

ЭКОЛОГИЯ

промышленного
производства



МЕЖОТРАСЛЕВОЙ
НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЙ
ЖУРНАЛ

Выпуск 3
Москва 2018

ЭКОЛОГИЯ

промышленного

производства

МЕЖОТРАСЛЕВОЙ
НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЙ
ЖУРНАЛ

Выпуск 3 (103)

Издается с 1993 г.

Москва 2018

СОДЕРЖАНИЕ

ОБЕЗВРЕЖИВАНИЕ, УТИЛИЗАЦИЯ И ПЕРЕРАБОТКА ПРОМЫШЛЕННЫХ ОТХОДОВ	
<i>Виткалова И. А., Торлова А. С., Пикалов Е. С., Селиванов О. Г.</i> Разработка способа получения облицовочного композиционного материала на основе полимерных и стекольных отходов.....	2
<i>Ильина Л. А., Абдрахимов В. З., Колпаков А. В., Кайрабаев А. К., Рощупкина И. Ю.</i> Экологические и экономические аспекты использования многотоннажных отходов топливно-энергетического комплекса в производстве керамического кирпича.....	7
<i>Шубов Л. Я., Скобелев К. Д., Иванков С. И., Доронкина И. Г.</i> Аналитическая оценка золошлаковых отходов как техногенного сырья (к обоснованию экологической промышленной политики).....	15
<i>Смолий В. А., Гольцман Б. М., Косарев А. С., Яценко Е. А.</i> Физико-химические закономерности низкотемпературного автоклавного синтеза многослойного силикатного композиционного теплоизоляционного-декоративного материала.....	24
ВОДОПОДГОТОВКА И ВОДООЧИСТКА	
<i>Ксенофонтов Б. С., Титов К. В.</i> Решение краевых задач очистки воды флотацией методом прогонки.....	27
ВНЕДРЕНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИ БЕЗОПАСНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ	
<i>Массольд А. В., Борисов И. А., Думболов Д. У.</i> Кинетика миграции жидких углеводородов через различные типы почв.....	34
<i>Катин В. Д., Косыгин В. Ю., Вольхин И. В.</i> Использование математического планирования эксперимента для подбора рациональных типов газовых горелок для нефтезаводских печей цилиндрической конструкции.....	38
СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ ОЧИСТКИ ВОЗДУХА	
<i>Федорова Н. В., Шафорост Д. А., Мохов В. А., Федоров Ю. В.</i> Обоснование стратегии модернизации системы подготовки воздуха на ТЭС с применением методов системного анализа.....	43
ОБЩИЕ ВОПРОСЫ	
<i>Грачёв В. И., Севрюков И. Т., Маринкин И. О., Батырев В. В.</i> Влияние гипоксии на основные органы жизнеобеспечения человека, возрастные особенности.....	49
<i>Марьев В. А., Смирнова Т. С., Гузь Л. В., Манкулова Ж. А.</i> Промышленный симбиоз как инструмент устойчивого развития в современном мире.....	64

Главный редактор **А. Г. Ишков**,
д-р хим. наук, проф., акад. РАЕН,
заместитель начальника Департамента — начальник
Управления ПАО «Газпром»

Заместители главного редактора:
В. Ф. Гракович, д-р техн. наук, проф., акад. РАЕН,
председатель правления Национального Фонда содействия
устойчивому развитию регионов; **Н. П. Кузнецов**,
д-р техн. наук, проф., Ижевский государственный
технический университет им. М. Т. Калашникова

Ответственный секретарь **К. В. Трыкина**,
начальник отдела научных и информационных
изданий ФГУП «НТЦ оборонного комплекса
«Компас»

Редакционный совет:

А. М. Амирханов, канд. биол. наук, зам. руководителя
Федеральной службы по надзору в сфере природо-
пользования; **Э. В. Вирусов**, д-р филос. наук, проф.,
акад. Российской экологической академии, Московская
государственная академия делового администрирования;
Н. П. Тарасова, чл.-кор. РАН, д-р хим. наук, проф.,
директор Института проблем устойчивого развития

Редакционная коллегия:

С. С. Бабкина, д-р хим. наук, проф., Институт тонких
химических технологий Московского технологического
университета; **Я. И. Вайсман**, д-р мед. наук, проф.,
Пермский национальный исследовательский политех-
нический университет; **В. А. Грачев**, чл.-кор. РАН,
д-р техн. наук, проф., президент, генеральный дирек-
тор Неправительственного экологического фонда
им. В. И. Вернадского; **М. Н. Дадашев**, д-р техн. наук,
проф., РГУ нефти и газа им. И. М. Губкина; **В. Г. Иса-
ков**, д-р техн. наук, проф., акад. Академии военных наук
РФ, Ижевский государственный технический универси-
тет им. М. Т. Калашникова; **М. А. Кореланов**, д-р техн.
наук, Институт прикладной механики Уральского отде-
ления РАН; **Б. С. Ксенофонтов**, д-р техн. наук, проф.,
МГТУ им. Н. Э. Баумана; **В. Ю. Мелешко**, д-р техн. наук,
проф., Институт химической физики им. Н. Н. Семенова
РАН; **В. В. Минасян**, канд. техн. наук, генеральный дирек-
тор ООО «Фрэжом»; **Е. А. Найман**, канд. техн. наук,
Краковский технический университет им. Тадеуша
Костюшко (Польша); **А. Ю. Недре**, канд. техн. наук, зам.
директора ФГАУ «НИИ "Центр экологической промыш-
ленной политики"»; **Е. И. Пупырев**, д-р техн. наук, проф.,
генеральный директор ОАО «МосводоканалНИИпро-
ект»; **И. Ш. Сайфуллин**, д-р хим. наук, проф., зам.
директора Научно-исследовательского института
инновационного развития промышленности Российско-
го экономического университета им. Г. В. Плеханова;
В. А. Тенев, д-р физ.-мат. наук, проф., Ижевский госу-
дарственный технический университет им. М. Т. Ка-
лашникова; **Ю. В. Трофименко**, д-р техн. наук, проф.,
директор Научно-исследовательского института энер-
гоэкологических проблем автотранспортного комплекса
при МАДИ

© Федеральное государственное унитарное пред-
приятие «Научно-технический центр оборонного ком-
плекса «Компас» (ФГУП «НТЦ оборонного комплекса
«Компас»), 2018

УДК 504.064.4

Аналитическая оценка золошлаковых отходов как техногенного сырья (к обоснованию экологической промышленной политики)

Л. Я. ШУБОВ, д-р техн. наук; К. Д. СКОБЕЛЕВ; С. И. ИВАНКОВ, д-р техн. наук;
И. Г. ДОРОНКИНА, канд. техн. наук
ФГАУ "НИИ "Центр экологической промышленной политики",
г. Мытищи, Московская обл., Россия

Представлены результаты аналитической оценки проблемы золошлаковых отходов тепловых электростанций (ТЭС), работающих на угле. Указаны направления утилизации золошлаковых отходов ТЭС. Отмечено, что хранение золошлаковых отходов в золоотвалах приводит к загрязнению грунтовых вод, почвы и воздуха. Приведены результаты сепарации золошлаковых отходов с извлечением легкой фракции (микросфер), магнитной и немагнитной фракций. Исследованы некоторые аспекты проблем извлечения из зол редких металлов. Рассмотрены перспективы улучшения использования золошлаковых отходов.

Ключевые слова: зола-уноса, золошлаковые отходы, элементный состав.

Золошлаковые отходы (ЗШО) образуются при сжигании угля на ТЭС и являются многотоннажными отходами теплоэнергетики. Судя по опубликованным достаточно противоречивым данным, в РФ в отвалах накоплено 2 млрд т ЗШО (ежегодно образуется, по разным источникам, от 20 до 200 млн т ЗШО, наиболее вероятно ~20 млн т/г.). В переработку и утилизацию при этом вовлекается всего 5—10 % ЗШО ТЭС (по некоторым данным, до 15 %). Достижения стран-лидеров: в Финляндии вовлекают в переработку и утилизацию 90 % ЗШО, во Франции, Великобритании и Германии — 70 %. Хранение ЗШО в отвалах приводит к загрязнению окружающей среды (загрязнение почвы, грунтовых вод, воздушного бассейна).

Зола-уноса (или летучая зола) улавливается на стадии газоочистки в электрофильтрах или скрубберах. По гранулометрическому составу она представляет собой тонкодисперсный материал с размером частиц от 0,15 мкм до 1 мкм. Полнота сгорания угля зависит при прочих равных условиях от тонкости его измельчения. Считается, что предпочтительна тонкость измельчения до крупности — 1 мкм (вряд ли это достижимо), в существующей практике — 50 мкм. Более полное сгорание обеспечивает снижение как

расхода угля, так и выхода золы-уноса, снижая в итоге вредные выбросы ТЭС. В связи с этим повышение эффективности обогащения угля и его подготовки к сжиганию наряду с совершенствованием самого термического процесса — одно из важнейших направлений экологической промышленной ресурсосберегающей политики решения проблемы ЗШО. Вредные выбросы можно снизить совершенствованием газоочистки. По данным исследований Темниковой Е. Ю., Богомолова А. Р., Тиуновой Н. В. и Лапина А. А., выход класса — 50 мкм при сухой очистке составляет (по массе) 50—65 %, при мокрой — 75—80 %. Очевидно, эффективность пылеулавливания выше при мокром способе (в скрубберах); при сухой очистке около 20 % золы выносятся в атмосферу через дымовую трубу [1].

Золошлаковые отходы, концентрирующиеся в отвалах, как техногенные месторождения изучены недостаточно. Состав этих отходов как техногенного сырья во многом зависит от конкретного угольного месторождения. Основными минеральными компонентами ЗШО являются оксиды алюминия (среднее содержание 10—30 %), железа (6—12 %, в отдельных случаях 28 %) и кремния (50—60 %); в небольшом количестве присутствуют щелочные и щелочно-земельные металлы, в примесных количествах — титан, фосфор и сера. В качестве микропримесей в ЗШО встречаются редкие металлы (в виде соединений). В 1 т ЗШО может содержаться 160 кг алюминия, 90 кг железа, 10—30 кг магния, 1—3 кг титана, 1 кг редких металлов.

Вещественный состав шлаков отличается от зол более низким содержанием органических остатков и более высоким содержанием SiO_2 ; кристаллическая фаза в шлаках представлена в основном кварцем и магнетитом.

Шубов Лазарь Яковлевич, профессор, главный научный сотрудник.

E-mail: info@eipc.center

Скобелев Кирилл Дмитриевич, начальник отдела.

E-mail: info@eipc.center

Иванков Сергей Иванович, научный сотрудник, профессор.

E-mail: info@eipc.center

Доронкина Ирина Геннадьевна, доцент, научный сотрудник.

E-mail: doronkinaig@mail.ru

Статья поступила в редакцию 7 марта 2018 г.

© Шубов Л. Я., Скобелев К. Д., Иванков С. И., Доронкина И. Г., 2018

Наиболее отработанной и наименее затратной областью утилизации ЗШО ТЭС является промышленность строительных материалов. Экспериментальное и расчетное определение класса опасности ЗШО (на примере Хабаровской ТЭЦ-3), выполненное Тихоокеанским государственным университетом и Дальневосточным федеральным университетом (А. А. Черенцова, А. М. Дербенцева и др.), показало, что исследованные отходы можно использовать в производстве стройматериалов (класс опасности V) [2].

Судя по опубликованным данным, использование зол в строительстве началось в 30-х годах XX в. (изготовление кирпича и шлакоблоков). Отмечается, что с использованием зол построены такие известные объекты, как Ленинградская АЭС, порт Тронхейм (Норвегия), порт в Хельсинки, телебашня в Таллине. Фундамент самого высокого здания в мире (Дубай, высота 828 м, строительство продолжалось 6 лет и завершилось в 2010 г.) выполнен из бетона, содержащего 40 % ЗШО, выдерживающего нагрузку 50 МПа; с учетом содержания в грунтовых водах хлоридов и сульфатов сваи изготовили с использованием бетона, содержащего 25 % ЗШО и 7 % кварцевой пыли (для строительства основной части здания также использованы смеси, содержащие ЗШО и кварцевую пыль).

Зола-уноса (80 % ЗШО) при изготовлении продукции (кирпич, шлакоблоки) снижает её стоимость, повышает пожаробезопасность (за счет снижения способности к распространению пламени), придает новые свойства строительным и теплоизоляционным материалам. Увеличение прочности бетона и, соответственно, прочности изделий при добавке зольной пыли связывают с шарообразной формой её частиц. В связи с этим одним из самых ценных компонентов ЗШО, востребованных рынком, являются так называемые микросферы — тонкостенные алюмосиликатные шарики идеальной формы с гладкой поверхностью (для увеличения выхода микросфер требуется регулировка процесса сжигания угля; возможно выделение микросфер методом безреагентной флотации золы либо рассевом золы с выделением класса – 180 + 90 мкм).

На угольных ТЭС Кузбасса ежегодно образуется несколько тысяч тонн микросфер.

Благодаря использованию микросфер:

- прочность легкого бетона повышается в три раза;
- увеличивается срок службы бурильного оборудования (добавка к бурильным растворам, нефтегазовая промышленность);
- возможно получение защитного покрытия с улучшенными технологическими характеристиками (смесь микросфер, крахмала и воды) для защиты различных поверхностей от налипания сварочных брызг;
- добавки в эпоксидную смолу снижают её массу без уменьшения прочности на разрыв (использование в авиамоделизме);
- возможно изготовление принципиально нового абразивного инструмента (повышенная производительность высокопористых шлифовальных кругов при скоростях до 120 м/с);
- повышаются тепло-, электро- и звукоизоляционные характеристики пластмасс и керамики (ис-

пользование микросфер в качестве наполнителя); полимерные материалы с микросферами (сферопластики) применяются для изоляции теплотрасс, в мебельном производстве, в радиотехнике (создание радиопрозрачных теплоизоляционных экранов);

- возможно изготовление керамических плит для обшивки космических аппаратов.

Стоимость микросфер в упаковке 50—100 тыс. руб./т.

В соответствии с исследованиями актуальное направление утилизации кремнистых ЗШО — использование в производстве стеклокристаллических материалов строительного и технического назначения: производство шлакоситаллов, стекло-шлаковых облицовочных плиток, коррозионностойких стекло-шлакоэмалевых покрытий металлов (толщина покрытий 300—500 мкм).

Весьма высокой прочностью отличается бетон с так называемым тройным связующим — комбинация ЗШО с кварцевой пылью и гранулированным доменным шлаком. Такой бетон (опыт строительства дамб в Дании и Гонконге) быстрее насыщается углекислым газом (по сравнению с использованием только ЗШО), у него выше устойчивость к хлоридам. Положительное влияние на содержание углекислого газа в воздухе оказывают, по данным исследований в Англии, дороги на основе золошлаковых цементов (за счет карбоксилизации щелочных составляющих цемента); они, кроме того, отличаются долговечностью.

При получении (в ходе переработки) расплава тугоплавкого шлака (отличается высоким содержанием оксида алюминия) весьма эффективны добавки пиритных огарков — другого многотоннажного отхода химического производства, что существенно повышает экологическую значимость всего производства.

Возможное направление утилизации ЗШО ТЭС — использование при изготовлении пеностекла вместо традиционной технологии его получения из смеси тонкоизмельченного стеклообоя и пенообразователя, что существенно снижает стоимость производства. Пеностекло обладает многими полезными свойствами: огнестойкостью и низкой теплопроводностью, долговечностью и экологичностью.

Перспективным считается направление утилизации ЗШО в сельском хозяйстве для производства гранулированного удобрения, повышающего плодородие кислых почв. Известкование почвы с помощью мелиоранта, полученного из отходов, можно рассматривать как природоохранную и ресурсосберегающую технологию, поскольку при её применении снижается расход азотных и фосфорных удобрений. Для стимулирования вовлечения ЗШО в переработку и утилизацию их целесообразно доставлять потребителю бесплатно.

Потенциально ЗШО являются масштабным сырьевым источником для извлечения черных и цветных металлов (в виде оксидов железа и алюминия) и получения ферросилиция — сплава железа с кремнием, применяемого при обогащении руд и при выплавке чугуна и стали. Ценность ЗШО как минерального сырья должна учитываться и не оставаться за пределами перспективной технической политики. (Для справки: зола сжигания углей Кузбасса содержит до 4 г/т золота.)

Увеличивается интерес к ЗШО как источнику редких металлов, имеются прецеденты извлечения галлия и германия (спрос на редкие металлы увеличивается вследствие интенсивного развития микроэлектроники и электронной техники; электронный лом — один из основных источников получения вторичного галлия).

Технологии извлечения металлов из ЗШО освещаются в публикациях ограниченно. Известно, что для извлечения из ЗШО черного металла чаще всего применяют магнитную сепарацию в сильном магнитном поле (в литературе публикуются достаточно противоречивые сведения о содержании железа в магнитной фракции: от 5 до 20 % и более, оно зависит при прочих равных условиях от характеристики угля на конкретной ТЭС). Немagnetную фракцию используют в производстве огнеупоров и высококачественного цемента. В РФ особое внимание целесообразно уделять извлечению глинозема Al_2O_3 , поскольку потребность в РФ в природных сырьевых источниках производства алюминия — боксите и нефелине — покрывается только на 60 % (основным импортером является Гвинея). Извлечение глинозема из ЗШО технологически сложнее, чем из боксито-нефелиновых руд, но в целом получение глинозема из ЗШО экономически выгодно. Помимо глинозема из ЗШО можно получать соли — сульфат алюминия и хлорид алюминия, пользующиеся спросом в целлюлозно-бумажной и деревообрабатывающей промышленности.

Исследования, проведенные еще в начале XXI в. (на примере зол Кузбасса), показали, что золото и редкие металлы можно извлечь с помощью выщелачивания.

Следует отметить, что при сжигании бурых углей получают ЗШО, пригодные для получения магния (содержат более 10 % MgO , пользующегося спросом в цветной металлургии).

Создание и применение ресурсосберегающих технологий вовлечения ЗШО в хозяйственный оборот — одна из актуальных задач российской экономики (в частности, российской энергетики, работающей на угле).

С учетом достаточно высокого содержания в ЗШО металлов традиционная утилизация ЗШО в производстве строительных материалов и при строительстве дорог в перспективе представляется не совсем оправданной и обоснованной. В связи с этим особо ценными представляются сведения о технологиях комплексного использования ЗШО, проверенные хотя бы в лабораторном масштабе.

Комплексный подход к утилизации золы-уноса освещен в трудах Кузбасского государственного технического университета им. Т. Ф. Горбачева (г. Кемерово) и Института теплофизики СО РАН им. С. С. Кутателадзе (г. Новосибирск). На примере золы-уноса (крупность 66 % — 50 мкм) Кемеровской ГРЭС показаны технологическая возможность и экономическая целесообразность (Темникова Е. Ю., Богомолов А. Р., Полтавец А. В., Сысолятин А. С.) разделения золы методами обогащения на магнитную фракцию (выход по массе 4,5 %), легкую микросферсодержащую фракцию (выход 1,8 %) и немагнитную фракцию (выход 92,3 %). Основные компоненты магнитной и немагнитной фракций — SiO_2 (45—60 %) и Al_2O_3 (15—20 %). Микросферы концентрируются в классе

— 0,18 + 0,09 мм. Установлено, что недожог (несгоревший углерод) концентрируется в классе — 80 мкм (выход ~4 %). Рекомендуется несгоревшие частицы извлекать из золы как нежелательную составляющую, снижающую качество строительных изделий при использовании золы в производстве строительных материалов [3].

По данным тех же авторов, на территории Кемеровской ГРЭС проектируется объект по утилизации золы-уноса (производительность 10 т/ч, ~ 60 тыс. т/г.; стоимость строительства ~9 млн руб.). Как показали расчеты, стоимость реализации продукции объекта составит ~80 млн руб. (при рыночной стоимости легкой фракции 20 тыс. руб./т, магнитной фракции — 5 тыс. руб./т и немагнитной — 800 руб./т); расчетная чистая прибыль объекта 67,5 млн руб. (срок окупаемости — всего 1,5 месяца: прибыль на каждый вложенный рубль составили 7,63 руб.). Исходное сырье объекта — зола электрофильтра. Для транспортировки сыпучего материала по трубопроводу запроектирована вакуумная система (главный элемент системы — паровой эжектор — создает в пневмосистеме разрежение). Запыленный воздух после двухстадийной очистки выбрасывается в атмосферу. С помощью ленточного конвейера, над которым установлен подвесной магнитный сепаратор, зола (немагнитная фракция) подается на виброгрохочение. Продукты виброгрохочения и магнитная фракция автоматически фасуются в специальные мешки Big bag. Исследование рынка сбыта золы-уноса показало, что продукты переработки имеют более высокий спрос, чем исходная зола. Отмечается, что при использовании обезжелезненной (немагнитной) фракции золы потребление цемента снижается на 30 %.

Технология извлечения редких металлов при переработке ЗШО по понятным причинам не расщифровывается, в РФ её фактически нет и её нужно разрабатывать на профессиональном уровне (с привлечением профессиональных исследовательских центров: ВИМС, Гиредмет, Гинцветмет, ИПКОН РАН).

Себестоимость извлечения редких металлов из золошлаковых отходов сжигания углей высока и даже на лабораторном уровне оценивается (В. А. Салихов) в несколько тысяч рублей за килограмм (галлий — 4 тыс. руб./кг, иттрий — 8 тыс. руб./кг). Высокая себестоимость переработки сырья обуславливает соответствующие цены на эти металлы на мировом рынке: галлий — 36 тыс. руб./кг, иттрий — 30 тыс. руб./кг. Ожидается, что себестоимость извлечения и получения редких металлов из зол будет существенно ниже, чем себестоимость их промышленного получения из руд. В литературе отмечается, что при переработке отходов, аналогичных золе уноса ТЭС (отходы аглофабрики, доменных шламов и т. п.), извлечение редких металлов хлорированием окупается за один год [4].

Заслуживают внимания (В. А. Салихов) предложения по рациональному решению организационных вопросов создания производственной базы для извлечения из ЗШО редких металлов. Одним из наиболее рациональных вариантов представляется создание малых наукоемких предприятий — компактных производств по переработке техногенного сырья. Эти производства могут работать в составе крупных региональных предприятий (в частности, Кузбасса), на

которых сотнями тысяч т/г. измеряется выход золы, пригодной для получения нескольких тысяч тонн редкометалльного концентрата для малых наукоемких производств (имеется, очевидно, в виду, что технологии разработаны и оборудование создано).

По расчетам из накапливаемых за год золных отходов ТЭС Кузбасса можно извлечь до 100 т редких металлов. Говоря о региональной политике, следует отметить, что редкие металлы востребованы в Сибирском регионе, Красноярском крае, Новосибирской и Кемеровской областях, а также на внешнем рынке.

На примере Южно-Кузбасской ГРЭС (количество накопленных золных отходов 15 млн т) изучены характеристики золы от сжигания угля и продуктов её магнитной сепарации — магнитной и немагнитной фракций (Б. В. Нифантов, А. Н. Заостровский, О. П. Занина) [5]:

- крупность золы 60 % — 0,05 мм; крупность магнитной фракции 80 % — 0,1 + 0,05 мм (15 % — 0,05 мм); крупность немагнитной фракции ~ 70 % — 0,05 мм;
- по содержанию в золе элементов, имеющих возможную промышленную значимость для извлечения, отмечаются иттрий, цирконий, иттербий, ниобий и титан; содержание железа ~ 5 %;
- выход магнитной фракции ~ 10 %; магнитная фракция содержит ~ 35 % железа и примесные количества олова (35 г/т), германия (~10 г/т) и иттербия;
- плотность золы-уноса ~ 2,2 г/см³; плотность магнитной фракции ~ 3,3 г/см³ (магнитная фракция при её хранении в буртах и транспортировке устойчива к развеванию и отличается низкой способностью к пылеобразованию);
- планируемый на ЮК ГРЭС годовой выход магнитного концентрата 45 тыс. т (10 %) при количестве сжигаемого угля 1,5 млн т/г. и количестве образующейся золы 450 тыс. т/г.

Отмечается перспективность вовлечения в переработку золы, накопленной в отвалах на ЮК ГРЭС: ресурсы железа оцениваются примерно в 700 тыс. т, алюминия — в 1,7 млн т, титана — в 55—60 тыс. т, иттрия — в 1,5 тыс. т. Ценовые показатели этих металлов: железо — 12 тыс. руб./т, алюминий — 33,6 тыс. руб./т, титан — 30 тыс. руб./т. Немагнитная фракция золы содержит около 11 % алюминия. Строительство цеха по переработке немагнитной фракции золы (выход 90 %) для извлечения алюминия не связано, судя по всему, с экономическими рисками.

В соответствии с европейским опытом зола перед утилизацией подвергается обогащению (в европейских странах практикуется раздельное удаление золы и шлака): разделяется на фракции размером — 32 + 16 мм — 16 + 8 мм, — 8 + 3 мм и — 3 мм. Фракция — 3 мм используется в гражданском строительстве, фракция — 8 + 3 мм — в производстве полого кирпича, остальные — для сооружения фундаментов.

В публикациях Объединенного института высоких температур РАН (Л. М. Делицын с сотрудниками) отмечается, что фирма Schauenburg MAB (Германия) предложила технологию и установку для обогащения золы ТЭЦ-22 (Москва) в целях удаления недожога (содержание — около 15 %); высокое содержание в золе углерода (а также оксидов железа) снижает качество золы как вторсырья [6].

Московская ТЭЦ-22 — одна из крупнейших в Европе тепловых электростанций и единственная в столице, использующая в качестве топлива уголь (тощий каменный уголь Кузнецкого бассейна). Площадь золоотвалов 54 га, объем ЗШО ~ 7 млн м³.

Технологическая схема обогащения ЗШО ТЭЦ-22 представлена на рис. 1. Предусматривается обогащение как текущей золы (после мокрого золоудаления), так и золы из золоотвала.

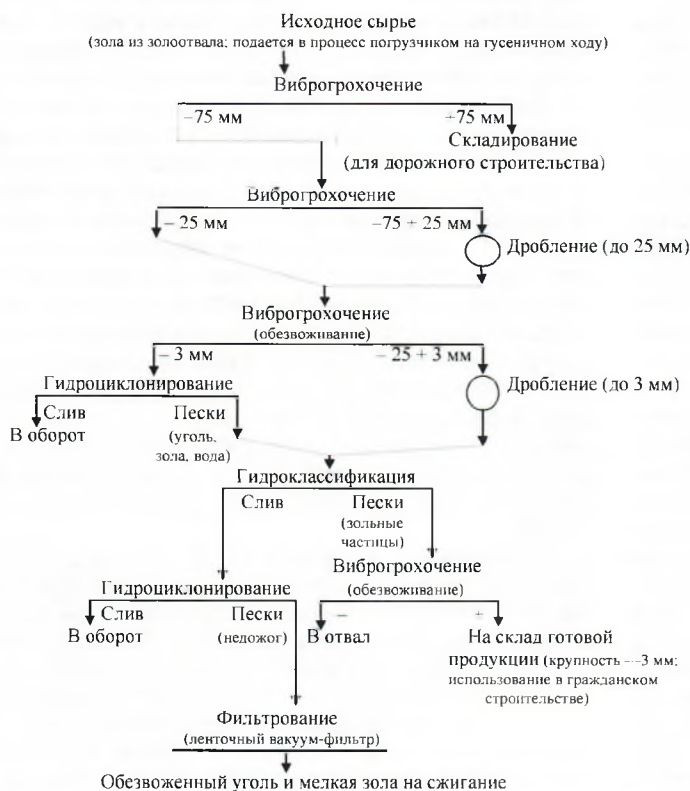


Рис. 1. Технологическая схема опытно-промышленной установки обогащения золошлаковых отходов ТЭЦ-22 (Москва)

Как уже было отмечено, основная цель обогащения — удаление недожога (концентрируется в классе — 3 мм). В процессе обогащения используются операции грохочения, гидроциклонирования и гравитации (гидроклассификация). Слив гидроциклонов поступает в водооборот (используется для нужд ТЭЦ и обогатительной установки). Пески гидроциклонов подвергаются гравитационному обогащению (разделяются по плотности и по крупности с помощью потоков воды, подаваемой в нижнюю часть гидроклассификатора). Нижний продукт гидроклассификатора (крупность — 3 мм) представлен в основном зольными частицами (после обезвоживания направляется на склад готовой продукции). Главное достоинство технологии, по мнению специалистов Объединенного института высоких температур РАН, — существенное снижение расхода воды и, соответственно, электроэнергии на перекачку пульпы в золоотвал. Показатели обогащения не приводятся, что не позволяет оценить эффективность процесса обогащения.

Технологическую схему, представленную на рис. 1, Объединенный институт высоких температур РАН (Л. М. Делицын с сотрудниками) предлагает дополнить операциями для выделения магнитной фракции и доизвлечения недожога. Новую технологическую схему мокрого обогащения золы (разработана на основе исследования обогатимости золы-уноса ряда российских угольных ТЭС) можно использовать и самостоятельно (рис. 2).

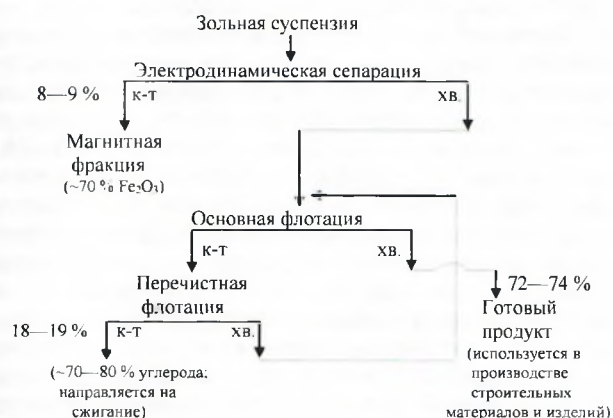


Рис. 2. Технологическая схема обогащения золы с выделением магнитного концентрата и недожога

Отличительная особенность предлагаемой технологии (см. рис. 2) — использование для извлечения черного металла не магнитной, а электродинамической сепарации, традиционно применяемой для извлечения из потока отходов цветных металлов (за рубежом эта операция называется сепарацией вихревыми токами). Для извлечения из ЗШО магнитной фракции используется вращающееся магнитное поле, создаваемое сильными постоянными магнитами, размещенными на внутренней поверхности высокоскоростного ролика, встроенного в приводной барабан ленточного конвейера. При случайном попадании частиц ферромагнитных компонентов между верхней и нижней ветвями конвейерной ленты возможно повреждение барабана конвейера и его ленты (ферромагнитные компоненты, попадая во внутрен-

нее пространство конвейера, притягиваются к барабану магнитными силами и прожигают его поверхность и поверхность ленты). В практике обогащения черные металлы рекомендуется извлекать до извлечения цветных. Также не совсем понятно, как реализовать электродинамическую сепарацию в условиях мокрого обогащения ЗШО.

Готовый алюмосиликатный продукт (содержит 2—4 % углерода и 3—4 % Fe_2O_3) получается в виде хвостов основной флотации и отличается низким содержанием твердого компонента. Тем не менее обезвоживание технологией не предусмотрено.

Предлагаемая технология требует серьезной полупромышленной проверки.

Для более подробного освещения технологии переработки ЗШО и отдельных её операций необходим анализ патентной документации.

Способ извлечения золота из ЗШО описан в патенте RU 2607112C2 [7] (Амурский научный центр Дальневосточного отделения РАН). В качестве исходного сырья использована зола от сжигания угля на Благовещенской ТЭЦ при температуре, превышающей температуру плавления золота, что обеспечивает крупность золота в золе ультратонких размеров и наноразмеров и приводит к изменению физико-химических свойств золота (содержание золота в золе 3,2 г/т). При контакте исходного сырья с водой в течение 20 мин при перемешивании (предпочтительно использовать 0,1%-й раствор серной кислоты или 0,2%-й раствор хлорида натрия, увеличивая при этом время перемешивания до 6 ч) золото переходит в растворяющую фазу и затем извлекается из раствора с помощью активированного угля в известковой среде (сорбционный процесс). Уголь отделяется и регенерируется с извлечением золота из регенерирующих растворов электролизом и плавкой на шиховое золото. Содержание золота в сернокислотном растворе составляет 0,152 мг/л (представляет интерес для промышленного извлечения). Извлечение золота в растворяющую фазу (сернокислотное выщелачивание) — около 80 %.

Алтайским государственным техническим университетом им. И. И. Ползунова запатентован способ переработки низкокальциевых ЗШО ТЭЦ с высоким содержанием недогоревших угольных частиц (патент RU 2607555C2) [8]. Способ решает задачу максимально возможного удаления из ЗШО недожога для повышения качества ЗШО как сырья для использования в производстве стройматериалов.

Зпатентованный способ включает следующие технологические операции:

- ЗШО из золоотвала подвергаются гранулированию в тарельчатом грануляторе с использованием в качестве связующего либо извести (расход 5—10 % по массе), либо глины (расход 10—15 % по массе), либо жидкого стекла (расход 3—7 % по массе), либо высококальциевой золы ТЭЦ (расход 10—40 % по массе); расходы связующих определены исходя из условий получения прочных гранул;

- при содержании в ЗШО менее 15 % (по массе) недогоревших угольных частиц перед гранулированием вводят в ЗШО молотый уголь (расход угля должен обеспечить теплотворную способность смеси материалов в пределах 6,3—7,5 кДж/кг); при

содержании в ЗШО более 15 % недожога добавки молотого угля перед гранулированием не требуется;

- ЗШО жидкой консистенции перед гранулированием подвергаются обезвоживанию (рекомендуется использовать отстойники и фильтр-прессы) до содержания влаги не более 30 %; осветленную воду возвращают на ТЭЦ;

- обжиг гранул при температуре 850—900 °С в печи кипящего слоя (выход недожога — не более 1 %) с утилизацией тепла; такое содержание недожога увеличивает прочность силикатного кирпича, полученного из ЗШО, на 40 % (по сравнению с ЗШО, содержащими 10 % недожога).

Рекомендуется объект для производства стройматериалов располагать вблизи ТЭЦ. По существу, предлагается способ двухступенчатого сжигания угля с предварительным гранулированием продукта первой ступени. Не вызывает сомнения, что предлагаемая технология приведет к снижению выхода недожога (особенно с учетом того, что сжигание в кипящем слое — весьма эффективный процесс). Однако эта технология достаточно сложна в реализации, и многое будет определять экономика.

Следует отметить, что недожог не только снижает качество золы как сырья для стройиндустрии, но и затрудняет извлечение ценных компонентов вследствие их сорбции частичками углерода (например, при выщелачивании).

Куниловой И. В. с сотрудниками проведены исследования (объект изучения — бурые угли Приморья) по флотации углерода в целях последующего сжигания концентрата и улавливания золота (очевидно, на стадии газоочистки). Хвосты флотации — алюмосиликатный продукт. Он подвергается двухстадийному выщелачиванию: вначале раствором серной кислоты (при этом извлекаются Zr, Y, Ge, La, Pt; концентрация в растворе — порядка 1 мг/л), затем раствором серной кислоты с добавлением тиокарбамида (доизвлекаются те же элементы). Априори считается, что полученные растворы могут быть переработаны известными методами с извлечением ценных компонентов.

Зпатентован способ переработки золы от сжигания угля в целях получения высокодисперсного диоксида кремния SiO₂, сульфата алюминия и концентрата редких и редкоземельных элементов (патент № RU2502568 B09B) [9].

Способ включает следующие операции:

- фторирование золы в тefлоновом реакторе с добавлением углеродистого сорбента для сорбции редких и редкоземельных элементов (расход 10—25 кг/т золы) и использованием в качестве реагентов фторида аммония и серной кислоты; обработку реагентами проводят при 120—125 °С в течение 30—40 мин; при этом одновременно с помощью вакуумного насоса отгоняют образующийся газообразный тетрафторсилан в полипропиленовые поглотители, заполненные 15%-м раствором фтористого аммония (абсорбция);

- полученный из поглотителей раствор нейтрализуют 20%-м раствором гидроксида аммония до осаждения диоксида кремния; извлечение диоксида кремния 90 %;

- фильтрование осадка диоксида кремния и упаривание растворов после фильтрования с получением фторида аммония (возвращается на поглощение тетрафторсилана);

- извлечение сульфата алюминия из твердого остатка фторирования (фторид алюминия переводят в водорастворимую форму путем обработки концентрированной серной кислотой при 250 °С в течение 1,5 ч); извлечение алюминия в раствор 95 % от исходного;

- растворение сульфата алюминия водой (после остывания реакционной смеси) и отделение от осадка фильтрованием;

- прокаливание осадка при 800 °С; твердый продукт после прокаливания представляет собой концентрат редких и редкоземельных элементов; выход — около 2 % от исходного, содержание редкоземельных элементов ~ 1 %.

Зпатентованная технология должна быть проведена и отработана в укрупненном масштабе (если ставится задача её практического применения), но она раскрывает ориентировочные показатели возможной переработки и порядок практических действий. Недостаток данной технологии состоит в том, что ею не предусмотрено предварительное извлечение железа (магнитной фракции), что может привести к загрязнению железом сульфата алюминия.

Зпатентован способ извлечения из золы-уноса германия, галлия, ванадия и никеля (заявка ЕПВ1408127, МПК⁷ C22B41/00, C22B7/02).

Германий в виде диоксида извлекают выщелачиванием водой, водными растворами органических кислот (например, уксусной) при pH менее 2 или щелочными растворами при pH 10—14. Температура выщелачивания 0—400 °С, продолжительность 6—24 ч, отношение Т:Ж — от 1 до 10 (зависит от содержания диоксида германия в золе). Извлечение германия в раствор составляет не менее 85 %. Для извлечения германия из раствора используют анионообменную смолу. Регенерируют смолу действием хлора с отгонкой четыреххлористого германия дистилляцией. Четыреххлористый германий является коммерческим продуктом. Вместе с тем его можно гидролизовать в водной среде до получения германиевой кислоты, из которой выпариванием и высушиванием получается диоксид германия. Используя сульфид натрия, можно провести осаждение германия в виде GeS₂.

Твердая фаза после выщелачивания германия поступает на извлечение галлия, ванадия и никеля: подвергается выщелачиванию водным раствором NaOH или KOH при pH 12—14, температуре 150—200 °С и Т:Ж 1:5—1:10. В раствор переходят галлий и ванадий вместе с другими металлами, растворимыми в щелочной среде. Для извлечения галлия и ванадия используют соответствующие растворители. Извлечение никеля из твердого остатка после выщелачивания германия осуществляют обработкой кислотой с выделением металла из полученного раствора селективными экстрагентами.

Предложен способ переработки ЗШО в целях получения глинозема, кремнезема и магнитной фракции (патент № RU2529901 C07F) [10]. Способ включает следующие технологические операции:

- гидравлическая классификация ЗШО по классу 45 мкм (фракция — 45 мкм слабомагнитная, выход фракции 30—35 %);

- магнитная сепарация фракции +45 мкм с получением магнитного концентрата (содержит ~ 50 % Fe_2O_3) и хвостов (содержат 2—3 % Fe_2O_3);

- реагентная флотация хвостов магнитной сепарации с получением углеродистого концентрата (содержит 5—60 % углерода; направляется на дожигание) и хвостов (содержат 1—2 % углерода);

- обработка раствором гидроксида натрия объединенного продукта — хвостов флотации и слабомагнитной фракции — 45 мкм гидравлической классификации (предпочтительные условия обработки: температура 60—120 °С, продолжительность 2—5 ч, непрерывное перемешивание, Ж:Т от 2,5:1 до 5:1); процесс ведут в герметичном реакторе;

- разделение пульпы фильтрацией на вакуум-фильтре на твердую фазу — кека (глиноземный концентрат; выход 70 % от исходного) и жидкую фазу — раствор силиката натрия;

- переработка кека на глинозем и регенерация раствора силиката натрия известью при температуре 60—70 °С (Ж:Т = 5:1) с получением белитового шлама (дикальциевый силикат, Ca_2SiO_4) и оборотного раствора гидроксида натрия.

Из описания патента не совсем ясно, почему недожогом обогащены крупные классы золы.

Возможность получения скандия из золы бурого угля (основное количество скандия получают попутно при переработке ильменитовых и некоторых других руд) экспериментально показана в трудах Института химии и химической технологии СО РАН и Сибирского федерального университета (Г. Л. Пашков, С. В. Сайкова и др.).

Содержание Sc в золе, образовавшейся при сжигании угля при необычно низкой температуре (750—800 °С), составляет 0,0026 %. Для извлечения скандия использован метод сорбционного выщелачивания.

Экспериментально установлено, что сорбционное извлечение скандия из золы углей Бородинского месторождения с помощью катионита КУ-2-8 в оптимальных условиях составляет 85% (процесс достаточно селективен к железу, но в фазу ионита переходит практически весь кальций). При десорбции кальция из ионита серной кислотой 98 % кальция переводится в сульфат кальция (товарный продукт), 70 % скандия остается в ионите.

Низкую температуру сжигания угля авторы обосновывают остекловыванием золы при более высокой температуре и потерей своей реакционной способности. Однако в таких условиях отмечается большой выход недожога, что затруднит утилизацию золы в промышленности строительных материалов.

В МГТУ им. Н. Э. Баумана (Б. С. Ксенофонтов с сотрудниками) разработаны основы технологии бактериального выщелачивания редкоземельных и благородных металлов из ЗШО с использованием флотации. Процесс протекает в периодическом режиме.

Технологическая линия включает реактор — накопитель бактерий (в него подается также выщелачиваемый материал), флотомашину для биовыщелачивания металлов (аэрация способствует регенерации микроорганизмов и интенсифицирует реакции окис-

ления), отстойник (разделение твердой и жидкой фаз) и фильтр-пресс (обезвоживание и уплотнение осадка). Извлечение редкоземельных металлов (скандий, иттрий) и благородных металлов (золото, серебро) — на уровне 80 %, извлечение лантана — около 70 %. К сожалению, другие показатели обогащения (содержание в исходном и в получаемом продуктах, выход продуктов) не приводятся. Малопонятна технология подготовки ЗШО к биовыщелачиванию: какие она решает задачи, какой продукт направляется на биовыщелачивание и каковы его характеристики. Неясно, что за продукты получают на концентрационных столах и куда делись хвосты этой операции. Много вопросов вызывает грохочение столь пылящего материала как зола: какова крупность материала, каковы возникающие сложности и их решение. По существу, технология подготовки ЗШО к биовыщелачиванию не привязана к основному процессу.

Исходя из универсальных возможностей использования ЗШО как техногенного сырья особый интерес представляют комбинационные технологические решения, в наибольшей степени учитывающие гетерогенный состав ЗШО и обеспечивающие их комплексную переработку и утилизацию. В то же время, как показывает аналитическая оценка состояния проблемы ЗШО, отмечается явный дефицит достоверных сведений, необходимых для принятия обоснованных технологических решений при разработке экологической промышленной политики. Ясно, что конечная цель этой политики — реализация комплексного регионального управления ЗШО, предусматривающего извлечение металлов и утилизацию хвостов (с наименьшими затратами и экологическими рисками). Последовательность операций технологического процесса должна быть определена экспериментально, — как минимум на основании укрупненно-лабораторных экспериментов (с привлечением ведущих профильных организаций, специализирующихся в сфере обогащения и металлургии природного и техногенного сырья). Направления утилизации и возможное получение новой продукции определяются вещественным составом конкретных ЗШО и потребностями региона (простейший и достаточно отработанный вариант утилизации отходов теплоэнергетики — их использование в качестве наполнителя в производстве строительных материалов и в дорожном строительстве, а за рубежом — для рекультивации карьеров).

Базовая научная основа региональной экологической промышленной политики решения проблемы ЗШО — характеристики исходного материала и экономическая эффективность технологических решений. Иными словами, отраслевая специализация выбора ресурсосберегающих технологий утилизации ЗШО и научных исследований в этой сфере определяется характеристикой угольных месторождений, составом и свойствами конкретных ЗШО как объекта для переработки и утилизации.

ЗШО — весьма сложный объект для обогащения и переработки. Зола — сильно пылящий, сажистый продукт, поэтому применение сухих процессов ее сортировки затруднено, а применение мокрых процессов связано с образованием сточных вод и их

очисткой. Масштабное применение технологии термохлорирования для извлечения редких металлов, давшей хорошие результаты при переработке отходов-аналогов, применительно к ЗШО не отработано и к тому же предъявляет высокие требования к безопасности работ.

Сильные колебания химического состава золы (особенно по содержанию редкоземельных и благородных металлов) серьезно осложняют (как и недожог) извлечение ценных компонентов. В общем случае направления утилизации и возможное получение новой продукции определяются вещественным составом ЗШО, изученностью процесса и потребностями региона (в целом по стране, судя по опубликованным данным, функционирует 350 энергетических объектов, работающих на угле; на их долю приходится 20 % энергии, вырабатываемой в стране).

Весьма актуальна постановка исследовательских работ в двух направлениях: исследование состава образующихся в РФ ЗШО (с уточнением их количества во всех точках) и разработка технологий их переработки (с учетом состава).

Приоритеты решения проблемы ЗШО ясны: разделение ЗШО на магнитную и немагнитную фракции и их утилизация с одновременным повышением эффективности обогащения и сжигания угля. Выход магнитной фракции составляет 5—10 % (она содержит примеси олова и редкоземельных металлов, что требует проведения исследований по их извлечению), немагнитной — 90—95 % (направляется в стройиндустрию, на строительство дорог и т. п.; целесообразно в соответствии с принципами ресурсосбережения обогащение немагнитной фракции — удаление недожога, извлечение микросфер и глиноземного концентрата). Извлечение редких, редкоземельных и благородных металлов — второй этап решения проблемы ЗШО (выход их невелик и мало влияет на снижение количества образующихся ЗШО). Масштабы вовлечения ЗШО в переработку и утилизацию должны быть увеличены (возможно, это связано с выбором новых площадок для строительства бетонных заводов и т. п.). Повышение уровня переработки и утилизации золошлаковых отходов — весьма актуальная задача.

Для повышения рыночного спроса на ЗШО как на сырьевой материал, для решения задач ресурсосбережения и повышения экологической безопасности производства необходимы оптимизация состава ЗШО перед их переработкой и утилизацией, реализация системы подготовки ЗШО к промышленному использованию (рис. 3). Иными словами, для промышлен-

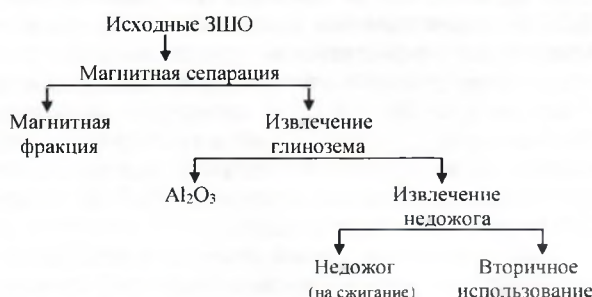


Рис. 3. Рекомендуемая блок-схема обогащения ЗШО (подготовка к переработке и утилизации)

ного применения и утилизации ЗШО необходимо получить качественный материал, поддающийся стандартизации. Нестабильные состав и свойства ЗШО как техногенного сырья являются сдерживающим фактором на пути их масштабного применения, прежде всего в строительной индустрии. Проблема эта непростая, но требует своего решения. (Отметим, что директивы ЕС регулируют обращение с золошлаковыми отходами, а не с золошлаковыми материалами как сырьем для переработки.)

Современные технологические подходы к подготовке ЗШО к переработке и утилизации на основе принципов НДТ включают решение экологических задач в процессе индустриального развития: процессы изменений в промышленности рассматриваются в комплексе с развитием экологической политики. Качество ЗШО должно удовлетворять требованиям их эффективной переработки и утилизации как взаимосвязанной эколого-экономической и технологической системы. Экологические требования ставят задачу не только переработки ЗШО, но и возвращения в производство материалов с улучшенными свойствами.

В соответствии с исследованиями Объединенного института высоких температур РАН (Л. М. Делицын с сотрудниками) остаточный продукт после выделения из ЗШО магнитного и глиноземного концентрата однороден по составу (по сравнению с исходной золой), характеризуется большой величиной удельной поверхности, представляет собой тонкодисперсный аморфный порошок, полностью кристаллизуется после термообработки при 1000 °С и поддается стандартизации. Новый продукт на 85 % представлен белитом, $\beta\text{-}2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$ (содержание белита в исходной золе — менее 5 %), отличается термостабильностью и реакционной способностью в расплавленном состоянии и может использоваться в качестве исходного сырья при получении огнеупорных композиций.

Хвосты обогащения золы по целому ряду показателей идентичны отходу производства глинозема из нефелиновой руды (утилизируется в качестве высококачественного сырья в производстве стройматериалов), а по ряду показателей превосходят его, т. е. являются более ценным продуктом. Самое существенное, что продукт подготовки золы к утилизации (хвосты обогащения золы) соответствует требованиям ГОСТ 10178-85 и ГОСТ 10178-76 (цементная отрасль), по данным исследований Объединенного института высоких температур РАН.

По данным Адыгейского филиала Южно-Российского государственного политехнического университета (Р. В. Овчинников, А. Г. Авакян), стабильный состав обогащенных ЗШО позволяет заменить до 30 % цемента — наиболее энергоемкого и дорогого компонента бетона. Обогащенная зола обладает высоким уровнем строительно-технологических свойств (нормируемая влажность, высокая сыпучесть, не слеживаемость); при этом для модернизации собственно бетонного производства требуются лишь дополнительный силос и дозатор.

Выводы

Золошлаковые отходы образуются при сжигании угля на ТЭС и являются многотоннажными отходами теплоэнергетики. Хранение ЗШО в отвалах приводит к загрязнению окружающей среды (загрязнению почвы, грунтовых вод, воздушного бассейна). Весьма актуально решение задачи вовлечения ЗШО в хозяйственный оборот.

Масштабная утилизация ЗШО традиционно привязана к стройиндустрии и строительству дорог. В перспективе ожидается комплексное использование ЗШО (в частности, развитие технологий извлечения металлов). Степень утилизации ЗШО в РФ — около 10 % (тогда как, например, в Финляндии — 90 %).

Сдерживающий фактор повышения уровня и степени утилизации ЗШО — нестабильные состав и свойства ЗШО как техногенного сырья, в связи с чем необходима оптимизация состава ЗШО перед их переработкой и утилизацией, их подготовка к промышленному использованию (на основе применения методов обогащения) и стандартизация ЗШО как сырья для переработки. Качество ЗШО должно удовлетворять требованиям их эффективной переработки и утилизации. Экологические требования ставят задачу не только переработки ЗШО, но и возвращения в производство материалов с улучшенными свойствами.

В соответствии с исследованиями Объединенного института высоких температур РАН и другими исследованиями остаточный продукт после выделения из ЗШО магнитного и глиноземного концентратов однороден по составу, в основном состоит из белита и поддается стандартизации. Обогащенная зола характеризуется высоким уровнем строительно-технологических свойств. В то же время современная строительная индустрия — высокотехнологичная отрасль промышленности, и использовать ЗШО без предварительной подготовки малоприемлемо. Технология строительного производства основана на получении экологически чистых материалов с требуемыми свойствами. По-видимому, использование необогащенных ЗШО приемлемо в технологиях захоронения ТБО, в дорожном строительстве, при рекультивации территорий и т. д. В принципе существует множество технологий и методов переработки ЗШО. Добавки ЗШО весьма выгодны и востребованы

при получении ряда конструкционных материалов с улучшенными свойствами, для получения высокопрочных цементных смесей. Но при этом качество ЗШО должно соответствовать требованиям их эффективной переработки и утилизации.

Применение золошлаков выгодно с экологической точки зрения не только за счет ликвидации отходов и их вовлечения в хозяйственный оборот, но и как метод снижения содержания углекислого газа в воздухе.

ЛИТЕРАТУРА

1. Темникова Е. Ю., Богомолов А. Р., Тиунова Н. В., Лалин А. А. Перспективы использования золы-уноса тепловых электростанций Кузбасса [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/perspektivy-ispolzovaniya-zoly-unosa-teplovyh-elektrostantsiy-kuzbassa> (дата обращения: 10.07.2018).
2. Черенцова А. А., Дербенцева А. М., Майорова Л. П., Матвеев Т. И. Золошлаковые отходы как источник вторичного сырья [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://doi.org/10.18412/1816-0395-2013-4-28-33> (дата обращения: 10.07.2018).
3. Темникова Е. Ю., Богомолов А. Р., Полтавец А. В., Сысоятин А. С. Перспективы использования золы-уноса Кемеровской ГРЭС [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.itp.nsc.ru/conferences/gt-2015/files/D2_S2-5.pdf (дата обращения: 10.07.2018).
4. Краснов О. С., Салихов В. А. Оценка перспектив извлечения ценных цветных и редких металлов из золошлаковых отходов энергетических предприятий Кемеровской области [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://pmi.spmi.ru/index.php/pmi/article/view/691> (дата обращения: 10.07.2018).
5. Нифантов Б. В., Заостровский А. Н., Занина О. П. Горно-геологическое и технологическое значение распределения ценных и токсичных элементов в кузнецких углях [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://vestnik.kuzstu.ru/index.php?page=articles&id=1194> (дата обращения: 10.07.2018).
6. Делицын Л. М., Рябов Ю. В., Власов А. С. Возможные технологии утилизации золы [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www.abok.ru/for_spec/articles.php?nid=5784 (дата обращения: 10.07.2018).
7. Чурсина Л. А., Кузьминых В. М., Сорокин А. П. Способ извлечения золота из золошлаковых отходов. Патент России № 2607112 С22В. 2014
8. Овчаренко Г. И., Фок Н. А., Гильмияров Д. И., Михайленко А. А. Способ переработки низкокальциевых золошлаковых отходов ТЭЦ с высоким содержанием недогоревших угольных частиц с последующим применением золошлаковых отходов ТЭЦ при производстве строительных материалов и в строительстве. Патент России № 2607555 С04В. 2015
9. Шевцов В. Р., Борисов В. А., Борбат В. Ф., Адеева Л. Н. Способ комплексной переработки золы от сжигания углей. Патент России № 2502568 В09В. 2012
10. Рябов Ю. В., Делицын Л. М., Власов А. С. Способ переработки золошлаковых материалов угольных электростанций. Патент России № 2529901 С07F. 2012

Analytic evaluation of ash waste as a technogenic raw material (to the rationale for environmental industrial policy)

L. Ya. SHUBOV, K. D. SKOBELEV, S. I. IVANKOV, I. G. DORONKINA

FSAB "Research Institute "Environmental industrial policy center", Mytischki, Moscow region, Russia

The study presents the results of analytic research of the problem of fly ash and bottom ash of thermal power coal plants. The directions of used fly and bottom ash on TPS is shown. It is noticed that storage of fly and bottom ash in the ash dumps of waste leads to pollution of groundwater, soil and air. The results of fly and bottom ash separation in order to recover lite fraction (microspheres), magnetic and non — magnetic fractions is given. Some problems of rare metals extraction from coal ashes are considered. The article shows the prospects how to improve the use of fly and bottom ash.

Keywords: fly ash, fly and bottom ash, element composition.

Bibliography — 10 references.

Received July 5, 2018