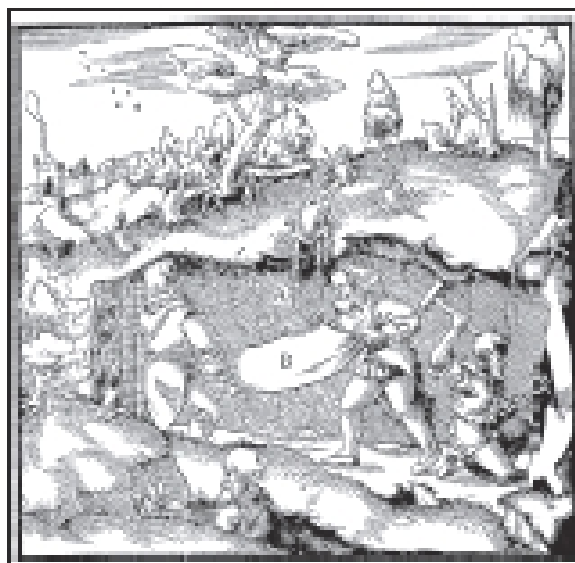




Георгий Агрикола «О горном деле и металлургии»
Georgius Agricola. De re metallica

ВЫПУСКАЕТСЯ ИЗДАТЕЛЬСТВОМ «ГОРНАЯ КНИГА» ПРИ ПОДДЕРЖКЕ:

Сибирской угольной энергетической компании,

Высшего горного совета НП «Горнопромышленники России»,

*Инвестиционного фонда поддержки горного книгоиздания,
проект ГИАБ-3405-20*



ГОРНЫЙ ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКИЙ БЮЛЛЕТЕНЬ (НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ)

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Главный редактор

В.Н. ЗАХАРОВ – член-корр. РАН, д.т.н., проф.,
ИПКОН РАН, Москва

Зам. главного редактора

В.Л. ШКУРАТНИК – д.т.н., проф.,
МГИ НИТУ «МИСиС», Москва

Н.А. ГОЛУБЦОВ – руководитель рабочей группы
ГИАБ, над-во «Горная компания»,
Москва

Члены редакционной

А.А. АБРАМОВ – д.т.н., проф.,
МГИ НИТУ «МИСиС», Москва

П.Б. АДДЕЕВ – д.т.н., проф., ЗабГУ, Чита

В.Н. АМИНОВ – д.т.н., проф., Петровск-Заводский ГУ,
Петровск

С.И. АРБУЗОВ – д.т.н., проф.,

Томский ГУ, Томск

В.А. АТРУШКЕВИЧ – д.т.н., проф.,
МГИ НИТУ «МИСиС», Москва

А.А. БАРИХ – академик РАН, д.т.н., проф.,
Пермь

С.П. БАХАЕВА – д.т.н., проф., КузГТУ, Кемерово

А.П. БЕРЖАНСКИЙ – д.т.н., проф., ИП «Горнопро-
мышленники России», Москва

С.Д. ВИКТОРОВ – д.т.н., проф., ИПКОН РАН,
Москва

В.А. ВИННИКОВ – д.ф.-м.н., проф.,
МГИ НИТУ «МИСиС», Москва

В.А. ГАЛКИН – д.т.н., проф., ННМОГ,
Челябинск

В.И. ГАЛКИН – д.т.н., проф.,
МГИ НИТУ «МИСиС», Москва

А.Б. ЖАВИН – д.т.н., проф., Тульский ГУ, Тула

Н.В. ЖУРАВЛЕВА – д.т.н., Западно-Сибирский
испытательный центр,
Новокузнецк

Н.О. КАЛЕДИНА – д.т.н., проф.,
МГИ НИТУ «МИСиС», Москва

Д.Р. КАЛУНОВ – член-корр. РАН, д.т.н., проф.,
ИПКОН РАН, Москва

Н.М. КАНУРИН – д.т.н., проф., Тульский ГУ, Тула

И.Л. КЛАВЧУК – д.т.н., Челябинский ф-л
ИГД УрО РАН

С.С. КУБРИН – д.т.н., проф., ИПКОН РАН,
Москва

М.В. КУРПЕНА – академик РАН, д.т.н., проф.,
ИГД им. Н.А. Ченнака

СО РАН, Новосибирск

А.А. ЛАВРИНЕНКО – д.т.н., проф., ИПКОН РАН,
Москва

Л.А. НАЗАРОВА – д.ф.-м.н., ИГД им.
Н.А. Ченнака СО РАН,
Новосибирск

А.В. НАСТАВКИН – к.т.-м.н., доцент, ЮФУ,
Ростов-на-Дону

В.Н. ОПАРИН

– член-корр. РАН, д.ф.-м.н.,
проф., ИГД им. Н.А. Ченнака
СО РАН, Новосибирск

С.Н. ПОДОВАЖИН – д.т.н., Ростковедор, Москва

И.Ю. РАССКАЗОВ – член-корр. РАН, д.т.н., проф.,
ИГД ДВО РАН, Хабаровск

В.В. РУДЕНКО – д.т.н., проф.,
МГИ НИТУ «МИСиС», Москва

Г.П. СИДОРОВА – д.т.н., проф., ЗабГУ, Чита

С.А. СЯЛЮТИН – к.т.н., СУЭК, Москва

И.О. ТЕМКИН – д.т.н., проф.,
НИТУ «МИСиС», Москва

С.А. ЭПШТЕЙН – д.т.н., проф.,
МГИ НИТУ «МИСиС», Москва

МЕЖДУНАРОДНЫЙ РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

А.В. АНЦИФЕРОВ – член-корреспондент, Украина

Ф.М. БОРОДИН – Кардиффский университет,
Великобритания

К. ДРЕБЕНШТЕДТ – Технического университета
«Фрайбергский горный
инженер», Германия

Й. ДУБИНСКИ – Главный университет
горного дела, Польша

В.Л. САВАТОРОВА – Университет Невады,
Лас-Вегас, США

П.В. ЦЫБУЛЕНКО – Белорусский национальный
технический университет,
Белоруссия

ПАН ИШАН – Ляохинский университет,
Китай

С. ВУЙИН – Горный институт, Сербия

М. ДОБРОКА – Миланский технический
университет, Милан, Италия

П. КОННЕК – Институт техники Чешской
Академии Наук, Острава, Чехия

С. ПРУСЕК – Центральный Горный
институт, Катовице, Польша

Ж. САНЧИДРИАН – Мадридский политехнический
университет, Мадрид, Испания

М. САЛА – Горно-металлургическая
Академия им. Станислава
Спицки в Кракове, Краков,
Польша

Л. ТОТЕВ – Горно-геологический
университет «Св. Иван Рилски»,
София, Болгария

П. ПАВЛОВ – Горно-геологический
университет «Св. Иван Рилски»,
София, Болгария

ПРЕДСТАВИТЕЛЬСТВА

Дальний Восток – И.Ю. РАССКАЗОВ

Карелия – В.Н. АМИНОВ

Монголия – П. ОЧИРБАТ

Тула – А.Б. ЖАВИН

и Тульская область – А.А. БАРИХ

Урал – А.А. БАРИХ

Журнал основан в 1992 г.

ISSN 0236-1493

ГОРНЫЙ

ИНФОРМАЦИОННО-
АНАЛИТИЧЕСКИЙ
БЮЛЛЕТЕНЬ

(НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ)

MINING INFORMATIONAL
AND ANALYTICAL
BULLETIN

(SCIENTIFIC AND TECHNICAL JOURNAL)



ИЗДАТЕЛЬСТВО
«ГОРНАЯ КНИГА»

№ 8
2020

The journal has been published since 1992

ISSN 0236-1493

MINING INFORMATIONAL AND ANALYTICAL BULLETIN

(SCIENTIFIC AND TECHNICAL JOURNAL)

With assistance of the Publishing house «Mining books», investment support Fund mining publishing

CHIEF EDITOR

V.N. ZAKHAROV – Corresponding Member of the RAS,
Dr. Sci. (Eng.), Prof., Institute of Comprehensive Exploitation
of Mineral Resources RAS, Moscow, Russia

DEPUTY CHIEF EDITOR

V.L. SHKURATNIK – Dr. Sci. (Eng.), Prof., National University of
Science and Technology «MISiS», Mining Institute, Moscow, Russia
N.A. GOLUBTSOV – Publishing house «Mining books»,
Moscow, Russia

EDITORIAL BOARD

A.A. ABRAMOV – Dr. Sci. (Eng.), Prof., National University of
Science and Technology «MISiS», Mining Institute, Moscow, Russia
R.B. AGDEEV – Dr. Sci. (Eng.), Prof.,
Tomsk State University, Chita, Russia
V.N. AMINOV – Dr. Sci. (Eng.), Prof.,
Petrozavodsk State University, Petrozavodsk, Russia
S.I. ARBUZOV – Dr. of Geology and Mineralogy, Prof.,
Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russia
V.A. ATILUSHKEVICH – Dr. Sci. (Eng.), Prof.,
National University of Science and Technology «MISiS»,
Mining Institute, Moscow, Russia
A.A. BARYACH – Academician of the RAS, Dr. Sci. (Eng.), Prof.,
Mining Institute, Ural Branch, RAS, Perm, Russia
S.P. BAKHAROVA – Dr. Sci. (Eng.), Prof.,
Kuzbass State Technical University, Kemerovo, Russia
S.A. EPSHTEIN – Dr. Sci. (Eng.), Prof., National University of
Science and Technology «MISiS», Mining Institute, Moscow, Russia
V.A. GALKIN – Dr. Sci. (Eng.), Prof., Research and Design
Institute for Open Pit Mining, Chelyabinsk, Russia
V.I. GALKIN – Dr. Sci. (Eng.), Prof., National University of
Science and Technology «MISiS», Mining Institute, Moscow, Russia
N.H. KACHURIN – Dr. Sci. (Eng.), Prof., Tula State University,
Tula, Russia
N.O. KALEDINA – Dr. Sci. (Eng.), Prof., National University of
Science and Technology «MISiS», Mining Institute, Moscow, Russia
D.R. KARLUNOV – Corresponding Member of the RAS,
Institute of Comprehensive Exploitation of Mineral Resources RAS,
Moscow, Russia
I.I. KORAYCHUK – Dr. Sci. (Eng.), Chelyabinsk branch
Mining Institute, Ural Branch, RAS, Chelyabinsk, Russia
S.S. KUBERIN – Dr. Sci. (Eng.), Prof., Institute of Comprehensive
Exploitation of Mineral Resources RAS, Moscow, Russia
M.Y. KURLENYA – Academician of the RAS, N.A. Chirkov
Institute of Mining, Siberian Branch, RAS, Novosibirsk, Russia
A.A. LAVRENKO – Dr. Sci. (Eng.), Prof., Institute of
Comprehensive Exploitation of Mineral Resources RAS,
Moscow, Russia
A.V. MASTANKIN – Cand. of Geology and Mineralogy,
Associate Prof., Head of Department, Southern Federal University,
Rostov-on-Don, Russia

I.A. NAZAROVA – Dr. of Physics and Mathematics, N.A. Chirkov
Institute of Mining, Siberian Branch, RAS, Novosibirsk, Russia
V.N. OFARIN – Corresponding Member of the RAS,
Siberian Branch, RAS, Novosibirsk, Russia
S.N. PODOBRAZHIN – Dr. Sci. (Eng.), Russia Federal Service for
Ecological, Technological and Nuclear Supervision, Moscow, Russia
I.Yu. RASSKAZOV – Corresponding Member of the RAS, Dr. Sci. (Eng.),
Prof., Institute of Mining, Far East Branch, RAS, Khabarovsk, Russia
V.V. RUDEMKO – Dr. Sci. (Eng.), Prof., National University of
Science and Technology «MISiS», Mining Institute, Moscow, Russia
G.P. SIDOROVA – Dr. Sci. (Eng.), Prof.,
Tomsk State University, Chita, Russia
S.A. SILYUTIN – Cand. Sci. (Eng.), SUEK, Moscow, Russia
I.O. TEMKH – Dr. Sci. (Eng.), Prof., National University of
Science and Technology «MISiS», Moscow, Russia
A.P. VERZHANSKIY – Dr. Sci. (Eng.), Prof.,
Chief Executive Officer, Noncommercial Partnership
«Miner of Russia», Moscow, Russia
S.D. VIKTOROV – Dr. of Physics and Mathematics, Prof.,
Institute of Comprehensive Exploitation of Mineral Resources RAS,
Moscow, Russia
V.A. VINNIKOV – Dr. of Physics and Mathematics, Prof.,
National University of Science and Technology «MISiS»,
Mining Institute, Moscow, Russia
A.B. ZHABIN – Dr. Sci. (Eng.), Prof., Tula State University,
Tula, Russia
N.V. ZHURAVLEVA – Dr. Sci. (Eng.), West-Siberian
Test Operations Center, Novokuznetsk, Russia

INTERNATIONAL EDITORIAL BOARD

A. ANTSIFEROV – Ukrainian State Research and Design Institute
of Mining, Geology, Rock Mechanics and Mine Surveying, Ukraine
F. BORODICH – University of Cardiff, United Kingdom
C. BREIBERTEDT – Technical University Bergakademie Freiberg,
Germany
J. DUBINSKY – Central Mining Institute, Poland
V. GAGTOROVA – University of Nevada, Las Vegas, USA
P. TSYBULENKO – Belarus National Technical University, Belarus
PAN YISHAN – Liaoning University, China
S. VUJIC – Rudarski institut, Belgrade, Serbia
M. DOBRKA – University of Miskolc, Miskolc, Hungary
P. KONICKI – The Czech Academy of Sciences,
Institute of Geosciences, Ostrava, Czech Republic
S. PRUSEK – Central Mining Institute, Katowice, Poland
José A. SANCHEZ-JUAN – Universidad Politécnica de Madrid,
Madrid, Spain
M. CALA – Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica
w Krakowie, Krakow, Poland
L. TOTEV – University of Mining and Geology St Ivan Rilski, Sofia
P. RAVLOV – University of Mining and Geology St Ivan Rilski,
Sofia

Publishing house «Mining books»

Actual address: Russia, Moscow, Leningradsky prospect, 8, build. 7 of 3

Phone: +7 (495) 236-15-01, +7 (495) 757-52-64

E-mail: info@gormaya-kniga.ru, Internet: www.GIAB-online.ru

Printed in JSC «First Exemplary printing houses» Branch

«Chekhov Printing House»



PUBLISHING HOUSE
«MINING BOOKS»

No 8 • 2020

Журнал основан в 1992 г.

ISSN 0236-1493

ГОРНЫЙ ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКИЙ БЮЛЛЕТЕНЬ (ГИАБ)
MINING INFORMATIONAL AND ANALYTICAL BULLETIN (MIAB)

Секретариат ГИАБ
Н.А. Голубцов, О.Н. Киреева

Рабочая группа:
Руководитель *Н.А. Голубцов*
Подготовка макета *Л.В. Гречнева*
Дизайн оформления *В.Ю. Котов, Е.Б. Капранова*
Инвестиционные проекты *Н.А. Голубцов, О.Н. Киреева*

Государственное свидетельство
о регистрации ГИАБ в Роскомнадзоре
ПИ № ФС77-70578 от 15.08.2017

Решением Президиума ВАК журнал включен
в Перечень ведущих рецензируемых научных журналов
и изданий, в которых могут быть опубликованы
основные научные результаты диссертаций
на соискание ученой степени кандидата и доктора наук

Все статьи ГИАБ рецензируются.
Редакция принимает решение о публикации
по результатам рецензирования и имеет право
отклонить статью без объяснения причин

Статьи публикуются в авторской редакции
При перепечатке ссылка на ГИАБ обязательна

Электронная версия ГИАБ на сайтах:
www.GIAB-online.ru, www.e-library.ru,
www.cyberleninka.ru, www.ebsco.com

Метаданные статей (DOI) представлены на сайте
агентства цифровой стандартизации www.crossref.org
Индексируется в международной базе данных Scopus

Подписной индекс издания
в каталоге агентства «Роспечать» – **46466**

Подписано в печать 20.07.2020.
Формат 70×100/16. Бумага офсетная.
Печать офсетная. Усл. печ. л. 14,95. Тираж 1000 экз.
Изд № 3405-20. Заказ №

119049, Москва, Ленинский проспект, 6,
издательство «Горная книга»
тел. (499) 236-15-01; (495) 737-32-64

Отпечатано в АО «Первая Образцовая типография»
Филиал «Чеховский Печатный Двор»
142300, Московская область, г. Чехов, ул. Полиграфистов, 1
www.chpd.ru, e-mail: sales@chpd.ru, тел. 8 (499) 270-73-59



ИЗДАТЕЛЬСТВО
«ГОРНАЯ КНИГА»



№ 8
2020

СОДЕРЖАНИЕ

Геомеханика, разрушение горных пород

<i>Опарин В.Н., Потапов В.П., Киряева Т.А., Юшкин В.Ф.</i> К проблеме разработки методов и геоинформационных средств комплексной оценки влияния нелинейных деформационно-волновых процессов, индуцированных сейсмическими воздействиями, на геомеханическое состояние бортов карьеров и газодинамическую активность угольных шахт Кузбасса.....	5
<i>Ракишев Б.Р., Ракишева З.Б., Орынбай А.А.</i> Автоматизированное определение координатной сетки взорванного блока массива пород.....	40
<i>Алиев М.М., Исмагилова З.Ф., Бурмистрова Н.Н.</i> Геомеханические модели сдвигового разрушения многослойных горных пород	52
<i>Викторов С.Д., Закалинский В.М., Шиповский И.Е., Мингазов Р.Я.</i> К вопросу о влиянии параметров взрывных работ на устойчивость массива при разработке полезных ископаемых	62
<i>Ефремовцев Н.Н., Трофимов В.А., Шиповский И.Е.</i> Локализация деформаций в волновом поле, наведенном взрывом удлиненного заряда.....	73
<i>Месхи Б.Ч., Плешко М.С., Войнов И.В., Кайшау Ж.Ж.З.</i> Обеспечение безопасной эксплуатации транспортных тоннелей на основе прогнозного моделирования интенсивных геомеханических процессов.....	86

Геотехнология

<i>Волков М.А., Гринюк А.П., Мурко В.И. и др.</i> Подготовка тампонажных растворов на основе золошлаковых отходов при сжигании водоугольного топлива из угольных шламов	97
<i>Цяо Цзяньюн, Ван Цжизян, Чжао Цзинли</i> Развитие методов разработки мощных угольных пластов в Китае	105

Рудничная аэрогазодинамика, горная теплофизика

<i>Каймонов М.В., Киселев В.В.</i> Конструкции, технологии и температурный режим льдопородных сооружений, возводимых в россыпных шахтах Севера	118
--	-----

Горные машины

<i>Бутко А.О., Кузнецов П.М., Хорошко Л.Л.</i> Организация цифрового двойника процессов восстановления дробильно-измельчительного оборудования.....	130
---	-----

Геоэкология

<i>Гущина Т.О., Силютин С.А., Соколовская Е.Е., Эпштейн С.А.</i> Отходы добычи и переработки углей. Методические подходы к оценке их экологической безопасности и направлений использования. Часть 3. Обоснование и разработка методики определения содержания водорастворимых форм макро- и микроэлементов в отходах добычи, переработки и сжигания углей.....	145
---	-----

Геоинформатика

<i>Сиротина Н.А., Копотева А.В., Затонский А.В.</i> Оценка вклада горнодобывающей отрасли в природно-ресурсный потенциал региона	163
--	-----

ПОДГОТОВКА ТАМПОНАЖНЫХ РАСТВОРОВ НА ОСНОВЕ ЗОЛОШЛАКОВЫХ ОТХОДОВ ПРИ СЖИГАНИИ ВОДОУГОЛЬНОГО ТОПЛИВА ИЗ УГОЛЬНЫХ ШЛАМОВ

М.А. Волков¹, А.П. Гринюк¹, В.И. Мурко¹, В.А. Хямяляйнен², М.А. Баёв²

¹ Филиал ООО «Сибниуглеобогащение», Прокопьевск, Россия, e-mail: sib_eco@mail.ru

² Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, Кемерово, Россия

Аннотация: Утилизация отходов обогащения угля является сегодня актуальной задачей. Перспективным и опробованным решением данной проблемы можно считать применение угольных шламов для приготовления водоугольных суспензий. Полученное при этом водоугольное топливо может быть использовано на угольных ТЭС и ГРЭС, а образующиеся при сгорании золошлаковые отходы предлагается использовать для приготовления тампонажных растворов. Исследованы минералогические составы золошлаковых отходов, полученных после сжигания водоугольного топлива на основе мелкодисперсных угольных шламов в специально сконструированном котле с вихревой системой сжигания. Высокое содержание оксида кремния и оксида алюминия в сочетании с низким содержанием углерода обуславливает возможность эффективного использования золошлаковых отходов для производства строительных материалов, прежде всего тампонажных смесей, широко применяемых при горных работах на выемках шахт, закладке выработанного пространства и т.д. Представлены результаты исследований реологических свойств тампонажных растворов на основе золошлаковых отходов и прочностные характеристики затвердевшего камня. Использование угольных шламов и золошлаковых отходов, образующихся на обогатительных фабриках и угольных электростанциях, может значительно снизить негативное воздействие на окружающую среду и улучшить их экономические показатели.

Ключевые слова: тампонажный раствор, золошлаковые отходы, зола, суспензионное водоугольное топливо, тонкодисперсные отходы углеобогащения, фильтр-кек, минеральный состав, реологические свойства, вязкость, прочность.

Благодарность: Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-43-420016/20.

Для цитирования: Волков М.А., Гринюк А.П., Мурко В.И., Хямяляйнен В.А., Баёв М.А. Подготовка тампонажных растворов на основе золошлаковых отходов при сжигании водоугольного топлива из угольных шламов // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2020. – № 8. – С. 97–104. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-8-0-97-104.

Preparation of grouts using ash and slag from combustion of coal-water slurry fuel

M.A. Volkov¹, A.P. Grinyuk¹, V.I. Murko¹, V.A. Khyamyalyaynen², M.A. Baev²

¹ Branch of Sibniugleobogashchenie LLC, Prokopyevsk, Russia, e-mail: sib_eco@mail.ru

² T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, Kemerovo, Russia

Abstract: Coal waste recycling is of high priority of this day. A promising and approved solution is the use of coal slurry to prepare coal-water suspensions. The obtained coal-water fuels can be used at thermal and water power plants, while ash and slag from fuel combustion is suitable for preparation of grouts. The mineral compositions of ash and slag from combustion of coal-water slurry fuel in special vortex burner are analyzed. High content of silicon oxide and aluminum oxide in combination with low content of carbon conditions efficient use of ash and slag in production of construction materials, first of all, grouts, widely applicable in mining, backfilling, etc. This article describes the studies of rheological properties and strength of grouts made of ash and slag. Recycling of coal slurry, ash and slag from coal preparation plants and coal-fired electric power plants can considerably abate adverse environmental impacts and improve economics.

Key words: grout, ash and slag, coal-water slurry fuel, fine dispersed coal waste, filter cake, mineral composition, rheological properties, viscosity, strength.

Acknowledgements: The study was supported by the Russian Foundation for Basic Research, Project No. 20-43-420016/20.

For citation: Volkov M.A., Grinyuk A.P., Murko V.I., Khyamyalyaynen V.A., Baev M.A. Preparation of grouts using ash and slag from combustion of coal-water slurry fuel. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2020;(8):97-104. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-8-0-97-104.

Введение

Проблема промышленных энергетических отходов является сегодня одной из важнейших экологических проблем. Россия обладает вторыми по величине в мире разведанными запасами угля. При сгорании твердого топлива образуется значительный выход золошлаковых отходов (ЗШО). В результате этого возникает проблема использования накопленных в золоотвалах ЗШО. Каждый год угольная энергетика производит более 75 млн т ЗШО, из которых около 11% перерабатывается, в основном в виде вторичных строительных материалов [1–8]. Их эффективное использование может помочь значительно уменьшить негативное воздействие на окружающую среду и улучшить экономические показатели. При этом решаются следующие важнейшие вопросы: освобождение дополнительных емкостей для складирования золы и шлака, сокращение отводимых под отвалы земель и повышение экологической чистоты прилегающих территорий. В то же время актуальным в данном аспекте

видится использование отходов обогащения угля как одного из видов возобновляемых энергетических источников. За рубежом (Франция, США, Китай и др.) утилизация угольных шламов производится путем приготовления и сжигания грубодисперсных водоугольных суспензий в котлах с кипящим слоем и пылеугольных котлах [9–13]. При этом водоугольные суспензии используются как дополнительное топливо. Образующиеся при сгорании золошлаковые отходы можно использовать для производства строительных материалов, прежде всего тампонажных смесей, широко применяемых при горных работах на выемках шахт, закладке выработанного пространства и т.д.

В обоих случаях исследование гранулометрического и минерального состава золы добываемых углей имеет большое значение для их комплексного и рационального использования. Золой называется тот минеральный остаток, который образуется в результате горения или прокаливания угля. Зоельность угля составляется из различных пород,

примешивающихся к углю в период его отложений и превращений (внешняя зольность), а также из минеральных веществ, находящихся в составе растений, из которых уголь образовался (внутренняя зольность). Зольность угля является не только балластом топлива, но может влиять на все процессы при его использовании. В то же время в составе золы углей часто содержится некоторое количество невыгоревших его органических компонентов (недожог) и весьма ценные, нужные для народного хозяйства вещества [11]. О содержании минеральных веществ в угле чаще судят косвенно — по количеству и качеству золы, получающейся при прокаливании до постоянной массы навески топлива в присутствии кислорода при 815 ± 10 °С (ГОСТ 11022-95). При сжигании водоугольного топлива (ВУТ) образуется малое количество шлака. При таких условиях отличие химического состава золы-уноса от химического состава золы исходного топлива незначительно.

Целью работы является определение возможности эффективного использования золошлаковых отходов, образующихся при сжигании водоугольного топлива на основе мелкодисперсных отходов углеобогащения для производства строительных материалов, преимущественно твердеющих растворных смесей (тампонажных растворов) для горных работ.

Методы

Гранулометрический состав золы, полученной после сжигания образцов водоугольного топлива на основе мелкодисперсных отходов углеобогащения, определяли в средних пробах, отобранных из газов, поступающих в золоуловители. Для оценки минерального состава золы использовался сканирующий (одноканальный) спектрометр XRF-1800 (Shimadzu, Япония) с рентгеновской трубкой

с родиевым анодом напряжением 40 кВ и силой тока 95 мА, временем счета для всех элементов 552 с. При подготовке образца к рентгено-флуоресцентному анализу порошкообразные пробы золы были подвергнуты измельчению в виброистирателе, затем отпрессованы в таблетку на прессе в подложку из борной кислоты. Регистрация производилась по K_{α} -линиям; детектор для Ti-U — сцинтилляционный (SC), для K, Ca, Sn-Cs, Cl, S, P, Si, Al, Mg, Na, F — проточный (FPC), для Ti-U и K, Ca, Sn-Cs — кристалл LiF, для Cl, S, P — кристалл Ge, для Si, Al — кристалл PET, для Mg, Na, F — кристалл TAP; апертура — 30 мм, с вращением образца и вакуумированием пробной камеры. Для оценки результатов анализа производился расчет методом фундаментальных параметров, для чего регистрировались аналитические линии всех компонентов пробы с учетом фона и рассчитывались методом итераций. Расчет входит в программное обеспечение рентгено-флуоресцентного спектрометра XRF-1800.

Для лабораторных исследований были приготовлены тампонажные растворы на основе золошлаковых отходов при сжигании водоугольного топлива из угольных шламов с использованием портландцемента ПЦ400 Топкинского цементного завода.

Экспериментальные исследования реологических характеристик подготовленных тампонажных растворов проводили на ротационном вискозиметре Brookfield модели LV DV-II+Pro. В опытах использовали адаптер для малых образцов SSA (измерительная система типа коаксиальных цилиндров — шпиндель SC4-18 (биконический), камера для образцов с температурным датчиком RTD SC4-13RPY, объем образца 8 мл) [9, 10].

При исследовании свойств тампонажных камней, за основу была принята методика определения прочности це-

Таблица 1

**Гранулометрический состав золы-уноса после сжигания ВУТ
на основе мелкодисперсных отходов углеобогащения**

Grain size composition of fly ash after combustion of coal-water fuels made of fine coal waste

Класс крупности, мм	+5,0	2,0–5,0	1,0–2,0	0,355–1,0	0,250–0,355	0,160–0,250	0,071–0,160	–0,071
Выход, %	–	–	12,1	10,1	9,1	11,1	26,2	31,4

ментного камня по ГОСТ 30744-2001. Для определения прочности из раствора изготавливали образцы с использованием форм куба ЗФК-70,7. Образцы извлекались из форм через 5 сут после заливки и оставшееся время хранились в помещении с температурой $(20 \pm 3)^\circ\text{C}$ и относительной влажностью $(65 \pm 10)\%$. Испытание образцов на прочность осуществляли в возрасте 28 сут [9, 10].

Результаты

В табл. 1 представлены результаты исследований по определению гранулометрического состава золы-уноса после сжигания водоугольного топлива на

основе мелкодисперсных отходов углеобогащения (фильтр-кек) ОФ «шахты им. С.М. Кирова».

На основании протоколов испытаний в табл. 2 занесены сводные данные о минеральном составе исследуемых проб топлива. Для сравнения минералогического состава в таблице также представлена характеристика золы от сжигания водоугольного топлива на основе фильтр-кека ЦОФ «Абашевская». Как видно из табл. 2, существенным отличием состава золы фильтр-кека ОФ АО «СУЭК-Кузбасс» от ЦОФ «Абашевская» является наличие повышенного содержания серы и фосфора.

Таблица 2

Состав минеральной части угольных шламов углеобогащительных фабрик

АО «СУЭК-Кузбасс», используемых для водоугольного сжигания

Composition of mineral matter in coal slurry of SUEK-Kuzbass preparation plants for coal-water fuel combustion

Обозначение химических элементов	Массовая доля химических элементов, %			Обозначение химических элементов	Массовая доля химических элементов, %		
	ОФ шахты им. С.М. Кирова	ОФ шахты «Комсомолец»	ЦОФ «Абашевская»		ОФ шахты им. С.М. Кирова	ОФ шахты «Комсомолец»	ЦОФ «Абашевская»
SiO ₂	59,83	62,06	62,93	BaO	0,15	0,23	0,12
Al ₂ O ₃	21,33	20,00	18,38	CuO	0,14	0,016	0,013
CaO	4,81	4,64	3,40	P	0,13	0,14	0,65
Fe ₂ O ₃	3,20	3,61	4,56	MnO	0,10	0,041	0,07
K ₂ O	3,73	3,25	3,05	SrO	0,069	0,10	0,006
Na ₂ O	1,58	1,70	1,87	NiO	0,031	0,018	0,011
MgO	1,42	1,45	1,64	Cr ₂ O ₃	0,026	0,026	0,02
TiO ₂	0,85	0,84	0,87	ZnO	0,019	0,023	0,04
C	0,62	–	–	Co ₂ O ₃	0,017	–	–
S	0,45	0,86	2,30	Rb ₂ O	0,014	0,012	0,009

Таблица 3

Реологические свойства тампонажных растворов
Rheological properties of grouts

Состав раствора, %			Коэффициент эффективной вязкости $\eta_{эф} \cdot 10^3$, Па·с, при скорости сдвига $\dot{\gamma}$, 1/с				
Вода	Цемент	Зола	13,2	39,6	79,2	118,8	158,4
50	50	–	–	7,59	8,59	8,82	8,72
50	40	10	–	6,12	7,26	6,73	6,16
50	25	25	8,19	9,26	9,59	7,76	6,01

В табл. 3 представлены результаты экспериментальных исследований реологических характеристик подготовленных тампонажных растворов.

Результаты лабораторных испытаний тампонажных камней приведены в табл. 4.

Обсуждение

Анализ результатов исследования зол-уноса после сжигания водоугольного топлива на основе мелкодисперсных отходов углеобогащения показывает, что по гранулометрическому составу эти материалы являются вполне пригодными для использования в качестве компонента при приготовлении тампонажных растворов, которые применяют для заполнения закрепных пустот при закладке выработанного пространства и т.п.

Как видно из табл. 2, с точки зрения химического состава главными компо-

нентами золы являются: SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO , K_2O , Na_2O и MgO . Содержание других элементов менее 1,0%. Химический и минерально-фазовый состав зол и шлаков, их строение и свойства зависят от состава минеральной части топлива, от режима его сжигания и теплотворной способности, от способа улавливания и удаления золы и шлаков, от места их отбора. В зависимости от вида углей и условий их сжигания в золах может содержаться 0,5 – 20% и более несгоревших органических частиц топлива. Они считаются вредными примесями, ухудшающими важнейшие технические свойства растворов с добавкой ЗШО.

Используя данные табл. 2, можно рассчитать некоторые критерии, принятые для классификации зол и шлаков: M_o – модуль основности (гидросили-

Таблица 4

Физико-механические свойства тампонажных камней
Physical and mechanical properties of hardened grouts

№ опыта	Состав раствора, %			CaCl_2 , % массы цемента	Плотность раствора, кг/м ³	Выход камня, %	Предел прочности образца при сжатии в возрасте 28 сут, МПа
	Вода	Цемент	Зола				
1	50	50	–	–	1629	80	7,18
2	50	50	–	3	–	–	9,19
3	50	40	10	–	1433	86	5,84
4	50	40	10	3	–	–	8,49
5	50	25	25	–	1378	87	2,94
6	50	25	25	3	–	–	3,18

катный модуль), $M_o = 0,12 - 0,14$; M_c — силикатный (кремнеземистый) модуль, $M_c = 2,44 - 2,74$; M_a — модуль активности, $M_a = 0,29 - 0,36$; K — коэффициент качества, $K = 0,37 - 0,45$.

В соответствии с полученными критериями исследованные золошлаковые отходы следует отнести к группе инертных материалов.

Подача тампонажных растворов при горных работах (например, при закладке выработанного пространства, закачке в закрепные пространства горных выработок и т.д.) осуществляется строительными или геологоразведочными насосами. При этом тампонажные растворы должны иметь повышенную степень подвижности (текучести). Поэтому в экспериментах испытывали растворы с водотвердым отношением Т:В = 1:1. Из табл. 3 видно, что для растворов с золой-уноса реологические характеристики определяются главным образом цементом — значения эффективной вязкости этих растворов практически совпадают.

В раннем возрасте тампонажные камни, изготовленные из раствора с добавлением золы, обладают более низкой прочностью, чем камни из раствора без золы (табл. 4, опыты 1, 3, 5). В первую очередь это объясняется уменьшением расхода цемента и повышением водоцементного отношения при введении золы. Прочность камня с золой в раннем возрасте может быть повышена, например, использованием добавок-ускори-

телей твердения (табл. 4, опыты 2, 4, 6). Добавление хлористого кальция к цементному раствору увеличивает прочность тампонажного камня на 30 — 45%. С увеличением содержания золы эффект снижается, однако камни из таких растворов имеют прочность выше, чем камни из таких же растворов без $CaCl_2$. Кроме этого, введение золы-уноса увеличивает выход тампонажного камня.

Заключение

Анализ результатов выполненных исследований свойств тампонажных растворов на основе золошлаковых отходов при сжигании водоугольного топлива из угольных шламов показывает, что характеристики исследованных растворов соответствуют требованиям нормативно-технической документации. Применение ЗШО от сжигания ВУТ в тампонажных растворах позволяет снизить расход цемента на 30 — 40% и полностью заменить песок. Рассматривая в целом возможность использования золошлаковых отходов при сжигании водоугольного топлива, можно сделать вывод, что сухие золы-уноса местных котельных отличаются постоянством гранулометрического и минералогического составов и могут рекомендоваться без дополнительной обработки в качестве инертной составляющей для производства строительных материалов, прежде всего тампонажных смесей, широко применяемых при горных работах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ватин Н. И., Петросов Д. В., Калачев А. И., Лахтинен П. Применение зол и золошлаковых отходов в строительстве // Инженерно-строительный журнал. — 2011. — № 4 (22). — С. 16 — 21. DOI 10.5862/MCE.22.2.
2. Смоленский О. В. Использование зол-уноса ТЭЦ в производстве строительных материалов и строительстве // Технологии бетонов. — 2012. — № 1 — 2 (66 — 67). — С. 10 — 11.
3. Ефременко А. С., Халтаева Е. П. Применение золошлаковых отходов ТЭС при производстве высокопрочных легких бетонов // Вестник Иркутского государственного технического университета. — 2014. — № 8. — С. 86 — 89.

4. Goud V., Soni N. Partial replacement of cement with fly ash in concrete and its effect // *IOSR Journal of Engineering (IOSRJEN)*. 2016. Vol. 6. No 10. Pp. 69–75. URL: http://iosrjen.org/Papers/vol6_issue10/Version-2/10610026975.pdf (дата обращения: 19.11.2019).
5. Худякова Л. И., Залуцкий А. В., Палеев П. Л. Использование золошлаковых отходов тепловых электростанций // *XXI век. Техносферная безопасность*. — 2019. — № 4 (3). — С. 375–391. DOI 10.21285/2500-1582-2019-3-375-391.
6. Sajjad Ali Mangi, Mohd Haziman Wan Ibrahim, Norwati Jamaluddin, Mohd Fadzil Arshad, Sri Wiwoho Mudjanarko Recycling of coal ash in concrete as a partial cementitious resource // *Resources*. 2019. Vol. 8. No 2. DOI: 10.3390/resources8020099.
7. Norhaiza Ghazali, Khairunisa Muthusamy, Saffuan Wan Ahmad Utilization of fly ash in construction // *IOP Conference Series Materials Science and Engineering*. 2019. Vol. 601. Article 012023. DOI 10.1088/1757-899X/601/1/012023.
8. Olivia M., Wibisono G., Saputra E. Early strength of various fly ash based concrete in peat environment // *MATEC Web of Conferences*. 2019. Vol. 276. Article 01022. DOI 10.1051/mateconf/201927601022.
9. Хямяляйнен В. А., Баёв М. А. Экспериментальные исследования физико-механических свойств тампонажных растворов на основе цемента и отходов углеобогащения // *Вестник Кузбасского государственного технического университета*. — 2013. — № 6. — С. 12–19.
10. Хямяляйнен В. А., Баёв М. А. Оценка влияния отходов углеобогащения на физико-механические свойства тампонажных растворов и параметры технологии цементации // *Горный информационно-аналитический бюллетень*. — 2014. — № 4. — С. 247–253.
11. Папин А. В., Неведров А. В., Сечин А. И. Комплексная переработка низкосортных углей и отходов углеобогащения // *Ползуновский вестник*. — 2014. — № 3. — С. 220–223.
12. Лавриненко А. А., Свечникова Н. Ю., Игуменшева Е. А., Коновницына Н. С. Использование отходов флотации угля в качестве нетрадиционного топлива в топках низкотемпературного кипящего слоя // *Горный информационно-аналитический бюллетень*. — 2017. — № 9. — С. 123–130. DOI: 10.25018/0236-1493-2017-9-0-123-130.
13. Murko V.I., Khyamyalyainen V.A., Baranova M.P. Use of ash-and-slag wastes after burning of fine-dispersed coal-washing wastes // *E3S Web of Conferences*. 2018. Vol. 41. Article 01042. DOI 10.1051/e3sconf/20184101042. **ТАБ**

REFERENCES

1. Vatin N.I., Petrosov D.V., Kalachev A.I., Lakhtinen P. Use of ashes and ash-and-slag wastes in construction. *Inzhenerno-stroitel'nyy zhurnal*. 2011, no 4 (22), pp. 16–21. [In Russ]. DOI 10.5862/MCE.22.2.
2. Smolenskiy O. V. Use of fly ash of thermal power plants in the production of building materials and construction. *Tekhnologii betonov*. 2012, no 1–2 (66–67), pp. 10–11. [In Russ].
3. Efremenko A. S., Khaltaeva E. P. Application of thermal power plant ash and slag waste in high-strength light concrete production. *Vestnik Irkutskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*. 2014, no 8, pp. 86–89. [In Russ].
4. Goud V., Soni N. Partial replacement of cement with fly ash in concrete and its effect. *IOSR Journal of Engineering (IOSRJEN)*. 2016. Vol. 6. No 10. Pp. 69–75, available at: http://iosrjen.org/Papers/vol6_issue10/Version-2/10610026975.pdf (accessed 19.11.2019).
5. Khudyakova L. I., Zalutskiy A. V., Paleev P. L. Use of ash and slag waste of thermal power plants. *XXI vek. Tekhnosfernaya bezopasnost'*. 2019, no 4 (3), pp. 375–391. [In Russ]. DOI 10.21285/2500-1582-2019-3-375-391.
6. Sajjad Ali Mangi, Mohd Haziman Wan Ibrahim, Norwati Jamaluddin, Mohd Fadzil Arshad, Sri Wiwoho Mudjanarko Recycling of coal ash in concrete as a partial cementitious resource. *Resources*. 2019. Vol. 8. No 2. DOI: 10.3390/resources8020099.

7. Norhaiza Ghazali, Khairunisa Muthusamy, Saffuan Wan Ahmad Utilization of fly ash in construction. *IOP Conference Series Materials Science and Engineering*. 2019. Vol. 601. Article 012023. DOI 10.1088/1757-899X/601/1/012023.

8. Olivia M., Wibisono G., Saputra E. Early strength of various fly ash based concrete in peat environment. *MATEC Web of Conferences*. 2019. Vol. 276. Article 01022. DOI 10.1051/matec-conf/201927601022.

9. Khyamyalyaynen V.A., Baev M.A. Experimental studies of the physical and mechanical properties of cement slurry based on cement and waste coal. *Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*. 2013, no 6, pp. 12–19. [In Russ].

10. Khyamyalyaynen V.A., Baev M.A. Estimation of influence of waste coal on physical and mechanical properties of plugging solutions and technology parameters cementation. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2014, no 4, pp. 247–253. [In Russ].

11. Papin A.V., Nevedrov A.V., Sechin A.I. Complex processing of low grade coal and coal processing waste. *Polzunovskiy vestnik*. 2014, no 3, pp. 220–223. [In Russ].

12. Lavrinenko A.A., Svechnikova N.Yu., Igumensheva E.A., Konovnitsyna N.S. Use of coal flotation waste as non-conventional fuel for low-temperature fluidized bed furnaces. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2017, no 9, pp. 123–130. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2017-9-0-123-130.

13. Murko V.I., Khyamyalyaynen V.A., Baranova M.P. Use of ash-and-slag wastes after burning of fine-dispersed coal-washing wastes. *E3S Web of Conferences*. 2018. Vol. 41. Article 01042. DOI 10.1051/e3sconf/20184101042.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Волков Михаил Александрович¹ — управляющий,
Гринюк Алексей Павлович¹ — заместитель управляющего
по производству и технической политике,
Мурко Василий Иванович¹ — д-р техн. наук, профессор,
заместитель управляющего по науке, e-mail: sib_eco@mail.ru,
Хямяляйнен Вениамин Анатольевич² — д-р техн. наук,
профессор, зав. кафедрой,

Баёв Михаил Алексеевич² — старший преподаватель,

¹ Филиал ООО «Сибниуглеобогащение», Прокопьевск,

² Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева.

Для контактов: Мурко В.И., e-mail: sib_eco@mail.ru.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

M.A. Volkov¹, Manager,
A.P. Grinyuk¹, Deputy Manager for Production and Technical Policy,
V.I. Murko¹, Dr. Sci. (Eng.), Professor,
Deputy Manager for Science, e-mail: sib_eco@mail.ru,
V.A. Khyamyalyaynen², Dr. Sci. (Eng.), Professor, Head of Chair,
M.A. Baev², Senior Lecturer,

¹ Branch of Sibniugleobogashchenie LLC, Prokopyevsk, Russia,

² T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University,
650000, Kemerovo, Russia.

Corresponding author: V.I. Murko, e-mail: sib_eco@mail.ru.

Получена редакцией 12.05.2020; получена после рецензии 19.06.2020; принята к печати 20.07.2020.

Received by the editors 12.05.2020; received after the review 19.06.2020; accepted for printing 20.07.2020.