malakhov, S.A. Kizilov, 2023
ISSN 0041-5790 (Print) • ISSN 2412-8333 (Online) • Ugol' – Russian Coal Journal, 2023, № S12, pp. 111-116
DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2023-S12-111-116>

Title**DEVELOPMENT of WEB-ORIENTED APPLICATIONS FOR INDUSTRIAL FACILITIES CONTROL ON THE EXAMPLE OF WALKING POWERED ROOF SUPPORT****Authors**

Khudonogov D.Yu.¹, Nikitenko M.S.¹, Malakhov Yu.V.^{1,2}, Kizilov S.A.¹

¹ Federal Research Center of Coal and Coal Chemistry of Siberian Branch of the RAS, Kemerovo, 650000, Russian Federation

² Institute of Comprehensive Exploitation of Mineral Resources of Russian Academy of Sciences, Moscow, 111020, Russian Federation

Authors Information

Khudonogov D.Yu., Scientific Fellow, e-mail: admolv@gmail.com

Nikitenko M.S., PhD (Engineering), Head of Laboratory, Senior Staff Scientist, e-mail: mseng@gmail.com

Malakhov Yu.V., PhD (Engineering), Lead Engineer, Senior Staff Scientist, e-mail: yv.malakhov@mail.ru

Kizilov S.A., Scientific Fellow, e-mail: sergkizilov@gmail.com

Abstract

The article substantiates the relevance of the unified information management infrastructures development designed for technological equipment monitoring and control. Approaches to developing industrial automation applications comparative analysis is carried out. An approach to the management of industrial facilities through web-oriented applications is considered. A block diagram of industrial facilities remote control system based on a web service is proposed. The description of the implemented system is given by the example a scaled walking powered roof support control. The practical significance technology usage for modeling the process control systems operation of mining equipment in a digital mining enterprise is noted.

Keywords

Industrial automation, Automated control system, Remote control, Web application, Web service, Walking powered roof support, Road-heading, Electrohydraulic control system.

References

1. Program for the Development of the Russian Coal industry for the period up to 2035, No 1582-r, June 13, 2020. (In Russ.).
2. Dmitrieva V.V., Avkhadiev I.F. & Sizin P.E. Use advance hardware/software in multiple conveyor system automation. *Gornyy informatsionno-analyticheskij byulleten*, 2021, (2), pp. 150-163. (In Russ.).
3. Control equipment. Niva-Holding. Available at: <https://niva.by/catalog/oborudovanie-dlya-ochistnyh-zaboev/oborudovanie-dlya-ugolnyh-shaht/apparatura-upravleniya/> (accessed 15.11.2023).
4. Vaganov V.S., Goffart T.V. & Dubkov I.S. Multiservice computer networks in coal mines. Features of implementation and development. *Vestnik nauchnogo tsentra po bezopasnosti rabot v ugolnoj promyshlennosti*, 2018, (2), pp. 56-69. (In Russ.).
5. Ryabkov N.V. Electrohydraulic intelligent control system ZMJ. Technology is changing the world. *Gornaya promyshlennost*, 2023, (2), pp. 40-41. (In Russ.).
6. Protocols of wireless networks of the 802.11 family. Computer Press. Available at: <https://compress.ru/article.aspx?id=10805> (accessed 15.11.2023).
7. First 5G intelligent coal mine built in north China. CGTN. Available at: <https://news.cgtn.com/news/2020-06-21/First-5G-intelligent-coal-mine-built-in-north-China--Rvg5RF4R9K/index.html> (accessed 15.11.2023).

8. Robots Help 'Smart Mines' Drive China's Coal Build-Out. Bloomberg. Available at: <https://www.bloomberg.com/news/articles/2023-04-27/robots-help-smart-mines-keep-pace-with-china-s-coal-build-out> (accessed 15.11.2023).

9. Sarafanov A.V. & Khudonogov D.Yu. Construction of network measuring complexes of scientific and educational experiment on the basis of web-technologies. *Kachestvo. Innovatsii. Obrazovanie*, 2010, 10(65), pp. 56-62. (In Russ.).

10. Raj C., Sundaram M. & Anand M. Automation of industrial machinerie. *The Scientific Temper*, 2023, 14(02), pp. 500-503.

11. Muslimova F.N. Improving fault tolerance of distributed information and computing complexes of law enforcement agencies. *Informatsionnye systemy i tekhnologii*, 2015, 3(89), pp. 94-98. (In Russ.).

12. Theisen K.J. Programming languages in chemistry: a review of HTML5/JavaScript. *Cheminform*, 2019, 11(1), pp. 11.

13. Shoikhedbrod M. Using JavaScript in web design. *BOHR International Journal of Engineering*, 2023, pp. 7-14.

14. Wolf K., Dawson R., Mills J. et al. Towards a digital twin for supporting multi agency incident management in a smart city. *Scientific Reports*, 2022, (12), pp.16221.

15. Klishin V.I. & Malakhov Yu.V. Development and substantiation of parameters of multifunctional walking support. *Naukoemkie tekhnologii razrabotki i ispolzovaniya mineralnykh resursov*, 2019, (5), pp. 125-131. (In Russ.).

16. Nikitenko M.S., Malakhov Yu.V. & Nikitenko S.M. A robotic complex for the development of powerful steep-slope layers of coal and ore deposits. *Naukoemkie tekhnologii razrabotki i ispolzovaniya mineralnykh resursov*, 2017, (3), pp. 248-251. (In Russ.).

Acknowledgements

The work was performed within the framework of the state assignment of the Federal Research Center of Coal and Coal Chemistry of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Project FWEZ-2021-0017 'Development of scientific basis for developing autonomous and automated mining machines, equipment, technical and control systems based on advanced digital and robotic technologies' (Reg. No 121121000036-1).

For citation.

Khudonogov D.Yu., Nikitenko M.S., Malakhov Yu.V. & Kizilov S.A. Development of web-oriented applications for industrial facilities control on the example of walking powered roof support. *Ugol*, 2023, (S12), pp. 111-116. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2023-S12-111-116.

Paper info

Received November 1, 2023

Reviewed November 15, 2023

Accepted November 26, 2023

Разработка веб-приложения для мониторинга автодорог в системе цифрового управления регионом ресурсного типа*

DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2023-S12-117-123>

Цель исследования – разработка и апробация веб-приложения для мониторинга автодорог, интегрированного с системой цифрового управления Кемеровской области – Кузбасса. Использована классическая клиент-серверная архитектура. Для определения функционала и состава информации проводились переговоры с потенциальными потребителями, анализ нормативно-правовой базы. Выполнены прототипирование, верстка, тестирование приложения «Система управления мониторингом состояния региональных и муниципальных дорог». Главная страница включает аналитическую панель и реестр дорог с поиском по большому числу параметров. По каждой автодороге создана информационная карточка, содержащая общую информацию, данные по состоянию проезжей части, техническую документацию по автодороге, результаты технической диагностики, карты автодорог, трехмерные модели. Приложение дает возможность с минимальными затратами вести мониторинг и контроль автодорог, получать информацию для принятия управленческих решений (например, о проведении ремонтов).

Ключевые слова: автомобильные дороги, цифровые технологии, безопасность населения, регион ресурсного типа, программное обеспечение, состояние дорог, цифровое управление регионом, технологии принятия решений, транспортировка продукции.

Для цитирования: Рада А.О., Акулов А.О., Никитина О.И. Разработка веб-приложения для мониторинга автодорог в системе цифрового управления регионом ресурсного типа // Уголь. 2023. № S12. С. 117-123. DOI: 10.18796/0041-5790-2023-S12-117-123.

ВВЕДЕНИЕ

Для сбалансированного устойчивого развития ресурсных регионов, ярким примером которых выступает Кемеровская область – Кузбасс, чрезвычайно важно состо-

РАДА А.О.

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

АКУЛОВ А.О.

Канд. экон. наук, доцент, доцент кафедры менеджмента им. И.П. Поварича ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет», 650000, г. Кемерово, Россия, e-mail: akuanatolij@yandex.ru

НИКИТИНА О.И.

Начальник отдела аналитики Института цифры ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет», 650000, г. Кемерово, Россия, e-mail: o.nikitina@i-digit.ru

* 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 № 1144-р, номер соглашения 075-15-2022-1195 от 30.09.2022.

яние транспортной инфраструктуры, в частности автодорог. Во-первых, они значимы для обеспечения логистики самой угольной отрасли (доставка предприятиям материально-технических ресурсов, часть перевозок продукции внутри региона). Во-вторых, одним из существенных условий диверсификации ресурсных регионов является высокий уровень развития инфраструктуры, включая автодороги [1].

В Кемеровской области – Кузбассе этот фактор может считаться конкурентным преимуществом, так как в нормативном состоянии находится около 80% автодорог (в Сибирском федеральном округе РФ – около 55%, а во многих регионах ресурсного типа – не более 20-40% [2]). Обеспечение нормативного состояния автодорог предполагает мониторинг и контроль их состояния. В соответствии с действующими нормами Федеральных законов «О 127-ФЗ), «Об автомобильных дорогах и дорожной деятельности» (от 08.11.2007 № 257-ФЗ, в ред. От 04.08.2023 № 438-ФЗ), а также ряда подзаконных актов мониторинг является обязанностью лиц, содержащих автодороги. В 2022 г. установлено требование передачи данных о состоянии автодорог в федеральную государственную информационную систему контроля дорожных фондов (СКДФ).

В современных условиях процессы управления, включая мониторинг тех или иных объектов, сбор и обработку информации для поддержки принятия решений, невозможно представить без цифровых технологий. Они обладают хорошо известными преимуществами по сравнению с ручными или аналоговыми технологиями, включая высокое качество и скорость получения данных, точность, объективность, независимость от квалификации и добросовестности исполнителя, а также более низкую стоимость [3, 4, 5]. Поэтому научно-прикладная задача автоматизированного мониторинга и контроля автодорог, создания их цифровых двойников имеет существенную актуальность и практическую важность (особенно учитывая ограниченность средств органов местного самоуправления и органов исполнительной власти субъектов РФ, которые ответственны за значительную долю дорожного фонда страны).

Нельзя не отметить значительное количество бесхозных автодорог в России [6], которые, как правило, находятся в неудовлетворительном состоянии, а их ремонт не может финансироваться из бюджетных средств. Для реализации конституционных прав граждан России на свободу передвижения, содействия экономическому развитию необходимы выявление этих дорог, постановка на кадастровый учет и последующее приведение их в нормативное состояние. Однако эта работа также осложняется дефицитом ресурсов, особенно у муниципальных образований. Необходима технология, позволяющая быстро и с приемлемой стоимостью построить цифровой двойник автодороги для дальнейшей работы.

В России и в мире существуют научные разработки, технологии, программные решения для создания цифровых двойников автодорог. Разработана и апробирована для исследования дороги Тегеран – Кум технология автоматизированного расчета индекса состояния дорожного

покрытия с использованием нейронных сетей. Однако данные для расчета неровностей и деформаций собирались вручную с использованием дефлектометра [7], что, на наш взгляд, не позволяет существенно снизить стоимость работ.

Существуют технологии бесконтактного определения состояния дорожного покрытия, сделан вывод, что наиболее продуктивно комбинировать несколько методов сбора информации [8]. Однако это исследование ориентировано не на решение задач мониторинга состояния автодорог как части работ по их содержанию, а на вопросы управления беспилотным транспортом.

Обзорная статья [9] посвящена разработкам по дистанционному автоматизированному сбору информации о состоянии автодорог и использованию искусственного интеллекта в данной сфере. В ней показано, что задачи дорожного контроля могут существенно дифференцироваться, что предполагает использование разных средств сбора данных, например традиционной фотосъемки для выявления наиболее крупных дефектов или же лазерного сканирования для получения детальной картины.

Еще один обзор [10] раскрывает применение датчиков и сенсоров для сбора информации в контексте концепции «умный город», что несколько шире задачи мониторинга дорожного покрытия. Таким образом, задача автоматизированного мониторинга состояния автодорог далека от однозначного эффективного решения. Кроме того, ценность зарубежных разработок может быть нивелирована их несоответствием требованиям российских нормативных документов.

Среди российских исследований представляет интерес представленная М.Ю. Катаевым, Е.Ю. Карташовым, В.Д. Авдеенко «Методика обнаружения дефектов дорог с использованием изображений, полученных с беспилотных летательных аппаратов» [11, с. 464]. Они применяли данные фотовидеосъемки, которые затем обрабатывались путем сравнения яркости реального изображения дороги и шаблона. Идея работы состоит в том, что гистограммы красного, зеленого, синего каналов RGB-снимков дорожного покрытия с дефектами и без дефектов отличаются. При этом в отличие от фактически общепринятого в настоящее время подхода не использовались нейронные сети.

В России существует также и национальное программное обеспечение, которое дает возможность импортировать данные дорожных лабораторий, обрабатывать их, – «IndorRoad» (ООО «ИндорСофт», Томск, Россия) [12]. Эта программа позволяет в автоматизированном режиме готовить техническую документацию, редактировать ее, визуализировать изображения дорог, составлять ведомости остаточного ресурса, пропускной способности и т.п. Однако это не единственно возможная технология цифрового мониторинга автодорог. Кроме того, она работает с фото- и видеофайлами, но не дает возможность использовать данные, например лазерного сканирования.

Цель исследования – разработка и апробация веб-приложения для мониторинга автодорог Кемеровской области – Кузбасса.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Веб-приложению было дано название «Система управления мониторингом состояния региональных и муниципальных дорог», что отражает его целевую направленность и специфику использования. При разработке приложения использовалась классическая клиент-серверная архитектура, разработанная с учетом как технических задач, так и анализа нормативно-правовых требований к контролю, мониторингу автодорог, запросов со стороны будущих заказчиков и пользователей веб-приложения.

Пользователь обращается к приложению через веб-интерфейс, чей UI-kit (концепция визуализации каждого из элементов на любом этапе работы пользователя с приложением) соответствует ранее разработанному интерфейсу для «Системы управления мониторингом строительных работ на объектах, прошедших государственную экспертизу». Это исключает необходимость приспосабливаться к разным стилистикам пользовательского интерфейса при использовании продуктов, входящих в цифровую экосистему управления регионом. Интерфейс приложения «Система управления мониторингом состояния региональных и муниципальных дорог» доступен через любой из широко используемых национальных и глобальных браузеров.

Серверная часть включает два модуля. Первый – REST API сервис, который использует классический протокол http. Он обеспечивает обращение пользователя к базам данных, внешним источникам информации для загрузки и получения данных, а также для отправки материалов на внешние по отношению к приложению ресурсы. Второй модуль – это сервис хранения и обработки данных, который необходим для ресурсоемких операций.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

На первом этапе исследования были определены требования к разрабатываемому веб-приложению и его функционалу. Для решения этой задачи были проведены переговоры с представителями органов местного самоуправления, ответственных за дорожную деятельность. Было установлено, что заказчики заинтересованы в цифровых инструментах (поскольку, несмотря на официально существующие возможности, данные по дорогам хранятся в бумажном виде), позволяющих наиболее быстро, с низкими затратами выполнять требования законодательства и подзаконных актов.

Наряду с этим авторами проведен собственный анализ норм законодательства и подзаконных актов для систематизации требований к мониторингу и контролю автодорог участниками дорожной деятельности, критически изучен функционал существующих программных продуктов. В частности, авторы учитывали, что в 2022 г. появились новые нормы, регламентирующие состав и объем информации о дорожном фонде, которые должны поддерживаться веб-приложением «Система управления мониторингом состояния региональных и муниципальных дорог» (СКДФ).

В частности, «Положение о системе контроля за формированием и использованием средств дорожных фондов» (постановление Правительства РФ от 30.11.2022 № 2197, вступило в силу с 1 сентября 2023 г.) содержит перечень из

17 пунктов, отражающих состав сведений, которые должны быть размещены в СКДФ (10 из них подлежат публикации в Интернете). Разрабатываемое веб-приложение в перспективе целесообразно интегрировать с СКДФ, обеспечивать оперативную передачу необходимого объема данных.

Также были учтены функционал существующих на рынке программных продуктов, опыт их эксплуатации, выявлены несоответствия с изменяющимися нормативными требованиями, а также с запросами потенциальных пользователей. На данном этапе исследования к основным функциональным возможностям, которые должно предоставлять веб-приложение «Система управления мониторингом состояния региональных и муниципальных дорог», авторами были отнесены:

- внесение текстовой информации об автодорогах в ручном режиме с последующим отображением, выводом данных в формате таблицы или списка;
 - хранение файлов различного формата (текстовые, фото-, видео-, трехмерные модели и др.), содержащих результаты диагностики, паспортизации автодорог, их поиск по заданным параметрам фильтрации;
 - картографическая визуализация векторов автодорог, привязанных к геодезическим координатам на интерактивной карте местности;
 - формирование, отображение, преобразование цифровых двойников автодорог на основе информации, полученной в ходе диагностики и паспортизации;
 - просмотр трехмерных цифровых моделей автодорог, измерение их геометрических размеров, площадей, геодезических координат;
 - оценка состояния дорожного полотна (ровность, дефекты), обочин, кюветов, а также дорожной инфраструктуры;
 - представление аналитических данных по состоянию автодорог для поддержки принятия управленческих решений о ремонтах, дополнительных обследованиях на местности и т.п.
- Затем был проанализирован, уточнен по итогам обсуждения с потенциальными пользователями состав информации, характеризующей состояние дороги, включая (но не ограничиваясь ими) следующие важнейшие данные:
- данные о собственнике дорог, эксплуатирующей организации;
 - информация о протяженности, площади, ширине дороги, типе покрытия, технической категории;
 - сведения о местоположении, координатах участков дорог, технические данные по проезжей части и земляному полотну, пересечениям, примыканиям, об элементах инженерного обустройства дорог, объектах дорожного сервиса;
 - информация о техническом состоянии дороги, полученная путем физической диагностики (фотосъемки, видеосъемки и т.п.);
 - вектор автодороги на карте местности;
 - рельеф местности, где пролегает автодорога;
 - классность автодороги, число полос для движения;
 - информация по результатам инструментальной диагностики технического состояния автодороги, включая

графики для расчета профиля по шкале Международного индекса ровности (International roughness index, IRI), ведомости соответствия дороги техническим требованиям;

- цифровые модели автодорог в виде плотных облаков точек, фотографий, панорам.

Также в приложении содержатся технические планы и технические паспорта дорог.

Далее определялись чисто технические требования к приложению с учетом потребностей потенциальных пользователей и рационального использования имеющихся вычислительной мощности серверов, компьютерной техники. Было принято решение ограничить максимальное число пользователей 200 чел. (учитывая данные о численности государственных и муниципальных служащих Кемеровской области – Кузбасса, которые ведут соответствующую работу). Технические характеристики веб-приложения представлены в *табл. 1*.

Остановимся на возможностях веб-приложения и мерах его использования. После авторизации в программе пользователь попадает на главную страницу, содержащую дашборд (интерактивную панель с аналитическими данными), реестр и карту дорог. Пример интерфейса главной страницы сайта при обращении к веб-приложению показан на *рис. 1*.

На главной странице авторизованный пользователь может видеть аналитические данные по дорогам, внесенным в систему, просматривать реестр автодорог, искать автодороги в этом реестре по заданным параметрам, фильтровать перечень автодорог, знакомиться с информацией по выбранным дорогам. При нажатии на знак справа от названия дороги (см. *рис. 1*) отображается ее вектор на карте. При нажатии на название дороги выводится ее карточка. Содержание карточки дороги представлено в *табл. 2*.

Таблица 1

**Технические характеристики веб-приложения
«Система управления мониторингом состояния региональных и муниципальных дорог»**

Technical characteristics of the 'Condition Monitoring Management System
for Regional and Municipal Roads' Web application

| Характеристика | Значение |
|---|----------|
| Расчетное количество пользователей, чел. | 200 |
| Расчетное количество одновременно работающих пользователей при выполнении ресурсоемких операций, чел. | 10 |
| Расчетное время отклика на запрос, мс | 30 |
| Максимальное время отклика на запрос, мс | 200 |
| Расчетное количество объектов в слоях блока работы с пространственной информацией и блока ввода и вывода данных, шт. | 200 |
| Максимальное количество объектов в слоях блока работы с пространственной информацией и блока ввода и вывода данных, шт. | 400 |
| Расчетный суммарный объем информации, хранящейся в файловой системе, ТБ | 4 |
| Прогнозный прирост объема хранимой информации при масштабировании приложения, ТБ на один объект | 40 |

Таблица 2

**Содержание карточки дороги в
«Системе управления мониторингом состояния региональных и муниципальных дорог»**

Content of the 'Road' card in the Condition Monitoring Management System
for Regional and Municipal Roads

| Раздел карточки | Содержащаяся в разделе информация |
|--|---|
| 1. Общая информация | Собственник дороги, эксплуатирующая организация, нормативно-правовые документы, информация о местоположении, технические данные проезжей части, земляного полотна, пересечений, примыканий, элементы обустройства, объекты дорожного сервиса, сведения о состоянии автодороги |
| 2. Проезжая часть и земляное полотно | Детальные технические данные по поперечному профилю автодороги (характеристики обочин, полос движения, проезжей части, дорожного полотна, кромок и т.п.) |
| 3. Нормативно-правовые документы по дороге | Сведения о нормативно-правовых документах (законы, постановления, распоряжения, связанные с конкретной дорогой) |
| 4. Диагностика дороги | Графики IRI дорог, показатели продольной ровности по отрезкам дороги, расчет протяженности частей дорог, соответствующих и не соответствующих нормативным требованиям по состоянию |
| 5. Документы, связанные с дорогой | Технический паспорт, технический план в формате doc. с реквизитами |
| 6. Геометрия дороги | Карта, где содержится ряд слоев – логические участки (ребра дорожной сети, категорийные участки, участки обслуживания и т.п.), сооружения (мостовые сооружения, шумозащитные сооружения, подпорные стенки и т.п.), инженерное обустройство (дорожные знаки, ограждения, светофоры и т.п.), объекты придорожной полосы (придорожные полосы, озеленение, рекламные щиты и т.п.) и др. |
| 7. Трехмерные модели дороги | Плотные облака точек по результатам лазерного сканирования, инструменты для их обработки, собственно трехмерные модели, просмотр панорам |

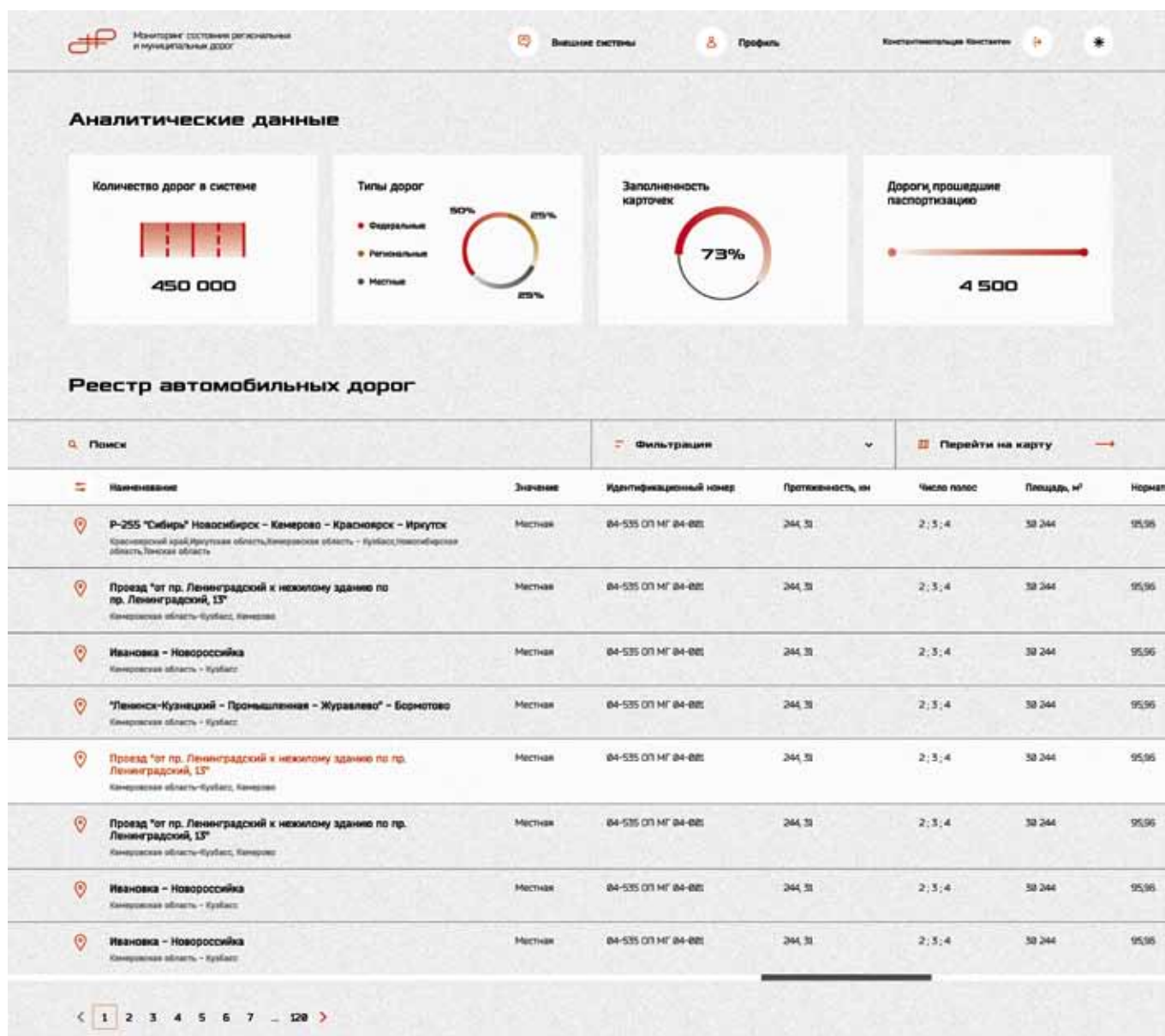


Рис. 1. Скриншот экрана главной страницы веб-приложения «Система управления мониторингом состояния региональных и муниципальных дорог»

Fig. 1. Screenshot of the main screen of the 'Condition Monitoring Management System for Regional and Municipal Roads' Web application

Разработанный функционал и содержание веб-приложения «Система управления мониторингом состояния региональных и муниципальных дорог» дают возможность пользователям получать всю необходимую информацию в онлайн-режиме для поддержки принятия управленческих решений. Например, на рис. 2 приведен пример использования данных раздела 4. «Диагностика дороги» для расчета информации о соответствии автодороги нормативным требованиям.

Как видно из приведенных данных, веб-приложение при получении данных диагностики дороги автоматически определяет как удельный вес протяженности участков, не соответствующих требованиям по ровности, так и их местоположение. Это позволяет принимать управленческие решения по планированию ремонтов и других работ быстро и с минимальными затратами.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Мониторинг и контроль автодорог в условиях ограниченности ресурсов на региональном и местном уровнях требуют широкого внедрения цифровых технологий, в частности специализированного программного обеспечения, при этом возможности использования зарубежных разработок в России ограничены отличиями нормативно-правовой базы. Кроме того, необходимо, чтобы программное обеспечение было синхронизировано с быстро меняющимися нормативно-правовыми требованиями. Авторами для разработки веб-приложения «Система управления мониторингом состояния региональных и муниципальных дорог» в Кемеровской области – Кузбассе были использованы стандартная клиент-серверная архитектура и UI-kit действующей ГИС «Кузбасс». Для определения функционала и состава информации, обрабатываемой приложением

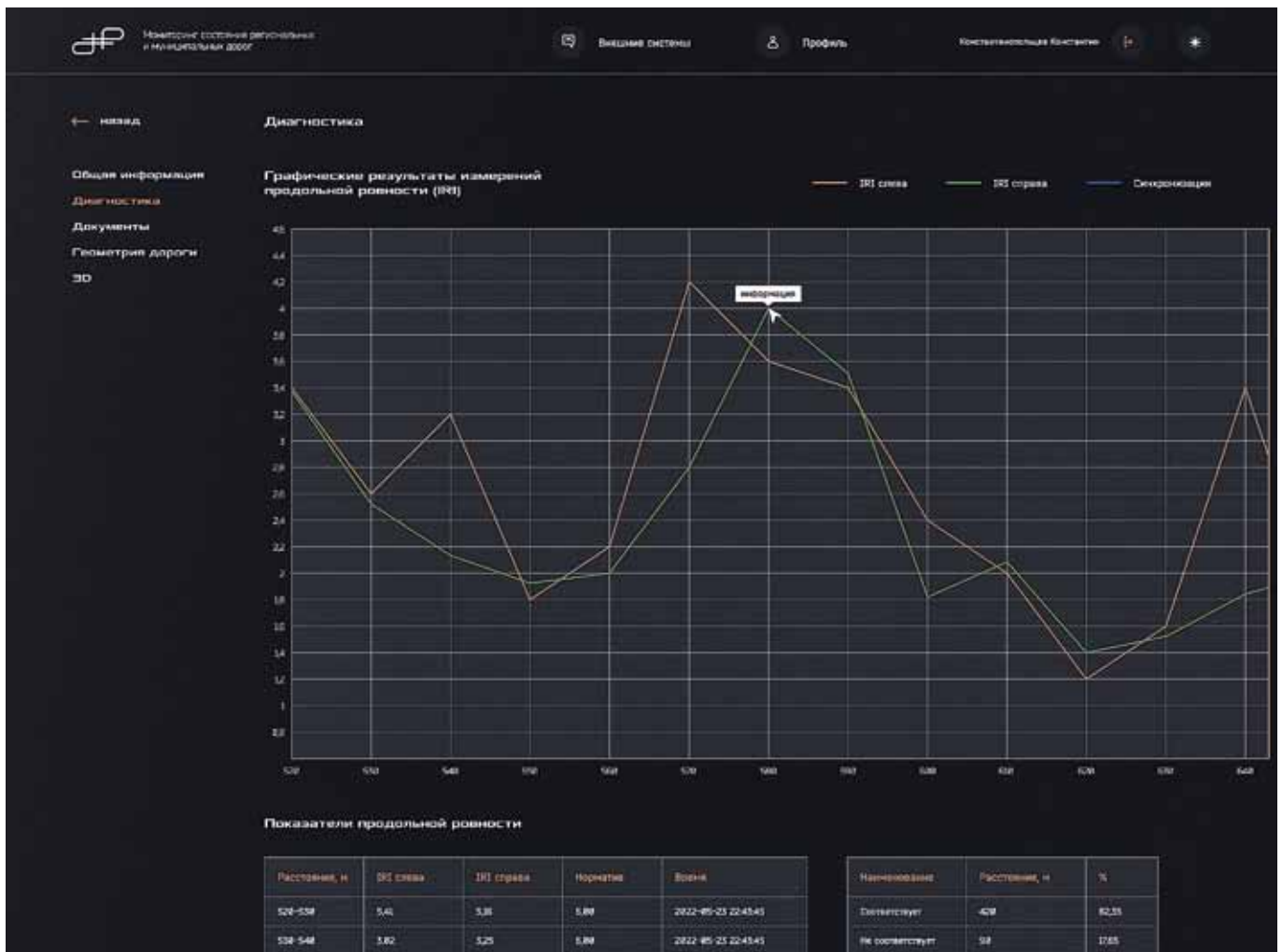


Рис. 2. Пример интерфейса веб-приложения «Система управления мониторингом состояния региональных и муниципальных дорог» при определении удельного веса и координат участков автодорог, не соответствующих нормативным требованиям
 Fig. 2. An example of the graphical user interface of the 'Condition Monitoring Management System for Regional and Municipal Roads' Web application for determining the specific weight and coordinates of road sections that fail to meet the regulatory requirements

ем, проводились фокус-группы со специалистами, обсуждения с потенциальными пользователями, а также анализировались требования законодательства и подзаконных норм России в сфере дорожной деятельности.

Были выполнены прототипирование, верстка и тестирование приложения. В разработанном приложении на главной странице представлены дашборд и реестр учтенных дорог. Реализован поиск в реестре с фильтрацией по большому числу параметров. Пользователю доступны карточки дорог, по каждой из которых содержится необходимая информация в соответствии с существующими нормативными требованиями, включая общую информацию, состояние проезжей части, техническую документацию по дороге, результаты технической диагностики (например, графики IRI), карты автодорог с большим числом слоев, а также трехмерные модели. Его использование позволяет в автоматическом режиме, с минимальными затратами вести мониторинг, контроль дорог, получать всю необходимую информацию для поддержки принятия управленческих решений.

Список литературы

1. Percoco M. Highways, local economic structure and urban development // Journal of Economic Geography. 2016. Vol. 16. No 5. P. 1035-1054. DOI: 10.1093/jeg/lbv031.
2. Транспортно-эксплуатационное состояние автомобильных дорог общего пользования федерального значения. URL: <https://rosavtodor.gov.ru/opendata/7717509757-tesad/view> (дата обращения: 15.11.2023).
3. Koteleva N., Khokhlov S., Frenkel I. Digitalization in open-pit mining: a new approach in monitoring and control of rock fragmentation // Applied Sciences. 2021. Vol. 11. No 22. Article ID 10848. DOI: 10.3390/app112210848.
4. Jabir B., Rabhi L., Falih N. RNN- and CNN-based weed detection for crop improvement: an overview // Foods and Raw Materials. 2021. Vol. 9. Is. 2. P. 387-396. DOI: 10.21603/2308-4057-2021-2-387-396.
5. Enabling the twin transitions: digital technologies support environmental sustainability through lean principles / X. Chen, M. Kurdve, B. Johansson et al. // Sustainable Production and Consumption. 2023. Vol. 38. P. 13-27. DOI: 10.1016/j.spc.2023.03.020.
6. Моляренко О.А. Бесхозные автомобильные дороги в России // ЭКО. 2017. № 4. С. 88-109.

7. Intelligent road inspection with advanced machine learning; hybrid prediction models for smart mobility and transportation maintenance systems / N. Karballaezadeh, F. Zaremotekhas, S. Shamshirband et al. // *Energies*. 2020. Vol. 13. No 7. Article ID 1718. DOI: 10.3390/en13071718.
8. Current non-contact road surface condition detection schemes and technical challenges / Y. Ma, M. Wang, Q. Feng et al. // *Sensors*. 2022. Vol. 22. No 24. Article ID 9583. DOI: 10.3390/s22249583.
9. Ranyal E., Sadhu A., Jain K. Road condition monitoring using smart sensing and artificial intelligence: a review // *Sensors*. 2022. Vol. 22. No 8. Article ID 3044. DOI: 10.3390/s22083044.
10. Micko K., Papcun P., Zolotova I. Review of IoT sensor systems used for monitoring the road infrastructure // *Sensors*. 2023. Vol. 23. No 9. Article ID 4469. DOI: 10.3390/s23094469.
11. Катаев М.Ю., Карташов Е.Ю., Авдеенко В.Д. Методика обнаружения дефектов дорог с использованием изображений, полученных с беспилотных летательных аппаратов // *Компьютерная оптика*. 2023. Т. 47. № 3. С. 464–473. DOI: 10.18287/2412-6179-CO-1209.
12. Indor Road. Эксплуатация автомобильных дорог. URL: <https://www.indorsoft.ru/products/road/> (дата обращения: 15.11.2023).

Original paper

UDC 004.02:355.811.111.3(332.122+338.45) © A.O. Rada, A.O. Akulov, O.I. Nikitina
 ISSN 0041-5790 (Print) • ISSN 2412-8333 (Online) • Ugol' – Russian Coal Journal, 2023, № S12, pp. 117-123
 DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2023-S12-117-123>

Title**DEVELOPMENT OF A WEB APPLICATION FOR MONITORING ROADS IN A RESOURCE-TYPE DIGITAL MANAGEMENT SYSTEM FOR A REGION****Authors**

Rada A.O.¹, Akulov A.O.¹, Nikitina O.I.¹

¹ 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

Akulov A.O., PhD (Economic), Associate Professor of the Department

of Management named in honor I.P. Povarich, e-mail: akuanatolij@yandex.ru

Nikitina O.I., Head of the Analytics Department of the Institute of Digitalization, e-mail: o.nikitina@i-digit.ru

Abstract

The purpose of the study is to develop and test a web application for monitoring roads, integrated with the digital control system of the Kemerovo region – Kuzbass. Classic client-server architecture was used; focus groups with customers and an analysis of the regulatory framework were conducted to determine the functionality and composition of information. Prototyping, layout, testing of the application “Management system for monitoring the condition of regional and municipal roads” was carried out. The main page includes an analytical panel and a registry of roads with a search for a large number of parameters. An information card has been created for each road, containing general information, data on the condition of the roadway, technical documentation on the road, technical diagnostic results, road maps, and three-dimensional models. The application makes it possible to monitor and control roads at minimal cost and obtain information for making management decisions (for example, on repairs).

Keywords

Highways, Digital technologies, Public safety, Resource-type region, Software, Road condition, Digital management of the region, Decision-making technologies, Transportation of products.

References

1. Percoco M. Highways, local economic structure and urban development. *Journal of Economic Geography*, 2016, 16(5), pp. 1035–1054. DOI: 10.1093/jeg/lbv031.
2. Transport and operational condition of public roads of federal significance [Electronic resource]. Available at: <https://rosavtodor.gov.ru/opendata/7717509757-tesad/view> (accessed 15.11.2023). (In Russ.).
3. Koteleva N., Khokhlov S. & Frenkel I. Digitalization in open-pit mining: a new approach in monitoring and control of rock fragmentation. *Applied Sciences*, 2021, 11(22), Article ID 10848. DOI: 10.3390/app112210848.
4. Jabir B., Rabhi L., Falih N. RNN- and CNN-based weed detection for crop improvement: an overview. *Foods and Raw Materials*, 2021, 9(2), pp. 387–396. DOI: 10.21603/2308-4057-2021-2-387-396.
5. Chen X., Kurdve M., Johansson B. & Despeisse M. Enabling the twin transitions: digital technologies support environmental sustainability through

lean principles. *Sustainable Production and Consumption*, 2023, 38, pp. 13–27. DOI: 10.1016/j.spc.2023.03.020.

6. Molyarenko O.A. Ownerless roads in Russia. *EKO*, 2017, 47(4), pp. 88–109. (In Russ.).

7. Karballaezadeh N., Zaremotekhas F., Shamshirband S., Mosavi A., Nabipour N., Csiba P. & Várkonyi-Kóczy A.R. Intelligent road inspection with advanced machine learning; hybrid prediction models for smart mobility and transportation maintenance systems. *Energies*, 2020, 13(7), Article ID 1718. DOI: 10.3390/en13071718.

8. Ma Y., Wang M., Feng Q., He Z. & Tian M. Current non-contact road surface condition detection schemes and technical challenges. *Sensors*, 2022, 22(24), Article ID 9583. DOI: 10.3390/s22249583.

9. Ranyal E., Sadhu A. & Jain K. Road condition monitoring using smart sensing and artificial intelligence: a review. *Sensors*, 2022, (22)8, Article ID 3044. DOI: 10.3390/s22083044.

10. Micko K., Papcun P. & Zolotova I. Review of IoT sensor systems used for monitoring the road infrastructure. *Sensors*, 2023, 23(9), Article ID 4469. DOI: 10.3390/s23094469.

11. Kataev M.Y., Kartashov E.Y. & Avdeenko V.D. Method for detecting road defects using images obtained from unmanned aerial vehicles. *Kompyuternaya optika*, 2023, 47(3), pp. 464–473. (In Russ.). DOI: 10.18287/2412-6179-CO-1209.

12. IndorRoad. Operation of highways. Available at: <https://www.indorsoft.ru/products/road/> (accessed 15.11.2023). (In Russ.).

Acknowledgments

The research is conducted as part of the comprehensive scientific and technical program of a complete innovative cycle “Development and implementation of a complex of technologies in the fields of exploration and extraction of minerals, ensuring of industrial safety, bioremediation, creation of new products of deep processing of coal raw materials with consecutive amelioration of ecological impact on the environment and risks to human life”, approved by the Decree of the Government of the Russian Federation from 11.05.2022 No 1144-r., agreement No 075-15–2022-1195 dated September 30, 2022.

For citation

Rada A.O., Akulov A.O. & Nikitina O.I. Development of a web application for monitoring roads in a resource-type digital management system for a region. *Ugol'*, 2023, (S12), pp. 117–123. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2023-S12-117-123.

Paper info

Received November 1, 2023

Reviewed November 15, 2023

Accepted November 26, 2023

DIGITALIZATION

Развитие правового регулирования контроля автодорог в условиях внедрения цифровых технологий*

DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2023-S12-124-129>

АКУЛОВ А.О.

Канд. экон. наук, доцент, доцент кафедры менеджмента им. И.П. Поварича Института экономики и управления ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет», 650000, г. Кемерово, Россия, e-mail: akuanatolij@yandex.ru

КОНОНОВА С.А.

Канд. экон. наук, заместитель директора Института цифры ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет», 650000, г. Кемерово, Россия, e-mail: s.kononova@i-digit.ru

Цель исследования – определение ключевых проблем правового регулирования контроля за состоянием автомобильных дорог, разработка теоретико-прикладных предложений по корректировке соответствующих норм. Используются методы логико-структурного анализа, дескриптивного анализа, формально-юридический метод познания. В результате исследования установлено, что существующие правовые нормы устанавливают обязанность осуществлять деятельность, которая соответствует понятию «контроль» в праве, хотя сам термин «контроль» непосредственно не употребляется. Показано, что существенной проблемой является большое количество бесхозных дорог. Это создает риск нарушения прав участников дорожного движения. Анализ судебной практики показал, что на муниципальные образования возлагается обязанность по кадастровому учету и регистрации прав собственности на бесхозные дороги. Но исполнение этих решений затруднено вследствие дефицита большинства местных бюджетов. Поэтому целесообразно предусматривать субсидии на оформление объектов инфраструктуры, а также использовать более дешевые современные технологии цифровой инвентаризации и учета.

Ключевые слова: контроль за дорогами, дорожная деятельность, местное самоуправление, административный процесс, дорожное движение

Для цитирования: Акулов А.О., Кононова С.А. Развитие правового регулирования контроля автодорог в условиях внедрения цифровых технологий // Уголь. 2023. № 512. С. 124-129. DOI: 10.18796/0041-5790-2023-S12-124-129.

* 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 № 1144-р, № соглашения 075-15-2022-1195 от 30.09.2022.

ВВЕДЕНИЕ

Для самой большой по территории страны мира критически важным является наличие разветвленной дорожной сети, поддержание ее в приемлемом состоянии [1, 2]. В связи с этим государство прилагает существенные усилия по развитию автодорожного хозяйства России, повышению безопасности движения. В частности, с 2019 г. реализуется Национальный проект «Безопасные качественные дороги». Одна из главных его целей – рост удельного веса дорог, соответствующих нормативным требова-

ниями, что способствует росту качества жизни населения¹. Вместе с тем состояние автомобильных дорог в стране требует дальнейших вложений ресурсов [3].

Например, в Сибирском федеральном округе только 55,2% автомобильных дорог общего пользования федерального значения соответствуют нормативным требованиям к транспортно-эксплуатационным показателям. В ряде регионов этот показатель ниже – 40-50%². Хотя, несомненно, есть и позитивные примеры, так, в Кемеровской области – Кузбассе в нормативном состоянии находятся около 80% дорог³. Кроме того, по данным О.А. Моляренко, в России имеется большое количество дорог, которые фактически используются, но не поставлены на учет, не оформлены в собственность (улицы частного сектора, придомовые проезды многоквартирных домов, дороги к ведомственным объектам и др.) [4, с. 100-102]. Судя по всему, состояние этих бесхозных дорог значительно хуже официально оформленных. Плохое качество части автомобильных дорог создает угрозу нарушения прав и законных интересов юридических и физических лиц (препятствует реализации права на свободу передвижения, вызывает убытки вследствие повреждения транспорта и т.д.).

В связи с этим важнейшим элементом дорожной деятельности является контроль состояния автомобильных дорог, который позволяет оценивать ситуацию, принимать управленческие решения, рационально распределять ресурсы. Под контролем как юридическим понятием в работе понимается деятельность, направленная на предупреждение, выявление, пресечение нарушений правовых норм посредством проведения проверок, наблюдений и иных подобных мероприятий [5]. Таким образом, в сфере дорожной деятельности контролю подлежит соответствие состояния дорог нормативным требованиям, выполнение которых обеспечивает охрану прав, законных интересов участников движения. Аналогичная постановка вопроса вполне отвечает мировой практике [6].

Поэтому важны адекватные правовые механизмы регулирования такого контроля, которые бы учитывали ограниченность ресурсов, основные вызовы в дорожной сфере, а также современные технологические возможности. Но чаще всего исследуются не юридические, а сугубо технические аспекты контроля состояния автомобильных дорог. В ряде работ обсуждается использование цифровых технологий для мониторинга дорожного покрытия. Так, в работе [7] предложены модели машинного обучения для интеллектуального осмотра и контроля дорог, основанные на распознавании образов дефектов с использованием нейронной сети. Авторы [8] использовали инфракрасную спектроскопию для поиска дефектов, обуславливающих ухудшение сцепления автомобильных шин с дорогой.

Тем не менее контроль состояния автомобильных дорог – это не сугубо технический процесс, он предпола-

гает принятие решений органами государственной власти на определенной нормативно-правовой основе. Любые технические средства и технологии контроля должны соответствовать юридическим требованиям. Необходимо адекватное регулирование правоотношений в сфере дорожного контроля, которое не только обеспечивает права, законные интересы участников, но и определяет возможность использования тех или иных цифровых технологий в соответствии с законом. Отставание норм в данной сфере делает во многом бессмысленным технический прогресс.

Анализ мировой и российской правовой литературы показывает, что тематика контроля состояния дорог практически не исследована с точки зрения юриспруденции. В работе П.А. Бышкова изучены вопросы контроля только муниципальных дорог [9], кроме того, с момента публикации прошло уже почти 8 лет, многие положения законодательства за этот срок изменились. Также можно отметить исследование А.С. Руднева, где идет речь о правовых основах участия юридических лиц в дорожной деятельности [10].

Цель данной работы – определение ключевых проблем правового регулирования контроля за состоянием автомобильных дорог, разработка теоретико-прикладных предложений по корректировке соответствующих норм. В исследовании используются методы логико-структурного анализа, дескриптивного анализа, формально-юридический метод познания.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Правовые основы контроля надлежащего состояния автомобильных дорог образует ряд положений законодательства^{4,5}. Законом «О безопасности дорожного движения» установлена обязанность лиц, содержащих автомобильные дороги, обеспечивать их соответствие требованиям нормативных документов. Данное требование законодателя направлено, в первую очередь, на достижение безопасности дорожного движения. Это предполагает проведение периодических осмотров и других контрольных мероприятий, а также выделение ресурсов, несение затрат определенными лицами.

Закон «Об автомобильных дорогах и о дорожной деятельности...» вводит понятие «дорожная деятельность»⁶. Под ней понимается «деятельность по проектированию, строительству, реконструкции, капитальному ремонту, ремонту и содержанию автомобильных дорог»⁷. Также названный закон закрепляет полномочия и ответственность разных участников дорожной деятельности в зависимо-

¹ Безопасные качественные дороги. 2019-2030. [Электронный ресурс]: <https://bkdrf.ru/about> (Дата обращения 15.11.2023).

² Транспортно-эксплуатационное состояние автомобильных дорог общего пользования федерального значения. [Электронный ресурс]: <https://rosavtodor.gov.ru/opendata/7717509757-tesad/view>. (Дата обращения 15.11.2023).

³ Там же.

⁴ Федеральный закон от 10 декабря 1995 г. № 196-ФЗ «О безопасности дорожного движения» (ред. от 14.04.2022) // Собрание законодательства РФ. 1995. № 50. С. 4873.

⁵ Федеральный закон от 08 ноября 2007 г. № 257-ФЗ «Об автомобильных дорогах и о дорожной деятельности в Российской Федерации и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» (ред. от 13.06.2023) // Собрание законодательства РФ. 2007. № 46. С. 5553.

⁶ Федеральный закон от 08 ноября 2007 г. № 257-ФЗ «Об автомобильных дорогах и о дорожной деятельности...»

⁷ Там же.

сти от категории дорог (органы власти субъектов РФ осуществляют дорожную деятельность в отношении дорог регионального и межмуниципального значения, органы местного самоуправления – в отношении дорог местного значения)⁸.

Анализ законодательства показывает, что контроль следует считать частью деятельности по содержанию автомобильных дорог. Согласно ст. 17 закона «Об автомобильных дорогах и дорожной деятельности...», содержание автомобильных дорог должно обеспечивать их сохранность, соответствие требованиям технических регламентов, безопасность условий движения⁹.

В п. 4 ст. 17 названного закона отмечено, что «В целях определения соответствия транспортно-эксплуатационных характеристик автомобильных дорог требованиям технических регламентов владельцами автомобильных дорог ... проводится оценка технического состояния автомобильных дорог. Капитальный ремонт или ремонт автомобильных дорог осуществляется в случае несоответствия транспортно-эксплуатационных характеристик автомобильных дорог требованиям технических регламентов»¹⁰.

В данном случае, хотя термин «контроль» непосредственно не упоминается в законе, речь идет именно о нем, так как оценка технического состояния – это процедура, которая должна определить соответствие дороги нормативным требованиям. При выявлении несоответствия необходимо принять меры к ремонту для исключения нарушения прав и законных интересов участников движения. Таким образом, можно сделать вывод, что действующее законодательство обязывает выполнять контроль состояния автомобильных дорог.

Дополнительное подтверждение можно найти в Приказе Министерства транспорта РФ, где установлены такие виды работ по содержанию, как «диагностика, обследование и оценка технического состояния автомобильных дорог и искусственных сооружений... аудит безопасности дорожного движения...», «паспортизация автомобильных дорог», «проведение оценки уровня содержания и оценки технического состояния автомобильных дорог»¹¹. По правовому содержанию эти работы отвечают смыслу понятия «контроль», так как процессы диагностики, обследования, оценки дорог направлены на определение соответствия их нормативным требованиям. Следовательно, контроль в форме оценки состояния автомобильных дорог обязателен в силу закона и является неотъемлемой частью их текущего содержания.

В 2022 г. в закон¹² была введена норма об обязательном предоставлении данных по состоянию автомобиль-

ных дорог в федеральную государственную информационную систему контроля дорожных фондов (в частности, о результатах оценки состояния). Это указывает на стремление законодателя использовать современные цифровые технологии в процессе содержания дорог, в частности контроля их состояния.

Однако говорить о контроле можно лишь по отношению к тем дорогам, которые официально оформлены собственником и поставлены на кадастровый учет. Отдельной проблемой в нашей стране, как частично отмечалось выше, является значительное число бесхозных дорог. Какой-либо систематизированной статистики по данному вопросу быть не может. Но, например, по сообщениям деловых СМИ, только в Ростове-на-Дону в начале 2022 г. суд обязал городские власти поставить на кадастровый учет более 700(!) автодорог¹³, что позволяет понять масштабы и распространенность этого явления.

В настоящее время в судебной практике существуют разные позиции по поводу обязанностей по постановке бесхозных дорог на кадастровый учет. Как известно, общие положения о бесхозных объектах установлены Гражданским Кодексом РФ (ГК РФ). В соответствии с п. 1 ст. 225 ГК РФ «Бесхозной является вещь, которая не имеет собственника или собственник которой неизвестен, либо, если иное не предусмотрено законами, от права собственности на которую собственник отказался»¹⁴.

Применительно к бесхозным дорогам, собственник чаще всего либо неизвестен, либо отсутствует, в том числе в силу ликвидации, фактического прекращения деятельности. В частности, ряд дорог в начале 1990-х гг. был списан с баланса организаций и не принят в муниципальную собственность, часть объектов утратила собственника вследствие банкротств предприятий, содержавших различные объекты инфраструктуры ранее. В принципе, в соответствии с нормами пп. 3, 5 ст. 225 ГК РФ бесхозные линейные объекты ставятся на учет по заявлению органов местного самоуправления и лицами, обязанными эксплуатировать такие объекты. Через три месяца возможно обращение в суд для признания права собственности.

Что касается ст. 6 закона «Об автомобильных дорогах и дорожной деятельности...», то она лишь устанавливает распределение соответствующих объектов собственности между уровнями власти, местного самоуправления, муниципальными образованиями. Данная норма, вообще говоря, не может регулировать отношения по выявлению и оформлению бесхозных дорог (она распространяется только на отношения, возникающие после признания права собственности). Правовая позиция Конституционного Суда РФ, сформулированная еще в 2006 г., закрепила за муниципалитетами право (а не обязанность) ставить на учет, оформлять в собственность бесхозные вещи, исходя из того, что перечень видов имущества муниципально-го образования, установленный в законе «Об общих прин-

⁸ Там же.

⁹ Там же.

¹⁰ Федеральный закон от 08 ноября 2007 г. № 257-ФЗ «Об автомобильных дорогах и о дорожной деятельности...»

¹¹ Приказ Министерства транспорта РФ от 16 ноября 2012 № 402 «Об утверждении Классификации работ по капитальному ремонту, ремонту и содержанию автомобильных дорог» (ред. от 20.03.2023). [Электронный ресурс]: <https://mintrans.gov.ru/documents/7/2911> (дата обращения 15.11.2023).

¹² Федеральный закон от 08 ноября 2007 г. № 257-ФЗ «Об автомобильных дорогах и о дорожной деятельности...»

¹³ Суд обязал администрацию Ростова поставить на учет более 700 автодорог. [Электронный ресурс]: <https://www.kommersant.ru/doc/5159114>. (Дата обращения 15.11.2023).

¹⁴ Гражданский Кодекс РФ (часть первая) от 30 ноября 1994 г. №51-ФЗ (с изм. и доп., вступ. в силу с 28.04.2023 г.) // Собрание законодательства РФ. 1994. №32. С. 3301.

циях организации местного самоуправления в Российской Федерации», не является закрытым¹⁵.

Однако анализ правовых позиций судов позволяет говорить, что сложившаяся практика постепенно идет по пути возложения на органы местного самоуправления обязанности по постановке дорог на учет, оформлению их в собственность и дальнейшему проведению комплекса работ по содержанию и ремонту. Так, в ряде дел, инициированных прокуратурой, суды пришли к выводу, что невыполнение работ по постановке бесхозных дорог на кадастровый учет является бездействием органов местного самоуправления.

Например, Красногорский районный суд Брянской области по делу №2а-87/2-2020 установил, что у административного ответчика (Администрации Гордеевского района Брянской области) существуют в силу закона обязанности «по постановке автомобильной дороги ... на кадастровый учет с последующей регистрацией права муниципальной собственности», отказ от этого является бездействием¹⁶.

Суд мотивировал решение тем, что отсутствие оформленного права собственности препятствует контролю технического состояния дорог, нарушает права неопределенного круга лиц на безопасность, сохранность имущества. Примечательно, что административный ответчик не возражал против исковых требований по существу, ссылаясь только на необходимость изыскания средств в местном бюджете, для чего суд предоставил срок до одного года.

Аналогичную позицию заняли Кондинский районный суд Ханты-Мансийского автономного округа – Югры по иску прокурора района к администрации сельского поселения Половинка о признании незаконным бездействия по постановке на кадастровый учет 25 автомобильных дорог общего пользования¹⁷. Ленинск-Кузнецкий районный суд Кемеровской области – Кузбасса по аналогичному иску, связанному с постановкой на учет и включением в реестр муниципальной собственности бесхозной дороги¹⁸ и др. По другому делу с аналогичной фабулой, рас-

смотренному Оренбургским районным судом Оренбургской области, административный ответчик возражал против удовлетворения исковых требований прокуратуры, ссылаясь не только на недостаток бюджетных средств, но и на то, что «Действующим законодательством не предусмотрена данная обязанность для ответчика, и непостановка на государственный кадастровый учет дорог не влечет нарушений прав граждан, поскольку дороги поддерживаются в надлежащем состоянии»¹⁹.

Довод об отсутствии средств в принципе не может быть признан основанием для отступления от требований законодательства. Также судебной практикой подтверждается обязанность органов местного самоуправления осуществлять паспортизацию дорог²⁰ в соответствии с требованиями соответствующих Государственных стандартов. В то же время проблема объективного несоответствия расходных обязательств и бюджетных возможностей муниципальных образований вполне объективна, поэтому возложение на них дополнительных обязательств и ответственности в судебном порядке чревато новыми рисками по исполнению полномочий и решению вопросов местного значения.

ВЫВОДЫ

Проведенное исследование показало, что в современном российском законодательстве сформулированы четкие правовые основы для проверок, оценок, мониторинга состояния автомобильных дорог для защиты прав участников дорожного движения. В то же время в законах отсутствует термин «контроль», хотя действующие нормы по смыслу требуют проводить именно его. В связи с этим целесообразно закрепить термин «контроль состояния автомобильных дорог» как часть дорожной деятельности, детализируя его через перечень работ по текущему содержанию, представленному в соответствующих нормативных документах²¹.

Существенную проблему для контроля состояния дорог составляют бесхозные дороги, число которых в России достаточно велико, а состояние их обычно оставляет желать много лучшего. Нормы ГК РФ, закона «Об автомобильных дорогах и дорожной деятельности...» в явном виде не устанавливают обязанности и ответственность, в частно-

¹⁵ Определение Конституционного Суда РФ от 02 ноября 2006 г. № 540-О/2006 «По запросу Правительства Самарской области о проверке конституционности статьи 1, частей шестой и восьмой статьи 2 Федерального закона «О внесении изменений и дополнений в Федеральный закон «Об общих принципах организации законодательных (представительных) и исполнительных органов государственной власти субъектов Российской Федерации» и статьи 50 Федерального закона «Об общих принципах организации местного самоуправления в Российской Федерации». [Электронный ресурс]: <http://doc.ksrf.ru/decision/KSRFDecision15562.pdf>. (Дата обращения 15.11.2023).

¹⁶ Решение Красногорского районного суда Брянской области от 04.05.2020 по делу № 2а-87/2-2020. [Электронный ресурс]: https://krasnogorsky-brj.sudrf.ru/modules.php?name=sud_delo&srv_num=2&name_op=case&case_id=158366812&case_uid=f271d2e8-f741-4093-b085-f218495cb072&delo_id=41. (Дата обращения 15.11.2023).

¹⁷ Решение Кондинского районного суда Ханты-Мансийского автономного округа – Югры от 03.02.2020 по делу № 2а-87/2020. [Электронный ресурс]: https://kondinsk-hmao.sudrf.ru/modules.php?name=sud_delo&srv_num=1&name_op=case&case_id=134086327&case_uid=0e66bfa4-954e-4c3e-bd84-c27f74a351b5&delo_id=41. (Дата обращения 15.11.2023).

¹⁸ Решение Ленинск-Кузнецкого районного суда Кемеровской области от 11.03.2015 по делу № 2-148/2015. [Электронный ресурс]: <https://sudact.ru/regular/doc/JCwyVvPhYQYq/?regular-txt=постано>

вка+на+учет+бесхозной+дороги®ular-case_doc=®ular-lawchunkinfo=®ular-date_from=®ular-date_to=®ular-workflow_stage=®ular-area=1010®ular-court=®ular-judge=&_id=1689069562683&snippet_pos=1554#snippet. (Дата обращения 15.11.2023).

¹⁹ Решение Оренбургского районного суда Оренбургской области от 08.11.2019 по делу № 2а-2238/2019. [Электронный ресурс]: https://orenburgsky-orb.sudrf.ru/modules.php?name=sud_delo&name_op=doc&number=30209991&delo_id=41&case_type=0&new=0&text_number=1&srv_num=1. (Дата обращения 15.11.2023).

²⁰ Решение Ясногорского районного суда Тульской области от 16.02.2022 по делу №2-83/2022 ~ М-27/2022. [Электронный ресурс]: https://yaznogorsky-tula.sudrf.ru/modules.php?name=sud_delo&srv_num=1&name_op=case&case_id=117234074&case_uid=8ac49d55-dc74-4ab0-b8bb-a13eba88960f&delo_id=1540005&new=. (Дата обращения 15.11.2023).

²¹ Приказ Министерства транспорта РФ от 16 ноября 2012 № 402 «Об утверждении Классификации работ по капитальному ремонту, ремонту и содержанию автомобильных дорог»

сти местного самоуправления, за выявление, постановку на учет, оформление в собственность таких дорог. Но судебная практика идет по пути признания ответственности муниципальных администраций за оформление таких дорог, руководствуясь необходимостью исключить нарушения прав участников дорожного движения.

Целесообразно предусматривать выделение субсидий на нужды кадастрового учета и оформления прав собственности муниципальных образований на бесхозяйные объекты жизнеобеспечения (не ограничиваясь дорогами), исходя из цели создания благоприятных условий для жизнедеятельности человека. Также серьезные перспективы имеют внедрение более дешевых и надежных цифровых технологий кадастровых работ, создание цифровых двойников, цифровой паспортизации объектов, разработка геoinформационных систем для ведения контроля за состоянием автомобильных дорог, обеспечения быстрого, точного и дешевого учета всей значимой для целей контроля и эксплуатации информации.

Список литературы

1. Попов Н.А., Осокин Н.А. Совершенствование механизмов управления дорожным обслуживанием в Российской Федерации // Стратегические решения и риск-менеджмент. 2020. Т. 11. № 3. С. 304-315. DOI: 10.17747/2618-947X-2020-3-304-315.
2. Рубцова М.В. Безопасность дорожного движения в России: проблемы и пути их решения // Безопасность дорожного движения. 2021. № 3. С. 4-7.
3. Сафонов Р.А. Типичные дефекты верхнего дорожного покрытия в России // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2020. Т. 20, № 1. С. 75-84. DOI: 10.14529/build200210.
4. Моляренко О.А. Бесхозяйные автомобильные дороги в России // ЭКО. 2017. № 4. С. 88-109.
5. Воробьев Н.Ф. Понятие и правовая сущность государственного контроля // Правовое государство: теория и практика. 2018. № 4. С. 29-35.
6. Zampino S. Safety performance assessment of extra-urban road interchanges: a review of the Italian road inspection methodology // Transportation Research Procedia. 2023. Vol. 69. P. 456-463. DOI: 10.1016/j.trpro.2023.02.195.
7. Intelligent road inspection with advanced machine learning; hybrid prediction models for smart mobility and transportation maintenance systems / N. Karballaezadeh, F. Zaremotekhas, S. Shamshirband et al. // Energies. 2020. Vol. 13. No 7. Article No 1718. DOI: 10.3390/en13071718.
8. Current non-contact road surface condition detection schemes and technical challenges / Y. Ma, M. Wang, Q. Feng et al. // Sensors. 2022. Vol. 22. No 24. Article No 9583. DOI: 10.3390/s22249583.
9. Бышков П.А. Правовое регулирование муниципального контроля за обеспечением сохранности автомобильных дорог местного значения // Евразийский юридический журнал. 2015. № 10. С. 136-138.
10. Руднев А.С. Юридические лица, участвующие в дорожной деятельности и деятельности по созданию и реализации транспортных средств и обеспечению их технического состояния // Вестник Московского университета МВД России. 2020. № 2. С. 232-238.

Original Paper

UDC 34:351.811.111.3 © A.O. Akulov, S.A. Kononova, 2023
ISSN 0041-5790 (Print) • ISSN 2412-8333 (Online) • Ugol' – Russian Coal Journal, 2023, № S12, pp. 124-129
DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2023-S12-124-129>

Title

DEVELOPMENT OF LEGAL REGULATION OF ROAD CONTROL IN THE CONTEXT OF THE INTRODUCTION OF DIGITAL TECHNOLOGIES

Authors

Akulov A.O.¹, Kononova S.A.¹

¹ Kemerovo State University, Kemerovo, 650000, Russian Federation

Authors Information

Akulov A.O., PhD (Economic), Associate Professor of the Department of Management named after I.P. Povarich, Institute of Economics and Management, e-mail: akuanatolij@yandex.ru

Kononova S.A., PhD (Economic), Deputy Director of the Institute of Digit, e-mail: s.kononova@i-digit.ru

Abstract

The purpose of the study is to identify the key problems of legal regulation of control over the state of roads, the development of theoretical and applied proposals for adjusting the relevant norms. Methods of logical-structural analysis, descriptive analysis, and formal-legal method of cognition were used. As a result of the study, it was found that the existing legal norms establish the obligation to carry out activities that correspond to the concept of "control" in law, although the term control itself is not directly used. It is shown that a significant problem is a large number of ownerless roads. This creates a risk of violation of the rights of road users. An analysis of judicial practice has shown that municipalities are responsible for cadastral registration and

registration of ownership of ownerless roads. But the implementation of these decisions is difficult due to the deficit of most local budgets. Therefore, it is advisable to provide subsidies for the design of infrastructure facilities, as well as to use cheaper modern digital inventory and accounting technologies.

Keywords

Road control, Road activities, Local government, Ownerless things, Administrative process, Traffic.

References

1. Popov N.A. & Osokin N.A. Improving road maintenance management practices in Russia. *Strategicheskie resheniya i risk-menedzhment*, 2022, Vol. 11, (3), pp. 304-315. (In Russ.). DOI: 10.17747/2618-947X-2020-3-304-315.
2. Rubtsova M.V. Road safety in Russia: problems and solutions. *Bezopasnost dorozhnogo dvizheniya*, 2021, (3), pp. 4-7. (In Russ.).
3. Safonov R.A. Typical defects of the top road surface in Russia. *Vestnik Yuzhno-Uralskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: stroitelatvo i arkhitektura*, 2020, Vol. 20, (1), pp. 75-84. (In Russ.). DOI: 10.14529/build200210.

DIGITALIZATION

4. Molyarenko, O.A. Ownerless Roads in Russia. *EKO*, 2017, (4), pp. 88-109. (In Russ.).
5. Vorobyov N.F. The concept and legal nature of state control. *Pravovoe gosudarstvo: teoriya i praktika*, 2018, Vol. 14, (4), pp. 29–35. (In Russ.).
6. Zampino S. Safety performance assessment of extra-urban road interchanges: a review of the Italian road inspection methodology. *Transportation Research Procedia*, 2023, (69), pp. 456-463. DOI: 10.1016/j.trpro.2023.02.195.
7. Karballaezadeh N., Zaremotekhas F., Shamshirband S., Mosavi A., Nabipour N., Csiba P. & Várkonyi-Kóczy A.R. Intelligent road inspection with advanced machine learning; hybrid prediction models for smart mobility and transportation maintenance systems. *Energies*, 2020, Vol. 13, (7), Article No 1718. DOI: 10.3390/en13071718.
8. Ma Y., Wang M., Feng Q., He Z. & Tian M. Current non-contact road surface condition detection schemes and technical challenges. *Sensors*, 2022, Vol. 22, (24), Article No 9583. DOI: 10.3390/s22249583.
9. Byshkov P.A. Legal regulation of municipal control over ensuring the safety of local roads. *Eurzijskij juridicheskij zhurnal*, 2015, No 10, pp. 136-138. (In Russ.).
10. Rudnev A.S. Legal entities involved in road activities and activities for the creation and sale of vehicles and ensuring their technical condition. *Vestnik Moskovskogo universiteta MVD Rossii*, 2020, No 2, pp. 232–238. (In Russ.).

Acknowledgements

The research is conducted as part of the comprehensive scientific and technical program of a complete innovative cycle "Development and implementation of a complex of technologies in the fields of exploration and extraction of minerals, ensuring of industrial safety, bioremediation, creation of new products of deep processing of coal raw materials with consecutive amelioration of ecological impact on the environment and risks to human life", approved by the Decree of the Government of the Russian Federation from 11.05.2022 № 1144-r., agreement No 075-15-2022-1195 dated September 30, 2022.

For citation

Akulov A.O. & Kononova S.A. Development of legal regulation of road control in the context of the introduction of digital technologies. *Ugol'*, 2023, (S12), pp. 124-129. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2023-S12-124-129.

Paper info

Received November 1, 2023

Reviewed November 15, 2023

Accepted November 30, 2023

Оригинальная статья

УДК 551.583; 504.054 © О.В. Тайлаков, Е.А. Уткаев, А.В. Логинова, Е.С. Снетова, Д.С. Михалев, 2023

Регулирование выбросов парниковых газов в угледобывающих странах*

DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2023-S12-129-134>

Рассмотрены предпринимаемые меры по достижению углеродной нейтральности в основных угледобывающих странах. Дан обзор углеродных рынков, направленный повышения энергоэффективности, квотирования выбросов парниковых газов. Предложен подход к расчету фугитивных выбросов метана при угледобыче и последующих операциях с углем, основанный на применении современных цифровых технологий. Обосновано клиент-серверное решение для построения программного комплекса. Приводится описание последовательности операций по обработке исходной информации и порядка формирования отчетной документации для инвентаризации выбросов шахтного метана.

Ключевые слова: парниковые газы, углекислый газ, метан, углеродное регулирование, закон, энергетика, фугитивные выбросы, цифровая платформа.

Для цитирования: Регулирование выбросов парниковых газов в угледобывающих странах / О.В. Тайлаков, Е.А. Уткаев, А.В. Логинова и др. // Уголь. 20-23. № S12. С. 129-134. DOI: 10.18796/0041-5790-2023-S12-129-134.

ТАЙЛАКОВ О.В.

Доктор техн. наук, профессор,
генеральный директор АО «НЦ ВостНИИ»,
главный научный сотрудник
ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр
угля и углехимии Сибирского отделения
Российской академии наук», Институт угля,
650000, г. Кемерово, Россия,
e-mail: oleg2579@gmail.com

* 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 № 1144-р (Соглашение № 075-15-2022-1196).

УТКАЕВ Е.А.

Канд. техн. наук, заведующий лабораторией
ресурсов и технологий извлечения угольного метана
ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр
угля и углехимии Сибирского отделения
Российской академии наук»,
Институт угля,
650000, г. Кемерово, Россия,
e-mail: utkaev@mail.ru

ЛОГИНОВА А.В.

Ведущий инженер ФГБНУ «Федеральный
исследовательский центр угля и углехимии
Сибирского отделения Российской академии наук»,
аспирант ФГБОУ ВО «КузГТУ им. Т.Ф. Горбачева»,
650000, г. Кемерово, Россия,
e-mail: loginova.annett.21@yandex.ru

СНЕТОВА Е.С.

Ведущий инженер ФГБНУ «Федеральный
исследовательский центр угля и углехимии
Сибирского отделения Российской академии наук»,
650000, г. Кемерово, Россия,
e-mail: katya.snetova.97@mail.ru

МИХАЛЕВ Д.С.

Лаборант ФГБНУ «Федеральный исследовательский
центр угля и углехимии Сибирского отделения
Российской академии наук», Институт угля,
650000, г. Кемерово, Россия,
e-mail: mikhalev@mail.ru

ВВЕДЕНИЕ

Проблема смягчения последствий изменения климата становится одним из определяющих факторов для внешнеэкономической позиции в долгосрочной перспективе. Государства и компании сегодня находятся в поиске новых подходов, стремясь одновременно решить глобально значимую климатическую проблему и сохранить экономическую конкурентоспособность. Изменение глобального климата имеет общемировое значение, и поэтому значительную роль в решении проблемы его смягчения играют международные соглашения в этой сфере.

В 1992 г. в Нью-Йорке была принята Рамочная конвенция Организации Объединенных Наций об изменении климата (РКИК ООН). Цель РКИК ООН заключалась в том, чтобы обеспечить стабилизацию концентраций парниковых газов в атмосфере на таком уровне, который не допускал бы опасного антропогенного воздействия на климатическую систему. РКИК ООН остается основополагающим международно-правовым документом по проблеме изменений климата. Об этом свидетельствует практически универсальное членство в Конвенции – ее ратифицировали 194 страны.

В целях достижения конечной цели РКИК ООН в 1997 г. был принят Киотский протокол к РКИК ООН об изменении климата. Киотский протокол обязал страны-участницы добиваться количественных сокращений или ограничений своих выбросов парниковых газов ниже уровня 1990 г. (для каждой из стран свои количественные обязательства). Киотским протоколом в качестве дополнительных мер по соблюдению обязательств Сторонами предусмотрены экономические механизмы, к которым относятся: международная торговля квотами на выброс парниковых газов, механизм чистого развития, проекты совместного осуществления.

В 2016 г. было заключено Парижское соглашение по климату. Основная цель Парижского соглашения состоит в том, чтобы удержать рост глобальной средней температуры в пределах 1,5-2°C по отношению к соответствующему показателю доиндустриальной эпохи [1].

Во многих угледобывающих странах активно внедряются механизмы снижения углеродного следа промышленных предприятий. Основными из них являются углеродный налог и система торговли квотами на выбросы углерода. В ЕС с 2005 г. функционирует система торговли квотами, которая стала одной из причин снижения углеродного следа в Европе. В марте 2021 г. Парламент Евросоюза принял резолюцию о введении механизма таможенной углеродной корректировки (carbon border adjustment mechanism – CBAM) – углеродного налога на импортируемую в страны ЕС продукцию, установив тем самым таймер для перехода компаний-импортеров и их государств к углеродной нейтральности.

ОСНОВНОЙ РАЗДЕЛ

Правительство Великобритании законодательно закрепляет самую амбициозную цель по изменению климата в мире: сокращение выбросов к 2035 г. на 78% по сравнению с уровнем 1990 г. В соответствии с рекоменда-

дацией независимой Комиссии по изменению климата шестой углеродный бюджет ограничивает объем парниковых газов, выбрасываемых в течение 5-летнего периода с 2033 по 2037 г., что позволит Великобритании пройти более трех четвертей пути к достижению углеродной нейтральности к 2050 г. Таким образом, Великобритания продолжит движение к прекращению своего влияния на изменение климата, оставаясь при этом в соответствии с температурной целью Парижского соглашения по ограничению глобального потепления ниже 2°C и предпринимая усилия по достижению 1,5°C. Впервые в углеродный бюджет будет включена доля Великобритании в выбросах международной авиации и судоходства – важная часть усилий правительства по декарбонизации, которая позволит последовательно вести учет таких выбросов [2].

Вместе с тем, в Китае несколько лет ведется работа по созданию и развитию национального углеродного рынка. В 2019–2024 гг. на Китай придется 40% глобального увеличения мощностей рынка возобновляемой энергии (МЭА – Международное энергетическое агентство, 2019 г.). В настоящее время КНР – крупнейший инвестор в сектор ВИЭ (возобновляемые источники энергии) – 83,4 млрд дол. США на 2019 г. Второй по величине инвестор – США с 55,5 млрд дол. США (BloombergNEF). На Китай также приходится более 70% мирового производства солнечных фотоэлектрических модулей (МЭА, 2020 г.).

Планы создания рынка торговли квотами на выбросы CO₂ были объявлены правительством Китая в 2011 г., и в течение последующих нескольких лет в восьми городах стартовали соответствующие проекты. По плану КНР, в национальном масштабе программа в полном объеме будет действовать к 2025 г., охватит более 5 Гт годовых выбросов CO₂, начиная с энергетического сектора (с середины 2021 г.), и будет крупнейшей системой торговли выбросами парниковых газов в мире. В настоящее время Китай приступил к выполнению 14-го Пятилетнего плана социально-экономического развития, в котором заложены приоритеты государства по расходам, реструктуризации промышленности и энергетического баланса на 5 лет (2021–2025 гг.). Китай собирается достичь углеродной нейтральности к 2060 г. и сократить выбросы CO₂ минимум на 65% по сравнению с уровнем 2005 г. [3].

Известно, что Индия является крупнейшим производителем ископаемого топлива. В структуре энергетического баланса страны на уголь приходится 45% производства электроэнергии, на нефть – 25,6%, на газ – 5,7%, на ядерную энергетику – 1,1%, на возобновляемые источники энергии – 22,6% (биотопливо – 20,1%, гидроэнергетика – 1,4%, ветряная, солнечная и др. энергетика – 1,1%). В Индии также действуют энергетические субсидии на уголь (добыча, импорт и потребление), нефть и газ (добыча, импорт, потребление, выработка электроэнергии и транспорт), передачу и распределение электроэнергии, возобновляемые источники энергии, электрические транспортные средства. Основа климатической политики – принятый в 2008 г. Национальный план дей-

ствий по изменению климата, в котором среди национальных целей выделены энергоэффективность, использование солнечной энергии и «зеленая Индия».

В Индии нет системы торговли квотами на выбросы, однако есть аналоги. Инициатива 2012–2015 гг. Perform, Achieve, Trade (PAT) определяет цели, основанные на показателях энергоэффективности. Система PAT связана с системой торговли «белыми сертификатами», которая создана для достижения энергоемких целей с наименьшими затратами. В Национальном плане действий по изменению климата определены 15 энергоемких областей, в которых необходимо ввести меры по повышению энергоэффективности, в 8 из этих секторов действует система PAT. Система законодательно закреплена в различных разделах Закона об энергетике. Также в стране действует система сертификатов, обязывающая закупать определенный процент энергии из возобновляемых источников [3].

Австралия входит в число крупнейших мировых экспортеров железной руды, урана, угля и природного газа. По данным МЭА, в 2017 г. Австралия занимала четвертое место по добыче угля. Поскольку ископаемое топливо в Австралии, особенно уголь, очень дешевое, почти две трети производства электроэнергии обеспечивается за счет каменного угля, и возобновляемая энергетика занимает пока относительно небольшую долю в энергетическом балансе страны (21%). При этом почти все строящиеся электростанции в Австралии – солнечные или ветряные. Темпы ввода новых ВИЭ в Австралии в несколько раз выше, чем в Европе, Японии, Китае и США. По прогнозам, доля возобновляемой электроэнергии может составить 50% к 2024 г. и 100% – к 2032 г. Располагая значительными запасами природного газа, Австралия активно развивает производство сжиженного природного газа (СПГ). В стране реализуется 60% всех новых проектов в этой области.

В 2019 г. правительство Австралии анонсировало Пакет решений в области климата (Climate Solutions Package) с финансированием 3,5 млрд австралийских дол., объединивший все инициативы, которые реализовывались в стране. В 2019 г. выбросы транспортного сектора составили 18% от общего объема выбросов и увеличились на 22% с 2005 г. (Правительство Австралии). Самый крупный источник транспортных выбросов – автомобили (85%). Доля рынка электромобилей в Австралии составляет 0,6% от продаж новых автомобилей по сравнению с 2,5–5% в развитых странах. Ситуацию призвана изменить разрабатываемая Стратегия развития рынка электромобилей.

В части углеродного регулирования в Австралии больше полагаются на рыночные механизмы стимулирования сокращения выбросов путем торговли углеродными единицами и сертификатами согласно местному законодательству [3].

Основным документом, регулирующим выбросы парниковых газов в Российской Федерации, является Федеральный закон № 296 «Об ограничении выбросов парниковых газов», вступивший в силу 30 декабря 2021 г. Концепция документа соответствует Указу Президента

«О сокращении выбросов парниковых газов» [4], который требует обеспечить к 2030 г. сокращение выбросов парниковых газов до 70% относительно уровня 1990 г. с учетом максимально возможной поглощающей способности лесов и иных экосистем. В соответствии с Указом, правительству поручено разработать Стратегию долгосрочного развития РФ до 2050 г. с низким уровнем выбросов парниковых газов.

Закон «Об ограничении выбросов парниковых газов» определяет основы правового регулирования отношений в сфере хозяйственной и иной деятельности, которая сопровождается выбросами парниковых газов, предусматривает ведение государственного учета выбросов парниковых газов и создание соответствующего реестра, а также вводит обязанность «регулируемых организаций» представлять ежегодные отчеты о выбросах парниковых газов.

В Российской Федерации большая часть выбросов парниковых газов традиционно приходится на энергетический сектор, его доля составляет от 70 до 90%. Ввиду ресурсодобывающей ориентированности экономики России большой объем выбросов парниковых газов приходится на процессы, связанные с добычей, транспортировкой, переработкой и сжиганием углеводородов, включая уголь, который добывается открытым и подземным способами. Крупнейшим угледобывающим регионом Российской Федерации является Кузбасс (Кузнецкий угольный бассейн), на который приходится 70% от общей добычи угля в стране [5].

ЦИФРОВАЯ ПЛАТФОРМА МОНИТОРИНГА ФУГИТИВНЫХ ВЫБРОСОВ

Процесс угледобычи сопровождается выделением метана [6]. Угольные предприятия являются одним из главных источников выбросов CH_4 в России. В соответствии с Федеральным законом № 296 «Об ограничении выбросов парниковых газов» предприятия формируют отчет, который направляется в уполномоченный федеральный орган исполнительной власти. В целях реализации подготовки отчета используется Приказ № 371 «Об утверждении методик количественного определения объемов выбросов парниковых газов и поглощений парниковых газов» [7], в котором приведены методы расчета выбросов парниковых газов с перечнем необходимых исходных данных, представляемых предприятиями. Расчет по соответствующим формулам (методам) выполняется непосредственно предприятием или подрядной организацией, специализирующейся на составлении отчетности в данной области [8].

Для автоматизации учета выбросов парниковых газов на угольных предприятиях в Институте угля ФИЦ УУХ СО РАН ведется разработка цифровой платформы мониторинга фугитивных выбросов. Применение цифровой платформы позволяет выполнять расчеты фугитивных выбросов парниковых газов при добыче угля подземным и открытым способами, а также выбросов от операций последующего обращения с углем, добытого подземным способом [9]. Это обеспечивает повышение качества подготовки отчетов угольных компаний

об инвентаризации выбросов парниковых газов, позволяет тиражировать положительный опыт применения чистых угольных технологий, направленных на утилизацию шахтного метана и снижение техногенного воздействия на окружающую среду. Цифровая платформа представляет собой настольное приложение, устанавливаемое на пользовательском устройстве, которое обеспечивает выполнение расчетов, визуализацию их результатов, составление и хранение отчетов. Платформа содержит блоки логических и расчетных модулей на языке Python. Расчетные модули представляют собой программную реализацию алгоритмов и могут в последующем дополняться новыми модулями при изменении нормативной базы количественного учета выбросов парниковых газов. Платформа включает в себя следующие модули расчетов выбросов:

- метана и углекислого газа при добыче угля подземным способом;
- углекислого газа при добыче угля открытым способом (выбросы от транспорта);
- метана при добыче угля открытым способом;
- выбросов метана при последующем обращении с углем, добытым подземным способом.

Расчет выполняется в соответствии с трехуровневой схемой: 1 уровень – извлечение информации пользователя и справочных материалов из базы данных; 2 уровень – выполнение расчетов и управление данными в серверном приложении; 3 уровень – ввод исходных данных и отображение результатов расчетов в клиентском приложении.

Клиентская часть платформы включает в себя регистрацию и авторизацию пользователя, настройку параметров для расчетов, создание проектов и проведение расчетов выбросов посредством введения соответствующих исходных данных. Платформа обеспечивает функционирование многопользовательского варианта с паролем и ключами для удобства пользователей. На *рис. 1* продемонстрированы рабочие окна для добавления и выполнения расчетов в рамках временного промежутка, что в дальнейшем позволяет структурировать, фильтровать, анализировать и отображать в отчетах результаты по временным меткам и в динамике. Также при создании расчета происходят выбор расчетного модуля и заполнение исходных данных, например таких, как расход топлива и выбор коэффициента из справочных материалов.

Структура входных данных представляет собой текстовый формат обмена данными, основанный на JavaScript интерфейсе json. Разработанная форма предоставляет возможность быстрого поиска необходимой информации, анализа соответствий между данными и их интерпретации.

Структура выходных данных может быть представлена в виде HTTP-ответа сервера либо json-ответа. Структура HTTP-ответа сервера состоит из:

1. Строки состояния HTTP-ответа, в которой сервер указывает версию HTTP-протокола и код состояния.
2. Нуля или нескольких полей HTTP-заголовка, разделенных между собой символом CRLF.

3. Пустой строки, обозначающей окончание поля заголовка.

4. Необязательного тела HTTP- сообщения.

Серверная часть платформы отвечает за выполнение расчетов, хранение пользовательских данных, структурирование и хранение справочных материалов, необходимых для выполнения расчетов, и развернута на арендованном сервере для подключения клиентской части. Все справочные материалы и данные хранятся в отдельных базах, что позволяет использовать их для разных приложений. Также серверная часть предоставляет отдельно от клиентской части панель для администратора, которая обеспечивает управление данными справочных материалов [10].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, необходимо отметить, что перспективными направлениями достижения углеродной нейтральности являются формирование углеродного бюджета, введение квот на выбросы CO₂, реструктуризация энергетического баланса, формирование системы торговли «белыми сертификатами», внедрение новых энергоэффективных технологий. При этом разрабатываемое программное обеспечение для расчета фугитивных выбросов парниковых газов при угледобыче будет способствовать повышению эффективности количественного учета и управления эмиссией шахтного метана.

Список литературы

1. Постановление Правительства Российской Федерации от 21.09.2019 № 1228 «О принятии Парижского соглашения». [Электронный ресурс]. Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. URL: <https://docs.cntd.ru/document/561281256> (дата обращения: 15.11.2023).
2. Департамент бизнеса, энергетики и промышленной стратегии. URL: <https://www.gov.uk/government/news/uk-enshrines-new-target-in-law-to-slash-emissions-by-78-by-2035>.ru (дата обращения: 15.11.2023).
3. Международные подходы к углеродному ценообразованию, департамент многостороннего экономического сотрудничества минэкономразвития России. URL: <https://www.economy.gov.ru/material/file/c13068c695b51eb60ba8cb2006dd81c1/13777562.pdf> (дата обращения: 15.11.2023).
4. Федеральный закон от 02.07.2021 № 296-ФЗ «Об ограничении выбросов парниковых газов». [Электронный ресурс]. Официальный сайт компании «КонсультантПлюс». URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_388992/ (дата обращения: 15.11.2023).
5. Программа развития угольной промышленности России на период до 2035 года: Распоряжение Правительства РФ от 13.06.2020 № 1582-р.
6. Утилизация метана угольных шахт в Кузбассе / О.В. Тайлаков, Е.А. Уткаев, М.П. Макеев и др. // Вестник научного центра ВостНИИ по промышленной и экологической безопасности. 2022. С. 59-65.
7. Приказ Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации от 27.05.2022 № 371 «Об утверждении методик количественного определения объемов выбросов

Рис. 1. Пример рабочего окна для добавления и выполнения расчетов

Fig. 1. Example of the working window for adding and performing calculations

Рис. 2. Пример рабочего окна для администрирования

Fig. 2. Example of the working window for administration

- парниковых газов и поглощений парниковых газов». Официальный интернет-портал правовой информации. URL: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202207290034?ysclid=16lw2hyfxi524571327> (дата обращения: 15.11.2023).
8. Количественное определение объемов выбросов парниковых газов на угольных предприятиях / О.В. Тайлаков, Д.Н. Застрелов, А.И. Смыслов и др. // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2018. Специальный выпуск 49. С. 507–514.
 9. Салтымаков Е.А., Уткаев Е.А., Снетова Е.С. Разработка цифровой платформы для количественного учета выбросов шахтного метана в атмосферу // Вестник Научного центра ВостНИИ по промышленной и экологической безопасности. 2023. № 3. С. 51–5810. Цифровая платформа оценки выбросов парниковых газов при угледобыче / Е.А. Уткаев, Е.С. Снетова, А.В. Логинова и др. // Вестник Научного центра ВостНИИ по промышленной и экологической безопасности. 2022. № 4. С. 63–70.

DIGITIZATION

Original Paper

UDC 551.583; 504.054 © O.V. Tajlakov, E.A. Utkaeв, A.V. Loginova, E.S. Snetova, D.S. Mikhalev, 2023
 ISSN 0041-5790 (Print) • ISSN 2412-8333 (Online) • Ugol' – Russian Coal Journal, 2023, № S12, pp. 129-134
 DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2023-S12-129-134>

Title

REGULATING GREENHOUSE GAS EMISSIONS IN COAL-PRODUCING COUNTRIES

Authors

Tajlakov O.V.^{1,2}, Utkaeв E.A.², Loginova A.V.^{2,3}, Snetova E.S.², Mikhalev D.S.²

¹ JSC «Scientific Center of VostNIИ for Industrial and Environmental Safety in the Mining industry», Kemerovo, 650002, Russian Federation

² Federal Research Center of Coal and Coal Chemistry, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, the Coal Institute, Kemerovo, 650000, Russian Federation

³ T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University (KuzSTU), Kemerovo, 650000, Russian Federation

Authors Information

Tajlakov O.V., Doctor of Engineering Sciences, Professor, General Director, Chief Researcher, e-mail: oleg2579@gmail.com

Utkaeв E.A., PhD (Engineering), Head of the Laboratory of Coalbed Methane Resources and Recovery Technologies, e-mail: utkaev@mail.ru

Loginova A.V., Leading Engineer, e-mail: loginova.annett.21@yandex.ru

Snetova E.S., Leading Engineer, e-mail: katya.snetova.97@mail.ru

Mikhalev D.S., Laboratory Assistant, e-mail: mikhalev@mail.ru

Abstract

The article discusses the measures taken to achieve carbon neutrality in the main coal-producing countries. An overview of the carbon markets, energy efficiency, and greenhouse gas emission quotas is given. The approach to calculating fugitive methane emissions in coal mining and subsequent operations with coal is proposed based on the application of modern digital technologies. A client-server solution is justified for designing the software suite. A description is given of the operation sequence to process the initial information and the order of forming the reporting documentation for the inventory of coal mine methane emissions.

Keywords

Greenhouse gases, Carbon dioxide, Methane, Carbon regulation, Law, Energy, Fugitive emissions, Digital platform.

References

1. Resolution of the Government of the Russian Federation No 1228 as of September 21, 2019, "On adoption of the Paris Agreement". [Electronic resource]. Electronic collection of legal, normative and technical documents. Available at: <https://docs.cntd.ru/document/561281256> (accessed 15.11.2023).
2. Department for Business, Energy & Industrial Strategy. Available at: <https://www.gov.uk/government/news/uk-enshrines-new-target-in-law-to-slash-emissions-by-78-by-2035> (accessed 15.11.2023).
3. International approaches to carbon pricing. Department of Multilateral Economic Cooperation of the Ministry of Economic Development of the Russian Federation. Available at: <https://www.economy.gov.ru/material/file/c13068c695b51eb60ba8cb2006dd81c1/13777562.pdf> (accessed 15.11.2023).
4. Federal Law of the Russian Federation No 296-ФЗ as of November 04, 2020, 'On reducing greenhouse gas emissions'. [Electronic resource]. Official website of the ConsultantPlus Company. Available at: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_388992/ (accessed 15.11.2023).

5. Russian Coal Industry Development Program for the Period until 2035: Order of the Government of the Russian Federation as of June 6, 2020, No 1582-r.

6. Tajlakov O.V., Utkaeв E.A., Makeyev M.P. et al. Utilization of coal mine methane in Kuzbass. *Vestnik Nauchnogo tsentra VostNIИ po promyshlennoj i ekologicheskoj bezopasnosti*, 2022, pp. 59–65. (In Russ.).

7. Order of the Ministry of Natural Resources and Environment of the Russian Federation as of May 27, 2022, No 371 "On Approval of Methods of Quantitative Determination of Greenhouse Gas Emissions and Greenhouse Gas Absorption". Official Internet Portal for Legal Information. Available at: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202207290034?ysclid=16lw2hyfxi524571327> (accessed 15.11.2023).

8. Tajlakov O.V., Zastrelov D.N., Smyslov A.I. et al. Quantitative assessment of greenhouse gas emissions at coal enterprises. *Gornyj informatsionno-analiticheskij byulleten'*, 2018, Special Issue No 49, pp. 507–514. (In Russ.).

9. Saltyimakov E.A., Utkaeв E.A. & Snetova E.S. Development of a digital platform for quantitative assessment of mine methane emissions into the atmosphere. *Vestnik Nauchnogo tsentra VostNIИ po promyshlennoj i ekologicheskoj bezopasnosti*, 2023, (3), pp. 51–58. (In Russ.).

10. Utkaeв E.A., Snetkova E.S., Loginova A.V. et al. Digital platform for estimating greenhouse gas emissions from coal mining. *Vestnik Nauchnogo tsentra VostNIИ po promyshlennoj i ekologicheskoj bezopasnosti*, 2022, (4), pp. 63–70. (In Russ.).

Acknowledgements

The research was carried out as part 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 dated May 11, 2022 (Agreement No 075-15-2022-1196).

For citation

Tajlakov O.V., Utkaeв E.A., Loginova A.V., Snetova E.S. & Mikhalev D.S. Regulating greenhouse gas emissions in coal-producing countries. *Ugol'*, 2023, (S12), pp. 129–134. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2023-S12-129-134.

Paper info

Received November 1, 2023

Reviewed November 15, 2023

Accepted November 30, 2023

Результативность оценки предтестовой и клинической вероятности у больных с подозрением на ИБС в реальной клинической практике*

DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2023-S12-135-142>

В реальной клинической практике у значительного числа пациентов при инвазивной коронароангиографии (КАГ) не выявляется значимого поражения коронарных артерий (КА), что приводит к финансовым потерям для системы здравоохранения и подвергает пациентов ненужному риску. В исследование включено 187 пациентов (86 мужчины, 101 женщина), средний возраст $64,3 \pm 9,2$ лет, которые поступили в НИИ КПССЗ для выполнения КАГ. Всем пациентам оценивалась ПТВ по шкале клинических рекомендаций ESC 2019. В случае промежуточных значений ПТВ (5-15%) оценивалась клиническая вероятность по шкале RF-CL. На основании критериев каждой шкалы пациенты были выделены: I группа с низкой ПТВ (<5%, n = 10), II группа с промежуточной ПТВ (5-15%, n = 68) и III группа с высокой ПТВ (> 15%, n = 109). По результатам КАГ отсутствие поражения КА было у всех пациентов с низкой ПТВ, с промежуточной ПТВ неизмененные КА выявлены у 59 (86,8%) пациентов, с высокой ПТВ – у 81 (74,3%) пациента ($p = 0,035$, для тренда). Применение шкалы RF-CL позволило отнести в группу низкой ПТВ 30% пациентов с исходной промежуточной ПТВ. В группе с низкой ПТВ 90,0% пациентов имели интактные КА и 10,0% – стеноз КА < 70%. У трех (4,4%) пациентов диагностирован стеноз КА > 70%

* Результаты получены при поддержке Российской Федерации в лице Министерства науки и высшего образования РФ в рамках Соглашения о предоставлении из федерального бюджета грантов в форме субсидий от 30 сентября 2022 г. № 075-15-2022-1202, 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 из угольного сырья при последовательном снижении экологической нагрузки на окружающую среду и рисков для жизни населения» (утвержденной распоряжением Правительства Российской Федерации от 11 мая 2022 г. № 1144-р).

ЩЕГЛОВА А.В.

Канд. мед. наук, научный сотрудник лаборатории коморбидности при сердечно-сосудистых заболеваниях отдела клинической кардиологии ФГБНУ «Научно-исследовательский институт комплексных проблем сердечно-сосудистых заболеваний», 650002, г. Кемерово, Россия, e-mail: nura.karpovitch@yandex.ru

СУМИН А.Н.

Доктор мед. наук, заведующий лабораторией коморбидности при сердечно-сосудистых заболеваниях отдела клинической кардиологии ФГБНУ «Научно-исследовательский институт комплексных проблем сердечно-сосудистых заболеваний», 650002, г. Кемерово, Россия, e-mail: an_sumin@mail.ru

ОЛЕЙНИК П.А.

Канд. мед. наук, врач-кардиолог, лаборант-исследователь лаборатории коморбидности при сердечно-сосудистых заболеваниях отдела клинической кардиологии ФГБНУ «Научно-исследовательский институт комплексных проблем сердечно-сосудистых заболеваний», 650002, г. Кемерово, Россия, e-mail: pavel.oleinik.1991@mail.ru

КУРБАНГАЛЕЕВА Т.А.

Студентка 4 курса лечебного факультета ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет», 650056, г. Кемерово, Россия, e-mail: tanya_kur00@mail.ru

ПЕТРОВА М.А.

Студентка 4 курса лечебного факультета ФГБОУ ВО
«Кемеровский государственный университет»,
650056, г. Кемерово, Россия,
e-mail: petrovamasha1904@icloud.com

КАШТАЛАП В.В.

Доктор мед. наук, заведующий отделом
клинической кардиологии ФГБНУ
«Научно-исследовательский институт комплексных
проблем сердечно-сосудистых заболеваний»,
650002, г. Кемерово, e-mail: v_kash@mail.ru

БАРБАРАШ О.Л.

Академик РАН, директор
ФГБНУ «Научно-исследовательский
институт комплексных проблем
сердечно-сосудистых заболеваний»,
650002, г. Кемерово, Россия,
e-mail: reception@kemcardio.ru

только в группе с промежуточной ПТВ ($p=0,041$). Пациент в группе с высокой ПТВ имел неизменные КА. При проведении КАГ частота выявления обструктивных поражений КА составила 14% у пациентов с подозрением на ИБС и 7% – среди всех обследованных больных. В группе с высокой ПТВ была достоверно выше частота выявления обструктивной ИБС. Оценка клинической вероятности ИБС позволяет реклассифицировать в группу с низкой вероятностью обструктивной ИБС дополнительно 30% больных с исходной промежуточной ПТВ.

Ключевые слова: хронический коронарный синдром, предтестовая вероятность, клиническая вероятность, коронарная ангиография, реальная клиническая практика, диагностический алгоритм.

Для цитирования: Результативность оценки предтестовой и клинической вероятности у больных с подозрением на ИБС в реальной клинической практике / А.В. Щеглова, А.Н. Сумин, П.А. Олейник и др. // Уголь. 2023. № S12. С. 135-142. DOI: 10.18796/0041-5790-2023-S12-135-142.

ВВЕДЕНИЕ

Ишемическая болезнь сердца (ИБС) занимает лидирующую позицию в структуре сердечно-сосудистой смертности и заболеваемости [1]. В связи с этим особое внимание уделяется своевременной верификации ИБС. В современных российских и европейских клинических рекомендациях по стабильной (хронической) ИБС предложены диагностические алгоритмы для оценки вероятности обструктивного поражения коронарных артерий, основанные на оценке предтестовой вероятности (ПТВ) и на проведении неинвазивных диагностических тестов [2, 3]. Однако в реальной клинической практике у значительного числа пациентов при инвазивной коронароангиографии (КАГ) не выявляется значимого поражения коронарных артерий (КА) [4, 5, 6], что приводит к финансовым потерям для системы здравоохранения от выполнения нецелесообразных исследований и подвергает пациентов ненужному риску от инвазивной процедуры [7]. Число пациентов с подозрением на ИБС без выявления атеросклеротического поражения при проведении КАГ может существенно колебаться, в некоторых крупных регистровых исследованиях оно достигает 50% и более [8, 9].

Это можно объяснить как несоблюдением существующих клинических рекомендаций в диагностике ИБС, так и отличиями в контингенте обследованных пациентов в регистрах (клапанные пороки сердца, нарушения ритма, трансплантированные сердца и др). Недавно опубликованные результаты регистра EURECA показали, что при соблюдении рекомендаций ЕОК от 2019 г. частота выявления обструктивных поражений коронарных артерий увеличивается до 60% [10].

Стоит отметить, что в современных клинических рекомендациях оценка ПТВ проводится по шкале, основанной на таких показателях, как возраст, пол и характеристика болевого синдрома в грудной клетке [1, 2]. Однако эта шкала не учитывает факторы риска сердечно-сосудистых заболеваний, которые имеют доказанный вклад в развитие ИБС. В 2020 г. была предложена модель оценки клиниче-

ской вероятности обструктивной ИБС (*risk factor-weighted clinical likelihood – RF-CL*), модифицированная с учетом факторов риска, таких как артериальная гипертензия, сахарный диабет, курение, дислипидемия и наследственный анамнез. Используя категории факторов риска (0-1, 2-3 или 4-5) с учетом пола, возраста и симптомов, данная модель позволила реклассифицировать в категорию с более низким риском обструктивной ИБС (< 5%) 38,4% пациентов, в то время как согласно модели оценки ПТВ ЕОК-2019 таких пациентов было всего 11,1% [11]. Это послужило основанием для проведения данного исследования, целью которого было оценить возможности ПТВ и клинической вероятности у пациентов с подозрением на ИБС.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

В данное исследование было включено 187 пациентов (86 мужчины, 101 женщина) в возрасте от 36 до 85 лет (средний возраст – $64,3 \pm 9,2$ лет), которые поступили в НИИ КПССЗ (отделение хирургического лечения сложных нарушений ритма сердца и электрокардиостимуляции) для проведения плановой КАГ в период с сентября по декабрь 2020 г. Учитывая основные показания к проведению КАГ, в структуре исследуемой группы преобладали лица с подозрением на ИБС или пациенты, которые уже имели документированную ИБС и нуждались в окончательной верификации коронарного атеросклероза (49%), значительную часть составили пациенты с нарушениями ритма и проводимости (28%), пациенты с дилатационной кардиомиопатией (5%), а также пациенты с пороками сердца (14%) для предоперационного обследования, включающего проведение КАГ (рис. 1).

У всех пациентов была проведена оценка ПТВ по шкале клинических рекомендаций ЕОК-2019. Никому из пациентов перед проведением КАГ не проводились на амбулаторном этапе нагрузочные тесты, МСКТ-ангиография коронарных сосудов, оценка кольцевого индекса. В случае промежуточных значений ПТВ (5-15%) у пациентов оценивалась клиническая вероятность обструктивной ИБС

по шкале RF-CL, учитывая не только пол, возраст, характер жалоб, но и факторы риска: наличие артериальной гипертензии, нарушение липидного профиля, сахарный диабет, курение. На основании критериев каждой шкалы пациенты были разделены на 3 группы (рис. 2): I группа с низкой ПТВ (< 5%, n = 10), II группа с промежуточной ПТВ (5-15%, n = 68) и III группа с высокой ПТВ (> 15%, n = 109).

После оценки ПТВ всем больным проводилось комплексное обследование (электрокардиограмма, эхокардиография (Эхо-КГ), цветное дуплексное сканирование экстракраниальных артерий). Для оценки структурных изменений КА выполнялась КАГ с помощью ангиографических установок. Степень стенозирования просвета КА определялась следующим образом: 0% – отсутствие стеноза КА, ≤ 70% – неструктивное поражение КА, > 70% – обструктивное поражение КА (гемодинамически значимое).

Для статистической обработки материала использовали пакет программ *StatSoft Statistica 10.0* (США). Проверку распределения количественных данных осуществляли с помощью критерия Шапиро-Уилка. Учитывая, что распределение всех количественных признаков отличалось от нормального, они представлены в виде медианы, верхний и нижний квартили (Me [Q 25; 75]). Для сравнения групп применяли критерий Крускала-Уоллеса, Манна-Уитни и χ^2 . При малом числе наблюдений использовали точный критерий Фишера с поправкой Йетса. Для решения проблемы множественных сравнений использовали поправку Бонферрони. Различия считались статистически значимыми при $p < 0,05$.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Клиническая характеристика исследуемой группы пациентов приведена в табл. 1. Ожидаемо, пациенты в группе с промежуточной и высокой ПТВ статистически достоверно были старше, чем пациенты с низкой ПТВ ($p < 0,001$). В группе I (низкая ПТВ) доля мужчин составляла 50,0%, в группе II (промежуточная ПТВ) было больше женщин (89,7%), в группе III (высокая ПТВ) преобладали мужчины – 67,9% ($p < 0,001$ для тренда). У пациентов с высокой ПТВ статистически значимо чаще наблюдались клиника стенокардии и перенесенный инфаркт миокарда в анамнезе по сравнению с группой больных с низкой и промежуточной ПТВ ($p < 0,001$). Артериальная гипертензия была выявлена у большинства обследованных пациентов (90,0%, 94,1% и 95,4%) ($p = 0,744$). Группы не имели значимых различий по распространенности сахарного диабета в анамнезе ($p = 0,453$), инсульта в анамнезе ($p = 0,384$), нарушений ритма ($p = 0,076$), атеросклеротического поражения некоронарных артериальных бассейнов ($p > 0,05$). Анализ шкалы для оценки клинической вероят-



Рис. 1. Структура исследуемой группы

Fig. 1. Structure of the surveyed group



Рис. 2. Дизайн исследования
Fig. 2. Study design

Сравнительная характеристика основных клинико-демографических показателей в сравниваемых группах

Таблица 1

Comparative characteristics of the main clinical and demographic parameters in the compared groups

| Показатели | I группа ПТВ ≤ 5% (n = 10) | II группа ПТВ 5-15 % (n = 68) | III группа ПТВ > 15 % (n = 109) | p |
|--|----------------------------------|-------------------------------------|---------------------------------------|--------|
| Возраст, лет Me [Q1;Q3] | 40,5 [38,0;49,0] | 65,0 [60,0;70,5]* | 67,0 [61,0;70,0] * | <0,001 |
| Мужчины (n, %) | 5(50,0) | 7(10,3) * | 74(67,9) # | <0,001 |
| ИМТ, кг/м ² , Me [Q1;Q3] | 28,6 [24,8;37,3] | 30,6 [26,1;34,8] | 28,4 [25,3;33,4] | 0,463 |
| Клиническая характеристика | | | | |
| ФК стенокардии 0 (n, %) | 9(90,0) | 47(69,1) | 42(38,5) #* | <0,001 |
| I (n, %) | 1(10,0) | 9(13,2) | 24(22,0) | 0,266 |
| II (n, %) | 0 | 12(17,7) | 40(36,7) #* | 0,004 |
| III (n, %) | 0 | 0 | 3(2,8) | 0,335 |
| ХСН 0 (n, %) | 6(60,0) | 36(52,9) | 59(54,1) | 0,915 |
| I (n, %) | 1(10,0) | 11(16,8) | 17(15,6) | 0,881 |
| IIA (n, %) | 3(30,0) | 18(26,5) | 31(28,4) | 0,948 |
| IIБ (n, %) | 0 | 3(4,41) | 2(1,83) | 0,506 |
| Сопутствующая патология | | | | |
| ИБС в анамнезе (n, %) | 3(30,0) | 22(32,4) | 69(63,3) #* | <0,001 |
| Инфаркт в анамнезе (n, %) | 1(10,0) | 0 | 3(2,75) | 0,098 |
| АГ в анамнезе (n, %) | 9(90,0) | 64(94,1) | 104(95,4) | 0,744 |
| Инсульт в анамнезе (n, %) | 0 | 11(16,2) | 15(13,8) | 0,384 |
| СД в анамнезе (n, %) | 1(10,0) | 16(23,5) | 19(17,4) | 0,453 |
| Нарушения ритма (n, %) | 2(22,2) | 42(61,8) | 64(58,7) | 0,076 |
| Наличие стенозов каротидных артерий (n, %) | 0 | 9(13,2) | 17(15,6) | 0,386 |
| Наличие стенозов артерий нижних конечностей (n, %) | 0 | 2(2,94) | 4(3,7) | 0,972 |
| Клиническая вероятность RF WCL% Me [Q1;Q3] | 2,0(1,0;2,0) # | 6,0(4,0;10,0) | 17,0(14,0;27,0)* # | <0,001 |

Примечание: ИМТ – индекс массы тела, ФК – функциональный класс, ИБС – ишемическая болезнь сердца, АГ – артериальная гипертензия, СД – сахарный диабет, RF WCL – risk factor–weighted clinical likelihood. *– p < 0,05 по сравнению с группой 1; #– p < 0,05 по сравнению с группой 2.

ности обструктивного поражения коронарного русла показал статистически значимые различия с более высокими значениями в группе с высокой ПТВ (Me 17,0%), чем в группе с промежуточной ПТВ (Me 6,0%) и низкой ПТВ (Me 2,0%, p < 0,001).

Из анализа лабораторных данных установлено, что уровень глюкозы, холестерина, креатинина и мочевой кислоты был сопоставим во всех группах (p > 0,05). По данным ЭхоКГ также не было обнаружено достоверных различий в структурных и функциональных параметрах левых от-

Сравнительная характеристика основных лабораторных и ЭХО-КГ показателей в выделенных группах

Comparative characteristics of the main laboratory and echocardiogram parameters in the selected groups

| Показатели | I группа ПТВ ≤ 5% (n = 10) | II группа ПТВ 5-15% (n = 68) | III группа ПТВ > 15% (n = 109) | p |
|--|----------------------------------|------------------------------------|--------------------------------------|-------|
| Лабораторные показатели | | | | |
| Общий холестерин, ммоль/л Ме [Q1;Q3] | 4,7[3,8;5,8] | 4,7[3,7;5,4] | 4,4[3,5;5,3] | 0,713 |
| Креатинин, мкмоль/л Ме [Q1;Q3] | 82,5[78,0;98,0] | 83,9[70,0;98,0] | 91,2[74,0;100,0] | 0,535 |
| Глюкоза, ммоль/л Ме [Q1;Q3] | 5,4[5,4;5,8] | 5,6[5,1;6,4] | 5,8[5,1;6,5] | 0,688 |
| Мочевая кислота, мкмоль/л Ме [Q1;Q3] | 6,6[5,6;7,6] | 6,7[5,2;8,6] | 6,2[5,1;7,4] | 0,434 |
| СКФ, Ме [Q1;Q3] | 104,1[83,0;112,1] | 74,8[58,9;112,0] | 79,3[64,8;114,5] | 0,277 |
| Данные ЭХО-КГ | | | | |
| Структурные показатели и систолической функции ЛЖ | | | | |
| ЛП, мм Ме [Q1;Q3] | 4,4[3,9;5,2] | 4,5[3,9;5,0] | 4,4[3,9;5,0] | 0,993 |
| КДР ЛЖ, мм Ме [Q1;Q3] | 5,6[5,2;6,9] | 5,3[5,0;5,7] | 5,4[5,0;6,0] | 0,419 |
| КСР ЛЖ, мм Ме [Q1;Q3] | 4,6[3,6;6,1] | 3,5[3,2;3,9] | 3,5[3,2;4,7] | 0,121 |
| КДО ЛЖ, мл МЕ [Q1;Q3] | 131,6[130,0;231,0] | 135,0[117,0;150,0] | 124,0[107,0;154,0] | 0,311 |
| КСО ЛЖ, мл МЕ [Q1;Q3] | 98,0[54,3;160,0] | 49,0[38,0;62,0] | 47,4[38,0;62,0] | 0,056 |
| ФВ ЛЖ, % МЕ [Q1;Q3] | 61,6[43,0;64,0] | 64,5[62,0;67,0] | 64,0[62,0;65,7] | 0,092 |
| МЖПд, см МЕ [Q1;Q3] | 1,4[1,0;1,7] | 1,2[1,05;1,3] | 1,2[1,0;1,3] | 0,776 |
| ЗСЛЖд, см МЕ [Q1;Q3] | 1,2[1,0;1,5] | 1,2[1,0;1,3] | 1,1[1,0;1,3] | 0,764 |
| Показатели диастолической функции ЛЖ | | | | |
| Е, см/сек, Ме [Q1;Q3] | 60,0[46,0;121,0] | 66,5[54,5;83,0] | 61,0[53,0;79,0] | 0,925 |
| А, см/сек, МЕ [Q1;Q3] | 81,0[54,0;95,0] | 74,5[47,0;88,0] | 60,0[35,0;80,0] | 0,529 |
| Е/А, Ме [Q1;Q3] | 1,1[0,57;1,27] | 0,94[0,7;1,4] | 1,3[0,82;1,74] | 0,424 |

Примечание: СКФ – скорость клубочковой фильтрации, ЛП – диаметр левого предсердия; КДР ЛЖ – конечный диастолический размер левого желудочка; КСР ЛЖ – конечный систолический размер левого желудочка; КДО ЛЖ – конечный диастолический объем левого желудочка; КСО ЛЖ – конечный систолический объем левого желудочка; ФВ ЛЖ – фракция выброса левого желудочка; МЖПд – толщина межжелудочковой перегородки в диастолу; ЗСЛЖд – толщина задней стенки левого желудочка в диастолу; Е – скорость раннего диастолического наполнения левого желудочка; А – скорость позднего диастолического наполнения левого желудочка; Е/А – отношение раннего и позднего диастолического трансмитрального потока.

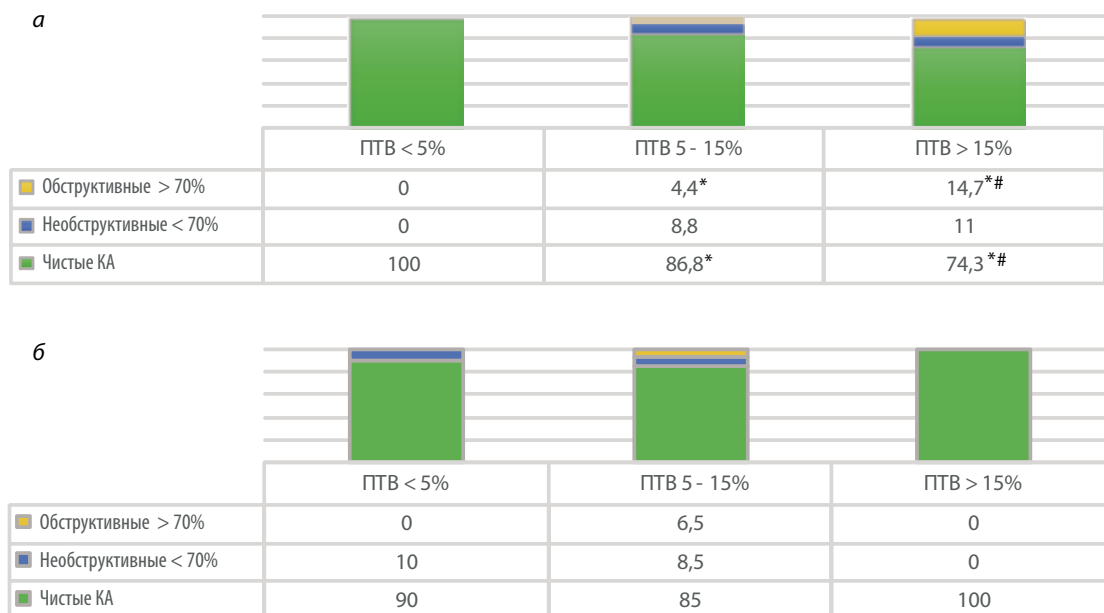


Рис. 3. Распределение пациентов по наличию обструктивных поражений в различных диагностических алгоритмах (шкала ПТВ, шкалы RF-CL): а – на основе предтестовой вероятности у всех пациентов (n = 187); б – на основе клинической вероятности по шкале RF-CL у пациентов с промежуточной ПТВ (n = 68)

Fig. 3. Distribution of patients according to presence of obstructive lesions in different diagnostic algorithms (pre-test probability scale, RF-CL scales)

делов сердца между исследуемыми группами ($p > 0,05$) (табл. 2).

Анализ результатов проведенной КАГ показал (рис. 3, а), что отсутствие поражения коронарного русла было у всех пациентов с низкой ПТВ (< 5%), у пациентов с промежуточной ПТВ (5-15%) неизмененные КА выявлены у 59 (86,8%) пациентов, а в группе с высокой ПТВ (> 15%) – у 81 (74,3%) пациента ($p = 0,035$, для тренда). При этом статистически значимо с большей частотой обструктивное поражение коронарных артерий (стенозы > 70%) прослеживалось у пациентов с высокой ПТВ (14,7%) ($p = 0,004$).

На основе анализа шкалы ESC 2019 промежуточную ПТВ имели 68 пациентов (36,4%), которые составили вторую группу наблюдения. Анализ основных факторов риска с применением шкалы RF-CL в этой группе показал, что только 47 (69,1%) пациентов остались в группе с промежуточной ПТВ (5-15%), 20 пациентов (29,4%) были более правильно расклассифицированы в диапазон с низкой ПТВ (> 5%) и лишь один пациент (1,5%) был отнесен в группу с высокой ПТВ (> 5%). Мы провели дополнительный анализ распределения пациентов по наличию обструктивных поражений КА по данным КАГ с учетом реклассификации ПТВ (рис. 3, б). Как показано на диаграмме, у трех (4,4%) пациентов диагностированы гемодинамически значимые поражения КА только в группе с промежуточной ПТВ ($p = 0,041$). В группе с низкой ПТВ 90,0% пациентов имели интактные КА и 10,0% – необструктивное поражение КА < 70%. Единственный пациент в группе высокой ПТВ имел неизмененные КА.

ОБСУЖДЕНИЕ

В настоящем исследовании показано, что частота выявления любых поражений коронарных артерий была невысокой (14% в целом среди всех обследованных и 28% у больных с подозрением на ИБС). Процент выявления обструктивных поражений был еще и ниже – 7% и 14% соответственно. Оценка ПТВ является информативным показателем в предсказании наличия обструктивной ИБС. Дополнительное определение клинической вероятности позволяет реклассифицировать в группу низкой вероятности обструктивной ИБС 30% больных с исходной промежуточной ПТВ.

Частота выявления обструктивной ИБС при инвазивной КАГ в настоящем исследовании оказалась заметно ниже, чем в большинстве ранее проведенных исследований, в которых она составляла около 40% [4]. Такие различия можно объяснить несколькими причинами. Во-первых, частота выявления обструктивных поражений зависит от показаний для направления на КАГ. Известно, что при проведении данного исследования перед другими операциями на сердце (нарушения ритма, клапанные пороки сердца) реже выявляются существенные поражения коронарных артерий, чем при подозрении на ИБС [5]. В силу этого обстоятельства существует известная вариабельность в выявлении обструктивной ИБС между различными медицинскими центрами (в том числе в зависимости от наличия или отсутствия кардиохирургической клиники в составе) [12]. Во-вторых, мы не стали включать в анализ тех

пациентов, у которых состояние коронарного русла уже было известно, поскольку мы хотели оценить возможности клинической оценки пациентов в предсказании последующих результатов КАГ.

Наиболее близкая к нашим данным частота обструктивных поражений коронарных артерий среди больных с подозрением на ИБС отмечена в исследовании *Winther S.* и соавт. [13]. При обследовании 42 328 больных в *Western Denmark Heart Registry* обструктивная ИБС выявлена в 8,8% случаев. При этом следует учесть, что при этом как обструктивные учитывали стенозы коронарных артерий $\geq 50\%$ и/или ФРК < 0,8 при инвазивной КАГ. Соответственно, частота реваскуляризации миокарда была невысокой от общего числа обследованных больных (ЧКВ – 5,2%, АКШ – 1,6%) [13]. Исходя из таких результатов, можно согласиться с мнением, высказанным в комментариях к данной статье, что «коронарные стенозы у пациентов с подозрением на обструктивную болезнь коронарных артерий – исключение, а не правило!» [14]. Несмотря на то, что результаты этого исследования вполне согласуются с нашими данными, приходится признать, что в статье *Winther S.* и соавт. в качестве теста первой линии использовали МСКТ-ангиографию коронарных артерий. При этом тесте обструктивные поражения коронарных артерий выявлены в 23,6% случаев, а необходимость проведения инвазивной КАГ была только у 19% больных [13]. Как мы видим, сходные с нами результаты в данном исследовании удалось получить с использованием преимущественно неинвазивного метода диагностики состояния коронарного русла.

Другим способом повышения продуктивности инвазивной КАГ в выявлении значимых коронарных стенозов является строгое выполнение диагностического алгоритма, предложенного ЕОК [1, 11]. Так, оценка клинической вероятности в ретроспективном анализе при применении модели RF-CL позволила реклассифицировать в категорию низкого риска дополнительно 27,3% больных. То есть при использовании только ПТВ к низкому риску были отнесены 11,1% пациентов, при использовании модели оценки клинической вероятности – уже 38,4% [11]. Это вполне согласуется с полученными данными в нашем исследовании. Кроме того, в недавнем регистре *EURECA* приверженность к алгоритму выполнения неинвазивных и инвазивных тестов в диагностике обструктивной ИБС позволило существенно повысить частоту выявлений значимых поражений коронарных артерий (с 40% при невыполнении рекомендаций до 60%) [10]. В этом исследовании были включены больные не только с подозрением на ИБС, но и с уже известным диагнозом ИБС, поэтому и частота выявления обструктивных поражений была выше, чем в настоящем исследовании. При этом важно отметить, что отсутствие любых атеросклеротических поражений КА вовсе не исключает наличие ИБС у пациента, если имеется подтвержденная нагрузочными тестами транзиторная коронарная недостаточность. У пациентов с необструктивной ИБС может быть так называемая «болезнь мелких артерий». Именно поэтому вслед за оценкой ПТВ и клинической вероятности ИБС пациента необходимо направлять для проведения нагрузочных тестов, а не на инвазивную КАГ.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В обследованной нами когорте больных при проведении инвазивной КАГ частота выявления обструктивных поражений коронарных артерий составила 14% у пациентов с подозрением на ИБС и 7% среди всех обследованных больных. В группе с высокими значениями ПТВ была достоверно выше частота выявления обструктивной ИБС. Дополнительная оценка клинической вероятности ИБС позволяет реклассифицировать в группу с низкой вероятностью обструктивной ИБС дополнительно 30% больных с исходной промежуточной ПТВ. Для увеличения частоты выявления обструктивной ИБС при инвазивной КАГ следует оценивать не только предтестовую и клиническую вероятность, но также шире использовать оценку кальциевого индекса, проводить КТ-ангиографию коронарных артерий и нагрузочные тесты.

Список литературы

1. The World Health Organization the top ten causes of death fact sheet. URL: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs310/en/> (9 December 2020) (дата обращения: 15.11.2023).
2. Стабильная ишемическая болезнь сердца. Клинические рекомендации 2020 // Российский кардиологический журнал. 2020. № 25(11). 4076. DOI: 10.15829/1560-4071-2020-4076.
3. ESC Scientific Document Group. 2019 ESC Guidelines for the diagnosis and management of chronic coronary syndromes / J. Knuuti, W. Wijns, A. Saraste et al. // Eur. Heart. J. 2020. № 41(3). P. 407-77. DOI: 10.1093/eurheartj/ehz425.
4. Prevalence and predictors of nonobstructive coronary artery disease identified with coronary angiography in contemporary clinical practice / M.R. Patel, D. Dai, A.F. Hernandez et al. // Am. Heart. J. 2014. 167(6). P. 846-52. DOI: 10.1016/j.ahj.2014.03.001.
5. Частота выявления интактных коронарных артерий в зависимости от показаний для плановой коронарной ангиографии / Е.В. Корок, А.Н. Сумин, М.А. Синьков и др. // Российский кардиологический журнал. 2016. № 2. P. 52-59. DOI: 10.15829/1560-4071-2016-2-52-59.
6. Стеноз коронарных артерий: всегда ли обоснована реваскуляризация? / А.С. Коротин, О.М. Посненкова, А.Р. Киселев и др. // Комплексные проблемы сердечно-сосудистых заболеваний. 2019. № 8(1). С. 42-51. DOI: 10.17802/2306-1278-2019-8-1-42-51.
7. Предтестовая вероятность ишемической болезни сердца как фактор оптимизации инвазивной диагностики в реальной клинической практике / М.А. Симонян, Т.Ю. Калюта, Е.Н. Генкал и др. // Российский кардиологический журнал. 2022. № 27(1). 4765. DOI: 10.15829/1560-4071-2022-4765.
8. Атамась О.В., Антонюк М.В. Факторы риска и степень поражения коронарных артерий у больных с ишемической болезнью сердца // Acta biomedical scientifica. 2023. № 8(2). С. 93-102. DOI: 10.29413/ABS.2023-8.2.
9. Карапетян Н.Г. Рентгенэндоваскулярная диагностика и лечение заболеваний сердца и сосудов в Российской Федерации, 2017 год / Б.Г. Алекян, А.М. Григорьян, А.В. Стаферов и др. // Эндоваскулярная хирургия. 2018. № 2. С. 93-240. DOI: 10.24183/2409-4080-2018-5-2-93-240.
10. EURECA Investigators. Use of cardiac imaging in chronic coronary syndromes: the EURECA Imaging registry / D. Neglia, R. Liga, A. Gimelli et al. // Eur. Heart. J. 2023. No 44(2). P. 142-158. DOI: 10.1093/eurheartj/ehac640].
11. Incorporating Coronary Calcification Into Pre-Test Assessment of the Likelihood of Coronary Artery Disease / S. Winther, S.E. Schmidt, T. Mayrhofer, et al. // J. Am. Coll. Cardiol. 2020. No 76(21). P. 2421-2432. DOI: 10.1016/j.jacc.2020.09.585.
12. Hospital variability in the rate of finding obstructive coronary artery disease at elective, diagnostic coronary angiography / P.S. Douglas, M.R. Patel, S.R. Bailey et al. // J. Am. Coll. Cardiol. 2011. No 58(8). P. 801-809. DOI: 10.1016/j.jacc.2011.05.019.
13. Validation of the European Society of Cardiology pre-test probability model for obstructive coronary artery disease / Winther S., Schmidt S.E., Rasmussen L.D. et al. // Eur. Heart. J. 2021. No 42(14). P. 1401-1411. DOI: 10.1093/eurheartj/ehaa755.
14. Sechtem U., Ong P. Coronary stenoses in patients suspected to have obstructive coronary artery disease: the exemption rather than the rule! // Eur. Heart. J. 2021. No 42(14). P. 1412-1414. DOI: 10.1093/eurheartj/ehaa762.

Original Paper

UDC 616.127-005.4-07 © A.V. Shcheglova, A.N. Sumin, P.A. Oleinik, T.A. Kurbangaleeva, M.A. Petrova, V.V. Kashtalap, O.L. Barbarash, 2023
ISSN 0041-5790 (Print) • ISSN 2412-8333 (Online) • Ugol' – Russian Coal Journal, 2023, № S12, pp. 135-142
DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2023-S12-135-142>

Title

EFFECTIVENESS OF PRE-TEST AND CLINICAL PROBABILITY ASSESSMENT IN PATIENTS WITH SUSPECTED CORONARY HEART DISEASE IN REAL CLINICAL PRACTICE

Authors

Shcheglova A.V.¹, Sumin A.N.¹, Oleinik P.A.¹, Kurbangaleeva T.A.², Petrova M.A.², Kashtalap V.V.¹, Barbarash O.L.¹

¹ Federal State Budgetary Scientific Institution "Research Institute of Complex Problems of Cardiovascular Diseases", Kemerovo, 650002, Russian Federation
² Kemerovo State University", Kemerovo, 650056, Russian Federation

Authors Information

Shcheglova A.V., PhD (Medical), Researcher at the Laboratory of Comorbidity in Cardiovascular Diseases of the Department of Clinical Cardiology, e-mail: nura.karpovitch@yandex.ru

Sumin A.N., Doctor of Medical Sciences, Head of the Laboratory of Comorbidity in Cardiovascular Diseases of the Department of Clinical Cardiology, e-mail: an_sumin@mail.ru

PREVENTIVE HEALTH CARE

Oleinik P.A., PhD (Medical), Cardiologist, Laboratory Assistant of Comorbidity in Cardiovascular Diseases of the Department of Clinical Cardiology, e-mail: pavel.oleinik.1991@mail.ru

Kurbangaleeva T.A., 4rd year student of the Faculty of Medicine, e-mail: tanya_kur00@mail.ru

Petrova M.A., 4rd year student of the Faculty of Medicine, e-mail: petrovamasha1904@icloud.com

Kashtalap V.V., Doctor of Medical Sciences, Head of the Department of Clinical Cardiology, e-mail: v_kash@mail.ru

Barbarash O.L., Academician of the Russian Academy of Sciences, Director, e-mail: reception@kemcardio.ru

Abstract

Background. In real clinical practice, a significant number of patients with invasive coronary angiography (CAG) do not show significant damage to the coronary arteries (CA), which leads to financial losses for the healthcare system and exposes patients to unnecessary risk.

Objective: to evaluate the possibilities of pre-test probability (PTV) and clinical probability in patients with suspected coronary artery disease.

Methods. The study included 187 patients (86 male, 101 female) with an average age of 64.3 ± 9.2 years, who were admitted to the Institution Research Institute for Complex Issues of Cardiovascular Diseases to perform CAG. All patients were evaluated by PTV according to the ESC 2019 scale of clinical recommendations. In the case of intermediate values of PTV (5-15%), the clinical probability was evaluated on the RF-CL scale. Based on the criteria of each scale, patients were allocated: group I with low PTV (<5%, n=10), group II with intermediate PTV (5-15%, n=68) and group III with high PTV (>15%, n=109).

Results. According to the results of CAG, the absence of CA lesion was in all patients with low PTV, with intermediate PTV, unchanged CA was detected in 59 (86.8%) patients, with high PTV in 81 (74.3%) patients ($p=0.035$, for trend). The use of the RF-CL scale allowed 30% of patients with initial intermediate PTV to be assigned to the low PTV group. In the group with low PTV, 90.0% of patients had intact CA and 10.0% had CA stenosis <70%. 3 (4.4%) patients were diagnosed with CA stenosis > 70% only in the group with intermediate PTV ($p=0.041$). The patient in the high PTV group had unchanged CA.

Conclusion. During CAG, the frequency of detection of obstructive CA lesions was 14% in patients with suspected coronary artery disease and 7% among all examined patients. In the group with high PTV, the frequency of detection of obstructive coronary artery disease was significantly higher. The assessment of the clinical probability of coronary artery disease allows to reclassify an additional 30% of patients with initial intermediate PTV into the group with a low probability of obstructive coronary artery disease.

Keywords

Chronic coronary syndrome, Pre-test probability, Clinical probability, Coronary angiography, Real clinical practice, Diagnostic algorithm.

References

1. The World Health Organization the top ten causes of death fact sheet. Available at: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs310/en/> (9 December 2020) (accessed 15.11.2023).
2. Clinical practice guidelines for Stable coronary artery disease. *Rossiiskij Cardiologicalicheskiy zhurnal*, 2020;25(11):4076. (In Russ.).
3. Knuuti J., Wijns W., Saraste A., et al. ESC Scientific Document Group. 2019 ESC Guidelines for the diagnosis and management of chronic coronary syndromes. *Eur. Heart. J.*, 2020;41(3):407-77. DOI: 10.1093/eurheartj/ehz425.
4. Patel M.R., Dai D., Hernandez A.F., Douglas P.S., Messenger J., Garratt K.N. et al. Prevalence and predictors of nonobstructive coronary artery disease identified with coronary angiography in contemporary clinical practice. *Am. Heart. J.*, 2014;167(6):846-52. DOI: 10.1016/j.ahj.2014.03.001.

5. Korok E.V., Sumin A.N., Sinkov M.A., Nagirnyak O.A., Chichkova T.Yu. & Barbarash L.S. The prevalence of intact coronary arteries in relation with indications for scheduled coronary arteriography. *Rossiiskij Cardiologicalicheskiy zhurnal*, 2016;2:52-9. (In Russ.).

6. Korotin A.S., Posnenkova O.M., Kiselev A.R., Popova Yu.V. & Gridnev V.I. Coronary artery stenosis: is revascularization always reasonable? *Kompleksnyye problemy serdechno-sosudistykh zabolevanij*, 2019;8(1):42-51. (In Russ.).

7. Simonyan M.A., Kalyuta T.Yu., Genkal E.N. et al. Pretest probability of coronary artery disease as a factor for optimizing invasive diagnostics in routine clinical practice. *Rossiiskij Cardiologicalicheskiy zhurnal*, 2022;27(1):4765. (In Russ.).

8. Atamas O.V. & Antonyuk M.V. Analysis of coronary artery lesion degree and related risk factors in patients with coronary heart disease. *Acta biomedica scientifica*, 2023;8(2): 93-102. (In Russ.).

9. Alekyan B.G., Grigor'yan A.M., Staferov A.V. & Karapetyan N.G. Endovascular diagnostics and treatment in the Russian Federation (2017). *Endovaskul'yarnaya hirurgiya*, 2018;2:93-240. (In Russ.).

10. Neglia D., Liga R., Gimelli A., Podlesnikar T., Cvijic M., Pontone G. et al. EURECA Investigators. Use of cardiac imaging in chronic coronary syndromes: the EURECA Imaging registry. *Eur. Heart. J.*, 2023;44(2):142-158. DOI: 10.1093/eurheartj/ehac640].

11. Winther S., Schmidt S.E., Mayrhofer T. et al. Incorporating Coronary Calcification Into Pre-Test Assessment of the Likelihood of Coronary Artery Disease. *J. Am. Coll. Cardiol.*, 2020;76(21):2421-2432. DOI: 10.1016/j.jacc.2020.09.585.

12. Douglas P.S., Patel M.R., Bailey S.R., Dai D., Kaltenbach L., Brindis R.G., Messenger J. & Peterson E.D. Hospital variability in the rate of finding obstructive coronary artery disease at elective, diagnostic coronary angiography. *J. Am. Coll. Cardiol.*, 2011 Aug 16;58(8):801-809. DOI: 10.1016/j.jacc.2011.05.019.

13. Winther S., Schmidt S.E., Rasmussen L.D., Juárez Orozco L.E., Stefensen F.H., Bøtker H.E., Knuuti J. & Böttcher M. Validation of the European Society of Cardiology pre-test probability model for obstructive coronary artery disease. *Eur. Heart. J.*, 2021 Apr 7;42(14):1401-1411. DOI: 10.1093/eurheartj/ehaa755.

14. Sechtem U. & Ong P. Coronary stenoses in patients suspected to have obstructive coronary artery disease: the exemption rather than the rule! *Eur. Heart. J.*, 2021;42(14):1412-1414. DOI: 10.1093/eurheartj/ehaa762.

Acknowledgements

The study was supported by the Russian Federation, specifically the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation, under the Agreement for providing grant funding in the form of subsidies from the federal budget, dated September 30, 2022, No 075-15-2022-1202. The study is a part of a comprehensive scientific and technological program of the full innovation cycle, entitled "Development and implementation of technologies in the fields of solid mineral exploration and extraction, industrial safety, bioremediation, and the creation of new products through deep coal processing, all with a gradual reduction of environmental impact and risks to the population's well-being". This initiative was established by the Russian Government's decree No 1144-r on May 11, 2022.

For citation

Shcheglova A.V., Sumin A.N., Oleinik P.A., Kurbangaleeva T.A., Petrova M.A., Kashtalap V.V. & Barbarash O.L. Effectiveness of pre-test and clinical probability assessment in patients with suspected coronary heart disease in real clinical practice. *Ugol*, 2023, (S12), pp. 135-142. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2023-S12-135-142.

Paper info

Received November 1, 2023

Reviewed November 15, 2023

Accepted November 30, 2023

Комплексные услуги БВР



Мы помогаем эффективно разрабатывать месторождения твердых полезных ископаемых на горнодобывающих предприятиях.

Основная специализация — подготовка и производство массовых взрывов

Взрывчатые вещества



Производство гранулированных и эмульсионных ВВ для различных климатических, гидро- и горно-геологических условий: Гранулит МК, РПГМ, РПГМ ПС

Профилактические средства



Решаем проблему пыления и смерзания угля в зимний период за счет применения профилактических средств собственной разработки: АСП-К, АСП-М, АСП-В и АП

430 000

тыс. куб. м взорванной горной массы за 2023 год

224 000

тонн ежегодный выпуск взрывчатых веществ

2500+

массовых взрывов в год в Кузбассе

1400+

профессионалов в штате компании

ООО «КУЗБАССРАЗРЕЗУГОЛЬ-ВЗРЫВПРОМ»

Лидер Кузбасса по производству промышленных массовых взрывов

650070, Кемеровская область — Кузбасс, Кемерово, ул. Свободы 8

kruvp.ru

+7 (3842) 44-00-17

office@kruvp.kru.ru



