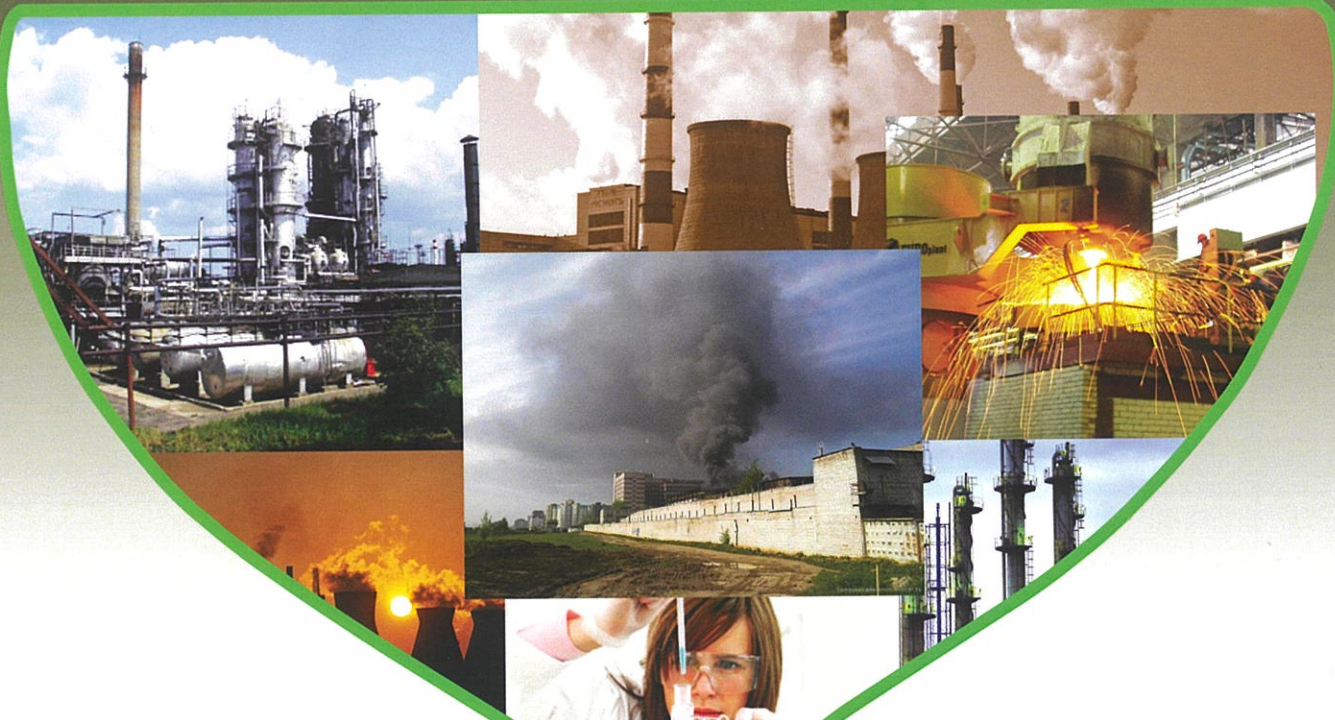


ЭКОЛОГИЯ

промышленного
производства



МЕЖОТРАСЛЕВОЙ
НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЙ
ЖУРНАЛ

Выпуск 4
Москва 2019



ЭКОЛОГИЯ

промышленного

производства

МЕЖОТРАСЛЕВОЙ
НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЙ
ЖУРНАЛ

Выпуск 4 (108)

Издается с 1993 г.

Москва 2019

СОДЕРЖАНИЕ

ОБЕЗВРЕЖИВАНИЕ, УТИЛИЗАЦИЯ И ПЕРЕРАБОТКА ПРОМЫШЛЕННЫХ ОТХОДОВ

- Мартынова А. А., Батракова Г. М., Поник А. Н.* Возможность применения алюмосодержащих отходов в качестве сырьевого компонента для изготовления глиноземистого и высокоглиноземистого цемента 2
- Шубов Л. Я., Скобелев К. Д., Доронкина И. Г., Загорская Д. А.* Сравнение технологий переработки золошлаковых отходов. Определение показателей сравнения 6
- Торлова А. С., Виткалова И. А., Пикалов Е. С., Селиванов О. Г.* Применение кирпичного боя и полимерных отходов для получения строительного композиционного материала 13
- Кольцов В. Б., Березина Н. В., Головлев А. А.* Проблемы утилизации упаковочных полиэтиленовых материалов 19

ВНЕДРЕНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИ БЕЗОПАСНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

- Абдрахимов В. З.* Использование шламов флотационного углеобогащения в производстве пористого заполнителя на основе жидкого стекла 25
- Массольд А. В., Борисов И. А., Думболов Д. У., Ефремова Л. Ю.* Оценка эффективности применения сорбента "Бентонит" в составе насыщенного грунта для предотвращения проникновения нефтепродуктов в почву 30
- Катин В. Д., Косыгин В. Ю., Борзеев И. Я.* Наилучшие доступные технологии сжигания топлива в трубчатых нефтезаводских печах как приоритетные пути повышения их экологической безопасности 33
- Куликов К. Н., Богданов Г. А., Соснина Ю. Н., Мотыженкова Е. А., Пьянкова Е. Н., Амосов А. Г.* Внедрение технологии переработки отработавших сорбентов ионообменных фильтров с их последующим кондиционированием для передачи на долговременное хранение 37

ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ, ПРОГНОЗИРОВАНИЕ

- Янников И. М., Телегина М. В., Кузнецов Н. П.* Применение нейронных сетей для обработки данных биомониторинга загрязнений 41
- Луценко А. Н., Косыгин В. Ю., Кошкина В. А.* Моделирование и мониторинг биологических рисков современного города 45

ОБЩИЕ ВОПРОСЫ

- Смолий В. А., Косарев А. С., Яценко Е. А.* Свойства плит и пористого заполнителя из ячеистого стекла на основе ЗШО для энергосберегающих трехслойных панелей 49

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. Гирусов**, д-р филос. наук, проф.,
акад. Российской экологической академии, Московская
государственная академия делового администрирова-
ния; **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. Корепанов**, 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 «Фрэкком»; **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 промышлен-
ной 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 Российского
экономического университета им. Г. В. Плеханова;
В. А. Тененев, 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»), 2019

УДК 504.064.4

Сравнение технологий переработки золошлаковых отходов. Определение показателей сравнения

Л. Я. ШУБОВ, д-р техн. наук; К. Д. СКОБЕЛЕВ;

И. Г. ДОРОНКИНА, канд. техн. наук; Д. А. ЗАГОРСКАЯ

ФГАУ «НИИ «Центр экологической промышленной политики», г. Мытищи, Московская обл., Россия

Статья посвящена выбору лучшей технологии переработки золошлаковых отходов (ЗШО). Выбор лучшей технологии базируется на сравнении различных технологий переработки ЗШО. Дана информация о выборе показателей для сравнения технологий.

Ключевые слова: золошлаковые отходы, технология, показатели.

Технология переработки ЗШО — это совокупность методов (операций) воздействия на ЗШО в целях повышения их качества как вторсырья (стабилизация состава, крупности, извлечение ценных и удаление нежелательных компонентов) с последующей переработкой и утилизацией обогащенных сырьевых продуктов (в соответствии с требованиями ресурсосбережения, нормативной и технической документации; табл. 1) [1].

Таблица 1

Использование ЗШО для производства бетонов, силикатных изделий, строительных растворов, асфальтобетонных смесей

Вид сырья, направление использования	Нормативный документ	Основные показатели качества получаемой продукции
Золошлаковая смесь ТЭС Заполнитель для тяжелых и легких бетонов Материал для изготовления силикатного кирпича	ГОСТ 25592-91 ГОСТ 379-95, ГОСТ 25592-91	Характеризуется зерновым составом, насыпной плотностью, химическим составом, влажностью, устойчивостью структуры зерен шлака; лимитируются содержание и размер зерен шлака, зерновой состав, удельная поверхность, влажность, насыпная плотность, химический состав, засоряющие примеси
Шлаки ТЭС Заполнители для бетонов (щебень и песок из шлаков) Материал для изготовления силикатного кирпича (песок шлаковый) Материал для приготовления строительных растворов (щебень и песок шлаковые)	ГОСТ 26644-85 ГОСТ 379-95, ГОСТ 26644-85 ГОСТ 28013-89, ГОСТ 26644-85	Шлаки разделяют по виду сжигаемых углей и плотности; щебень и песок из шлака характеризуются зерновым составом; ограничиваются насыпная плотность, химический состав, устойчивость структуры, морозостойкость, наличие посторонних примесей
Зола-унос ТЭС сухого отбора Компонент для изготовления бетонов и строительных растворов Материал для изготовления силикатного кирпича	ГОСТ 25818-91 ГОСТ 379-95, ГОСТ 25818-91	Применяют антрацитовые, каменно-угольные, буроугольные кислые золы (содержание СаО до 10 %) и буроугольные основные золы (содержание СаО свыше 10 %); ограничиваются влажность, удельная эффективная активность естественных радионуклидов; золы должны обеспечивать в смеси с цементом равномерность изменения объема
Зола ТЭС гидроудаления Компонент для изготовления тяжелых и легких бетонов и строительных растворов	ГОСТ 28013-89, ТУ 34-31-16502	Содержание зерен шлака не более 10 %, размер зерен шлака не более 5 мм, влажность не более 40 %, насыпная плотность в сухом состоянии не более 1300 кг/м ³ , содержание SO ₃ не более 1 %, СаО + MgO в золе не более 10 %, в шлаке — не более 1 %
Зола-унос ТЭС Кремнеземистый компонент для ячеистых бетонов	ГОСТ 25485-89, ОСТ 21-60-84	SiO ₂ не менее 45 %, СаО не более 10 %, R ₂ O не более 3 %, SO ₃ не более 3 %; обычно пригодны золы каменных углей и антрацита
Зола ТЭС (высокоосновная) Вязущие для ячеистых бетонов	ГОСТ 25485-89, ОСТ 21-60-84	СаО не менее 40 %, в т. ч. свободной СаО не менее 16 %, SO ₃ не более 6 %, R ₂ O не более 3,5 %; обычно пригодны золы горючих сланцев и бурых углей
Зола-унос, золошлаковые смеси ТЭС Минеральный порошок в асфальтобетонные смеси	ГОСТ 9128-84	Лимитируются зерновой состав, пористость, коэффициент водостойкости смеси порошка с битумом, показатель битумности, содержание водорастворимых соединений, свободной СаО, влажность
Золошлаковые отходы ТЭС Строительство автодорог, оснований аэродромов, укрепление обочин	ГОСТ 8267-93, ГОСТ 25607-94	Щебень регламентируется по зерновому составу, прочности, морозостойкости, содержанию зерен пластинчатой и игольчатой формы, содержанию пылевидных и глинистых частиц, глины в комках и содержанию дробленых зерен в щебне из гравия, устойчивостью структуры против распада

Шубов Лазарь Яковлевич, профессор, старший научный сотрудник.

E-mail: info@eipc.center

Скобелев Кирилл Дмитриевич, начальник отдела.

E-mail: k.skobelev@eipc.center

Доронкина Ирина Геннадиевна, доцент, научный сотрудник.

E-mail: doronkinaig@mail.ru

Загорская Дарья Антоновна, инженер.

E-mail: info@eipc.center

Статья поступила в редакцию 20 мая 2019 г.

© Шубов Л. Я., Скобелев К. Д., Доронкина И. Г., Загорская Д. А., 2019

Направления переработки и утилизации ЗШО многообразны.

Наиболее перспективное направление масштабного использования топливных отходов как термически обработанного и несгораемого продукта (содержит реакционноспособные оксиды кальция, кремния и алюминия, обладает низкой теплопроводностью) — это использование в строительной индустрии (практикуется с 30-х гг. XX в.) и в дорожном строительстве:

- заполнители для тяжелых и легких бетонов;
- материал для изготовления силикатного кирпича;
- материал для приготовления строительных растворов;
- кремнеземистый компонент для ячеистых бетонов;
- вяжущие для ячеистых бетонов;
- минеральный порошок в асфальтобетонные смеси;
- мелкий заполнитель для конструкционно-теплоизоляционного бетона (лимитируется содержание недожога, SO₃, крупность зерен, удельная поверхность);
- производство цемента (в соответствии с требованиями к глинистому компоненту шихты);

- производство искусственных пористых заполнителей (аглопоритовый гравий и щебень, глиноземный керамзит);

- производство стеклокристаллических материалов строительного и технического назначения (производство шлакоситаллов, стеклошлаковых облицовочных плиток, коррозионно-стойких стеклошлако-эмалевых покрытий металлов (толщина покрытий 300—500 мкм));

- изготовление пеностекла (обладает огнестойкостью и низкой теплопроводностью).

Повышение качества ЗШО как вторсырья требует применения методов обогащения. Доказана (табл. 2) технологическая возможность (и экономическая целесообразность) разделения ЗШО методами обогащения на магнитную фракцию (выход 5—10 % по массе, содержание железа 35—50 %, германия — 10 г/т, крупность 80 % — 0,1 + 0,05 мм), легкую микросферсодержащую фракцию (выход 2 %, плотность 0,3—0,5 г/см³) и немагнитную фракцию (выход 90 %, крупность 70 % — 0,05 мм), которая является исходным сырьем для использования в стройиндустрии и других областях техники [2].

Таблица 2

ЗШО — многотоннажный источник вторичного сырья (принципы технологического подхода)

Вид источника вторсырья, краткая характеристика и запасы	Основные направления переработки и утилизации	Принципиальные технологии (технологические операции)	Основное оборудование
<p>Золошлаковые отходы теплоэнергетики образуются при сжигании угля на ТЭС.</p> <p>Среди ЗШО различают золу-унос (продукт газоочистки), шлак и золошлаковую механическую смесь.</p> <p>Зола-унос — тонкодисперсный материал (выход класса —50 мкм —60 %, класса + 90 мкм —10 %).</p> <p>Основные компоненты ЗШО — SiO₂ и Al₂O₃; слепцифический продукт — микросферы (полые тонкостенные сферические образования с гладкой и перфорированной поверхностью); в виде микропримесей присутствуют редкие и редкоземельные металлы.</p> <p>ЗШО содержат до 25 % недожога (несгоревшие частицы топлива); допускается содержание недожога не более 5 %.</p> <p>В отвалах накоплено около 2 млрд т ЗШО, ежегодно образуется ~20 млн т.</p> <p>Уровень утилизации ЗШО в РФ ~10 % (для примера, в Финляндии 90 %).</p> <p>Осложняющий фактор масштабной утилизации ЗШО — нестабильный состав</p>	Получение цементного клинкера и высококачественного цемента	Оптимизация состава ЗШО (удаление железа), смешивание компонентов (известняк, глина, ЗШО), обжиг (1400 °С), охлаждение цементного клинкера и его выдерживание на складе с последующим измельчением (с добавкой гипса и ЗШО) и образованием цемента	Барабанные печи (обжиг), шламовые бассейны (операция смешивания), оборудование для измельчения
	Получение прочного силикатного кирпича (сырье — высококальциевые золы, содержащие недожога более 15 %)	Удаление из ЗШО недожога; двухступенчатое сжигание угля с гранулированием продукта первой ступени; термообработка гранул золошлаковой смеси при 900 °С (выжигание угольных частиц); получение силикатного кирпича	Тарельчатый гранулятор, сушильный конвейер, печь кипящего слоя
	Обогащение ЗШО с выделением недожога и утилизацией продуктов обогащения	Грохочение, гидроциклонирование и гидроклассификация, фильтрование песков гидроциклонирования (обезвоженный уголь — на сжигание); пески гидроклассификатора после обезвоживания используют в гражданском строительстве	Вакуум-фильтр, гидроциклоны, гидроклассификатор
	Обогащение ЗШО с выделением магнитной фракции и недожога	Электродинамическая сепарация (извлечение черных металлов) и флотация (извлечение недожога). Уголь направляют на сжигание, хвосты флотации используют в производстве стройматериалов	Электродинамический сепаратор, флотомашины
	Извлечение золота из ЗШО (содержание золота 80 мг/т)	Гидроциклонирование (обезвоживание), грохочение, обогащение в центробежном поле класса — 6 мм (обогатительная чаша, имеет футеровку с рифлями)	Гидроциклон, дуговой грохот, центробежный сепаратор
	Комплексное обогащение ЗШО с получением: алюмосиликатов (для производства стройматериалов и использования в качестве вяжущих); железосодержащих концентратов (утяжелитель суспензии); углерода (недожог)	Грохочение, дробление, гидроциклонирование, винтовая сепарация, гидроклассификация, сгущение, электродинамическая сепарация	Производство в РФ: валковая дробилка, электродинамический сепаратор, винтовой сепаратор. Производство в Германии: виброобезвоживатель, гидроклассификатор, сгуститель
	Комплексное обогащение ЗШО с извлечением микросфер, недожога, РЗЭ, магнитной фракции и алюмосиликатного концентрата	Грохочение, отстаивание, классификация по крупности, магнитная сепарация, флотация	—

Основные технологические показатели, характеризующие процесс обогащения (сепарации), — *извлечение, содержание и выход*. Они позволяют оценить эффективность данной технологии и сравнить ее с другими технологическими процессами, решающими аналогичные задачи.

Извлечение ϵ компонента в продукт сепарации — отношение массы компонента в продукте сепарации к массе компонента в исходном.

Содержание β компонента в продукте сепарации — отношение массы компонента в продукте сепарации к массе продукта сепарации.

Выход γ продукта сепарации — отношение массы продукта сепарации к массе исходного материала.

Показатели сепарации обычно выражают в процентах (реже в долях единицы).

Продукты и полупродукты (фракции отходов), выделяемые при сепарации (в частности, ЗШО), должны удовлетворять действующим стандартам и требованиям конкретного производства, куда они будут направлены.

Приведем конкретный пример.

В процесс сепарации поступила 1 т ЗШО. Материал транспортируется конвейерной лентой, над которой установлен подвесной магнитный сепаратор.

В 1 т ЗШО содержится 5 % железа (50 кг).

В результате магнитной сепарации получена магнитная фракция массой 25 кг. Она представлена черными металлами (20 кг) и примесями (5 кг).

Определим показатели сепарации:

$$\epsilon = \frac{20 \text{ кг}}{50 \text{ кг}} 100 \% = 40 \% ; \quad \beta = \frac{20 \text{ кг}}{25 \text{ кг}} 100 \% = 80 \% ;$$

$$\gamma = \frac{25 \text{ кг}}{1000 \text{ кг}} 100 \% = 2,5 \%$$

Численные значения технологических показателей позволяют судить об эффективности процесса сепарации (хорошие это показатели или плохие).

Извлечение: достигнутый показатель 40 %, максимально возможный 100 %. Большие потери черного металла с немагнитной фракцией свидетельствуют о том, что одностадийная магнитная сепарация недостаточна, требуется по крайней мере еще одна стадия, установка еще одного сепаратора по ходу процесса.

Содержание: 80 % (высокое); по ГОСТу содержание железа в магнитной фракции при обогащении ТКО должна составлять не менее 97 % (следовательно, требуется перечистка).

Выход: 2,5 %; показатель неплохой; он показывает, что удалось отделить часть соединений железа от основной массы отходов (выход хвостов магнитной сепарации 100 — 2,5 = 97,5 %; в случае ЗШО хвосты магнитной сепарации — оптимизированный продукт для использования в стройиндустрии).

Выбор лучшей технологии среди нескольких, решающих однотипные задачи, определяют аналитической оценкой технологических показателей (в первую очередь сравнивают показатели извлечения) [3].

Выбор технологии определяется составом и свойствами исходного сырья, а также экологическими и экономическими параметрами. Монотехнология

приемлема для переработки вторсырья однородного состава. Поскольку ЗШО — многокомпонентная система, важнейший показатель — *комплексность использования сырья*.

Под комплексной переработкой следует понимать такую переработку (использование) вторсырья, которая обеспечивает максимально полное его вовлечение в хозяйственный оборот и материально-энергетическую утилизацию как техногенного сырья [4]. Для достижения максимальной эффективности (минимизации затрат и экологического риска) требуется, как правило, реализация комбинационных технологических решений (на базе объединения разных технологий).

К комплексной переработке следует также отнести использование одних отходов для обезвреживания и эффективной переработки других.

Комплексной переработке целесообразно подвергать техногенное сырье сложного вещественного состава (например, ЗШО), представляющее собой гетерогенную смесь органико-минеральных компонентов, отличающихся крупностью, технологическими свойствами, степенью возможного вредного воздействия на окружающую среду и влияющих на показатели качества продуктов, получаемых при переработке ЗШО [5].

Объединяющим процессом в схеме комплексной переработки ЗШО (и других источников вторсырья) является обогащение. Управляя качеством и количеством ЗШО на основе их разделения на несколько несмешивающихся потоков методами обогащения, можно не только извлечь ценные компоненты, но и улучшить качество ЗШО как вторсырья (в частности, стабилизировать состав) и оптимизировать процессы их последующей переработки (производство бетона, цемента, вяжущих и т. д.).

В идеале (при соответствующем составе техногенного сырья) сепарация ЗШО как подготовительная операция в технологиях их комплексной переработки должна обеспечить извлечение из потока ЗШО важнейших ценных компонентов (принципиальные технологии разработаны):

- глинозем Al_2O_3 ;
- соли (сульфат и хлорид алюминия; пользуются спросом в целлюлозно-бумажной и деревообрабатывающей промышленности);
- железо (вредная примесь в технологии цемента);
- недожог (несгоревший уголь; содержание лимитируется ГОСТом);
- микросферы (на основе их использования прочность легкого бетона повышается в три раза, увеличивается срок службы бурильного оборудования);
- металлы (редкоземельные, благородные и т. д.);
- хвосты сортировки (обогащенная фракция, готова к применению).

Показатель комплексности использования ЗШО — число извлеченных компонентов и их извлечение в кондиционные продукты.

Рациональная комплексная переработка ЗШО (рис. 1—12) обеспечивает извлечение и получение ресурсно-ценных компонентов и материалов и соблюдение действующих норм утилизации вторсырья.

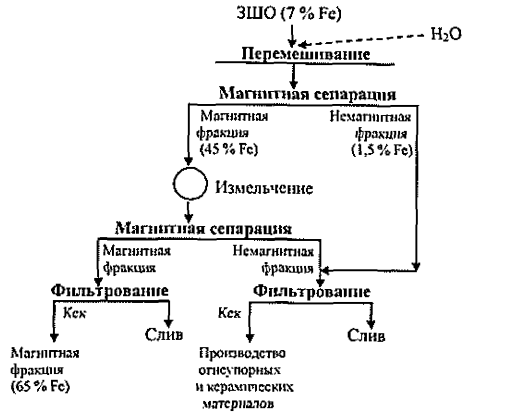


Рис. 1. Схема процесса полупромышленной установки обогащения золошлаковых отходов с извлечением магнитной фракции (Дальневосточный регион)

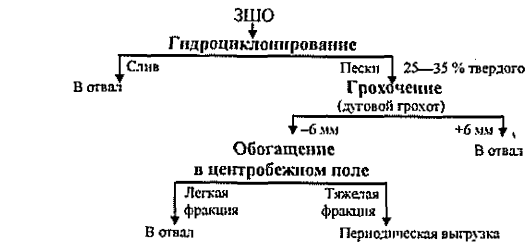


Рис. 4. Технологическая схема извлечения золота из ЗШО

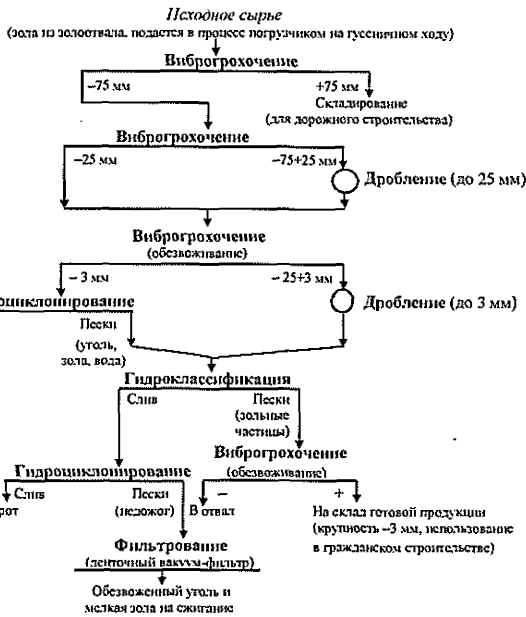


Рис. 2. Технологическая схема процесса опытно-промышленной установки обогащения золошлаковых отходов ТЭЦ-22 (Москва) с выделением недожога

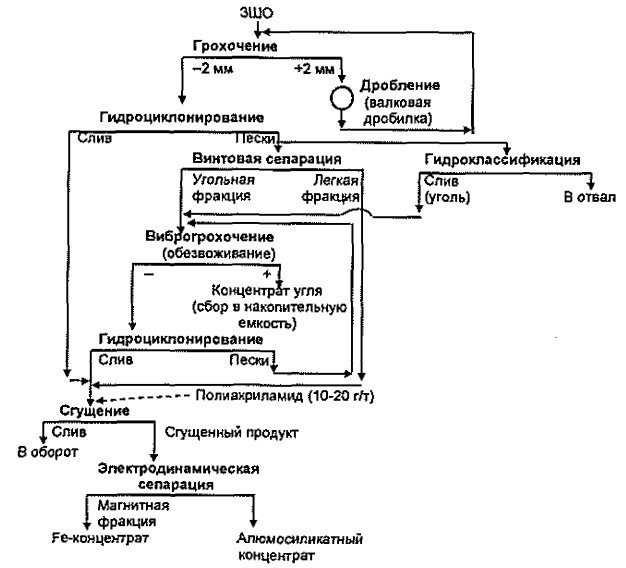


Рис. 5. Технологическая схема обогащения ЗШО с выделением магнитной фракции, алюмосиликатного концентрата и недожога

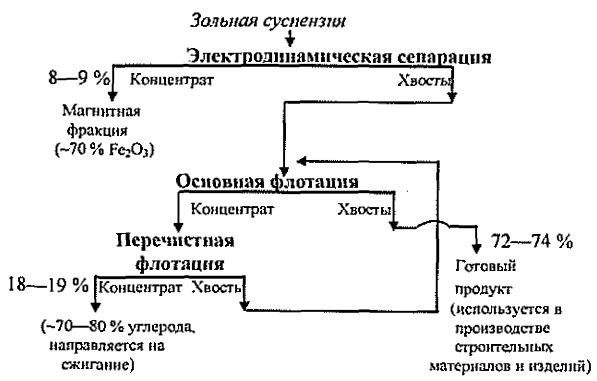


Рис. 3. Технологическая схема обогащения золы с выделением магнитного концентрата и недожога

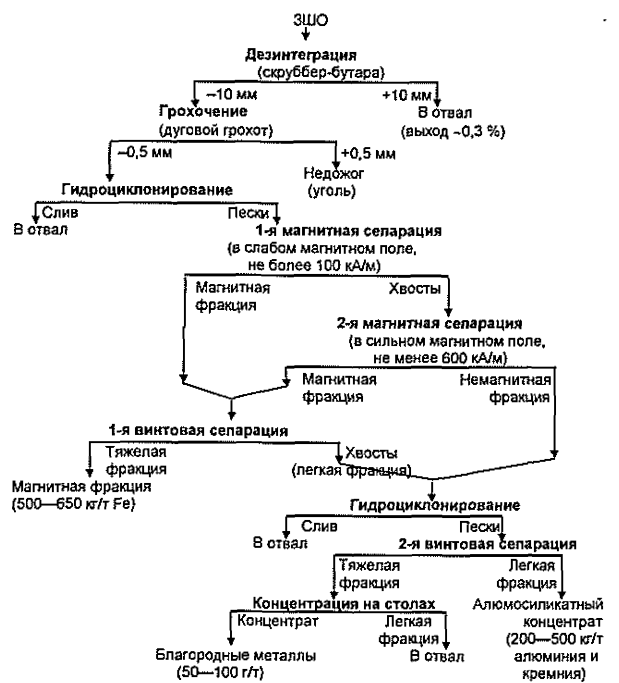


Рис. 6. Технологическая схема комплексного обогащения ЗШО (выделение недожога, магнитной фракции, алюмосиликатного концентрата и благородных металлов) (железосодержащий и алюмосиликатный концентраты содержат по 4 кг/т титана)

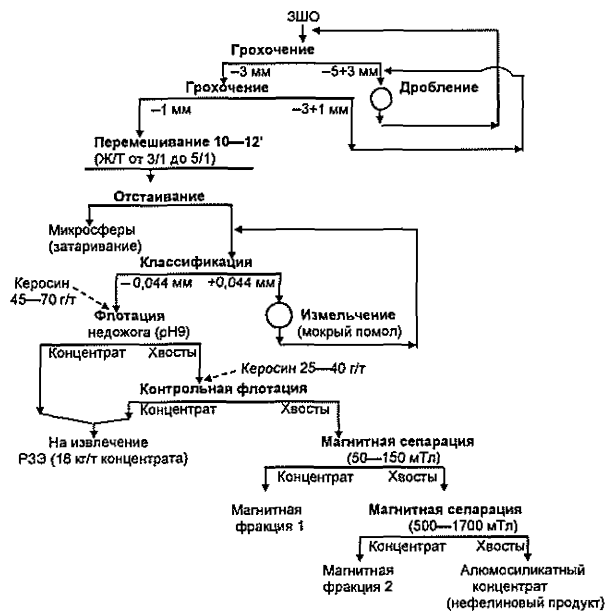


Рис. 7. Технологическая схема полупромышленных испытаний обогащения ЗШО с извлечением ценных компонентов (микросферы, магнитная фракция, алюмосиликатный концентрат, редкоземельные элементы совместно с недожогом)

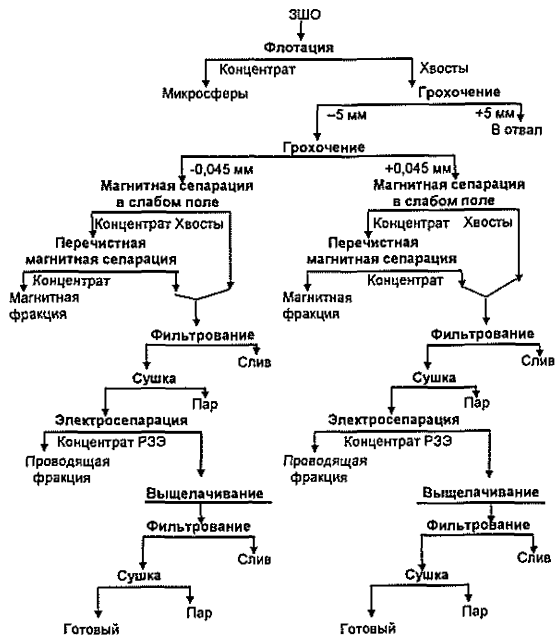


Рис. 9. Технологическая схема комплексной переработки ЗШО (извлечение микросфер, магнитной фракции, получение концентрата редких и редкоземельных элементов)

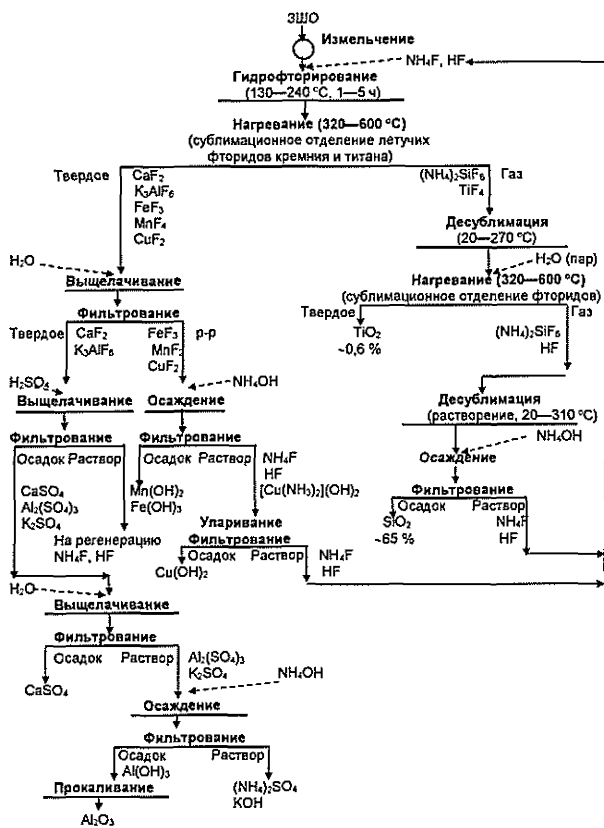


Рис. 8. Технологическая схема химической переработки ЗШО (выделение диоксидов титана, кремния и алюминия, сульфата кальция)

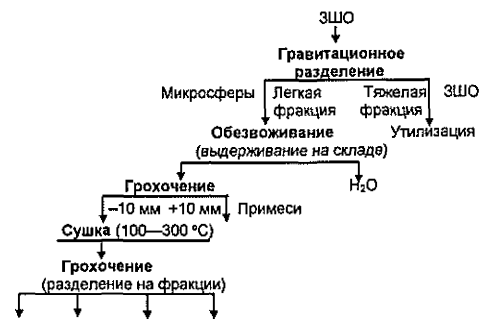


Рис. 10. Технологическая схема извлечения из ЗШО микросфер

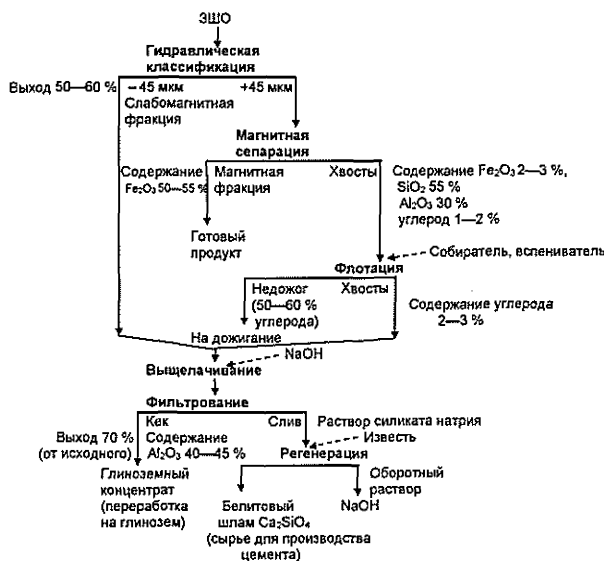


Рис. 11. Технологическая схема переработки ЗШО с извлечением недожога, глинозема, белитового шлама и магнитной фракции

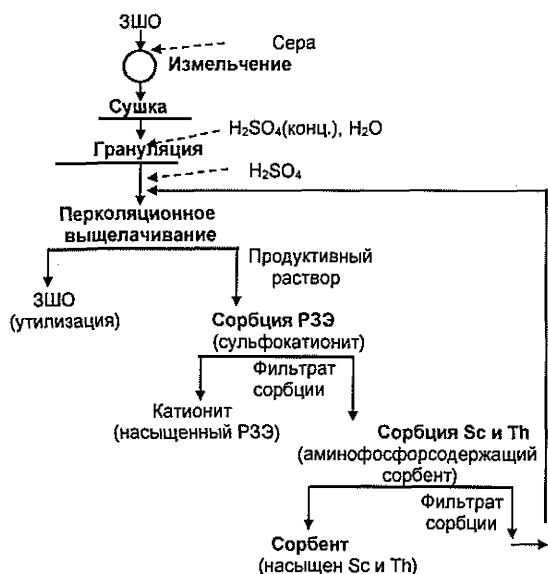


Рис. 12. Технологическая схема переработки ЗШО с извлечением редкоземельных металлов и скандия (непрерывный бесфильтрационный процесс) (ЗШО после извлечения РЗЭ и скандия рекомендуется использовать в дорожном строительстве в качестве самостоятельного медленно твердеющего вяжущего или гидравлической добавки к цементу)

Использование небогатых ЗШО приемлемо в технологиях захоронения ТКО (пересыпной материал), в дорожном строительстве [6], при рекультивации территорий, при ликвидации возгораний гидролизного лигнина на объектах его складирования.

Упрощенная блок-схема оптимизации состава ЗШО перед их переработкой и утилизацией (решение задач ресурсосбережения и экологической безопасности) представлена на рис. 13.

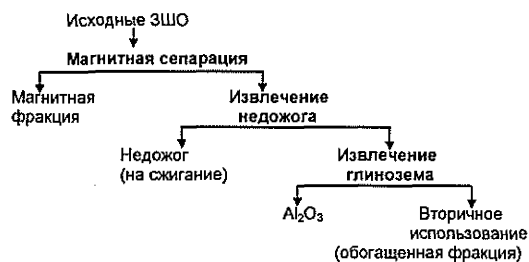


Рис. 13. Рекомендуемая упрощенная блок-схема обогащения ЗШО (подготовка к переработке и утилизации)

Общая степень утилизации ЗШО (выход вторсырья) — это количество ресурсов, выделенных для вторичного использования, выраженное в процентах от общего количества ЗШО, вовлеченных в переработку.

Продукты обогащения имеют более высокий спрос, чем исходные ЗШО.

При использовании обезжелезненной (немагнитной) фракции ЗШО потребление цемента снижается на 30 % (данные Кузбасского государственного технического университета и Института теплофизики СО РАН). Использование ЗШО в производстве цемента

без удаления железосодержащих соединений приводит к снижению механических и технологических показателей цемента, к увеличению времени схватывания.

Другая нежелательная примесь в ЗШО — недожог. Используемые технологии удаления из ЗШО недожога (флотация, гравитация и т. д.) сравнивают по технологическим показателям: выход угольного концентрата (обычно ~20 %) и содержание в нем углерода (обычно 70—80 %); содержание угля в хвостах (не более 5 %). Выбирают технологию с более высокими показателями.

Для сравнения технологий утилизации обогащенных ЗШО в стройиндустрии и дорожном строительстве (производство бетона, цемента, вяжущих, цементного клинкера и т. д.) изучают *строительно-технологические свойства* новой продукции (прочностные характеристики, нормализуемую влажность, сыпучесть, неслеживаемость и т. д.):

- Бетон (один из важнейших строительных материалов) представляет собой искусственный каменный материал, получаемый в результате затвердения уплотненной смеси вяжущего вещества, воды, заполнителей и в некоторых случаях добавок. Основной показатель качества бетона — *прочность при сжатии* (по ней устанавливается марка бетона).

- Вяжущие вещества — строительные материалы для изготовления бетонов и растворов. Минеральные вяжущие вещества при смешивании с водой образуют пластичную массу, приобретающую затем камневидное состояние. Их делят на гидравлические (способны твердеть и сохранять прочность на воздухе и в воде, например портландцемент) и воздушные (твердеют и сохраняют прочность только на воздухе, например гипс, известь).

- Цемент (гидравлическое вяжущее вещество) при смешивании с водой образует пластичную массу, приобретающую затем камневидное состояние.

- Портландцемент (гидравлическое вяжущее вещество) получают совместным измельчением клинкера и гипса (иногда некоторых добавок).

- Клинкер цементный (полупродукт, получаемый в виде гранул при обжиге тонкоизмельченной смеси известняка с глиной) применяется в производстве цемента.

Возможно использование ЗШО для очистки слабозагрязненных сточных вод (летучая зола обладает адсорбционными свойствами). Качество очистки оценивают по изменению состава сточных вод с точки зрения снижения содержания тех или иных загрязняющих веществ.

Зарекомендовало применение ЗШО в производстве гранулированного удобрения (повышает плодородие кислых почв). При этом известкование почвы с помощью мелиоранта, полученного из отходов, можно рассматривать как природоохранную и ресурсосберегающую технологию, поскольку при его применении снижается расход азотных и фосфорных удобрений.

Таким образом технологии сравниваются с учетом специфики отраслевого применения получаемой продукции.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шубов Л. Я., Скобелев К. Д., Иванков С. И., Доронкина И. Г. Аналитическая оценка золошлаковых отходов как техногенного сырья (к обоснованию экологической промышленной политики) // Экология промышленного производства. 2018. № 3. С. 15—23.
2. Скобелев Д. О., Марьев В. А., Шубов Л. Я., Иванков С. И., Доронкина И. Г. Систематизация и методы переработки отходов производства // Научные и технические аспекты охраны окружающей среды. 2019. № 3. С. 2—106.
3. Шубов Л. Я., Борисова О. Н., Доронкина И. Г. Эволюция стратегии управления ТБО // Твердые бытовые отходы. 2014. № 11 (101). С. 12—15.

4. Шубов Л. Я., Борисова О. Н., Доронкина И. Г. О технологической модели экологически безопасного управления твердыми бытовыми отходами // Экологические системы и приборы. 2016. № 7. С. 13—36.

5. Безукладников П. В., Тропин В. В., Полушкина Е. Н., Меркульева Т. А. Золошлаковые материалы угольных электростанций — отходы или ценное сырье? // Рециклинг отходов. 2008. № 6. С. 24, 25.

6. Юмашев В. М. и др. Разработка технологии переработки и использования золошлаковых отходов тепловых электростанций в дорожном строительстве: тез. докл. 2-го Межд. конгресса по управлению отходами "Вэйст Тэк-2001", Москва, 5—8 июня 2001. — М.: Сибико Инт., 2001. — 329 с.

Technology comparasion of fly and bottom ash treatment. Definition of indicators of comparison

L. Ya. SHUBOV, K. D. SCOBELLEV, I. G. DORONKINA, D. A. ZAGORSKAYA
FSAB "Research Institute "Environmental Industrial Policy Center",
Mytischki, Moscow region, Russia

The article is dedicated to the selection of the best technology fly and bottom ash treatment. The choice of the best technology is based on the comparison of different technologies of processing of fly and bottom ash. The information about the definition of indicators of comparison is given.

Keywords: fly and bottom ash, technology, indicators.

Bibliography — 6 references.

Received May 20, 2019