

УДК [546.59 + 662.613.1]:66.01

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ КОМПЛЕКСНОЙ ПЕРЕРАБОТКИ ОТХОДОВ ПРЕДПРИЯТИЙ ЭНЕРГЕТИКИ ПРИМОРСКОГО КРАЯ**¹Шамрай Е.И., ²Таскин А.В., ¹Иванников С.И., ¹Юдаков А.А.**¹*Институт химии Дальневосточного отделения Российской академии наук, Владивосток, e-mail: fyajkfqn@mail.ru;*²*Дальневосточный федеральный университет, Владивосток*

Приведены результаты исследования золоотвалов следующих предприятий энергетического комплекса Приморского края: ТЭЦ-2, г. Владивосток; ТЭЦ, г. Артём; ТЭЦ, г. Большой камень; ТЭЦ, г. Арсеньев; ГРЭС, г. Партизанск; Приморская ГРЭС г. Лучегорск. Выявлены золошлаковые объекты с высокими концентрациями Au и Ag. Определён химический и минеральный состав проб с исследованных золошлаковых отвалов. Показано, что частицы свободного золота и других благородных металлов, присутствующие в отходах предприятий энергетического комплекса, представлены в основном тонким и сверхтонким классом крупности (от долей до десятков микрон). Показано что для микрочастиц золота характерно разнообразие морфологии (ксеноморфная, комковидная, дедритоидо-комковидная формы зёрен). Проведена оценка возможности организации комплексной переработки золошлаковых материалов. Предложена схема разделения золошлаковых отходов на различные минеральные фракции. Установлены закономерности накопления и распределения концентраций Au в золошлаковых отходах. Показана возможность концентрирования золота в тяжёлой немагнитной и лёгкой немагнитной фракции. Показаны возможности применения материалов, полученных при разделении ЗШО, в качестве сырья для различных отраслей промышленности. На основании проведённых исследований разработан «Экспериментальный образец установки предварительной подготовки золошлаковых отходов к извлечению концентрата микродисперсного золота и МПГ». С учётом особенностей химического состава отходов предприятий энергетической отрасли Приморского края был разработан оптимальный, многостадийный вариант организации комплексной переработки ЗШО. Показана возможность создания рентабельного цеха по комплексной переработке ЗШО. Показано что дополнительное извлечение полезных компонентов, в частности концентрата золота и МПГ, способно существенно снизить сроки окупаемости производства по комплексной переработке ЗШО.

Ключевые слова: недожог угля, железосодержащий концентрат, микродисперсное золото, комплексная переработка минерального сырья, золошлаки, отходы предприятий энергетической отрасли, техногенные месторождения

FEASIBILITY STUDY COMPLEX PROCESSING WASTE OF ENERGY ENTERPRISES IN PRIMORSKY KRAI**¹Shamray E.I., ²Taskin A.V., ¹Ivannikov S.I., ¹Yudakov A.A.**¹*Institute of chemistry Russian Academy of Sciences Far Eastern Branch, Vladivostok, e-mail: fyajkfqn@mail.ru;*²*Far Eastern Federal University, Vladivostok*

The results of studding of the following Primorsky Krai wastes energy industries ash dumps enterprises were given. Ash and slag wastes from the following objects were investigated: CHP-2 city of Vladivostok; CHP city of Artem; CHP city of Bolshoy Kamen; CHP city of Arsenyev; CHP city of the Partizansk; Primorskaya CHP city of Luchegorsk. The ash sites with high concentrations of Au and Ag were revealed. Chemical and mineral composition of the samples investigated from ash dumps was determined. It was shown that the particles of free gold and other precious metals present in the energy enterprises waste, mainly fine and ultrafine class size (from fractions to tens of microns). It was shown that micro particles of gold are characterized by diversity of morphology (xenomorph, kokovina, gedraaid-kokovina shapes of the grains). The possibility of ash and slag complex processing organization was made. The scheme of ash and slag waste separation in different mineral fractions was proposed. The regularities of accumulation and distribution of Au concentrations in the bottom ash were investigated. The possibility of gold concentration in the heavy non-magnetic and light non-magnetic fractions was shown. The possibilities of using materials obtained during the separation of ash and slag waste as raw material for various industries were shown. On the basis of the conducted researches «The experimental model unit of waste ash preliminary preparation to extraction concentrate of the fine gold and PGM» was developed. Considering peculiarities of waste enterprises chemical composition in the energy industry in Primorsky Krai was developed optimal multistage variant of the organization of complex processing of ash and slag waste. The possibility of creating a profitable plant for complex processing of ash and slag waste was shown. It was shown that additional extraction of useful components in concentrate of gold and PGM can significantly reduce the payback period of production on complex processing of ash and slag waste.

Keywords: technogenic deposits of gold, wastes energy industries, ash and slag, complex processing of mineral raw materials, fine gold, iron concentrate, underburning coil

В общей проблеме нарастающего накопления отходов производственной деятельности одно из ключевых мест, как в мире, так и в России, занимают золошлаковые отходы энергетической отрасли. Объем от-

ходов на ТЭС и котельных, сжигающих твёрдое топливо, составляет около 40% общего количества отходов промышленного производства в Российской Федерации [9] (без учёта отвала пород горнодобывающей

промышленности) и оценивается примерно в 90 млн тонн в год. Объём накопленных в России золошлаков приближается к 2 млрд тонн, размещённых на территориях более чем 22 тыс. га [1]. Годовое поступление золы в золоотвалы в одном только Приморском крае в отдельные годы достигало 3,0 млн т.

Вместе с тем известно, что золошлаковые отходы содержат промышленно значимые количества ценных компонентов. Химический и минералогический состав золошлаков указывает, что их правильнее считать обогащённым сырьём для различных отраслей промышленности (строительной, дорожной, цементной, металлургической, химической). ЗШО могут быть источником As, Be, Bi, Co, Ge, Hf, Nb, Se, Sr, Te, Tl, Y, Al, Cd, Ga, Fe, Mo, Ti, V, Zn, золота, платиноидов и редкоземельных элементов [7, 8, 10]. При сжигании углей на ТЭЦ концентрация ценных элементов в золе возрастает в 5–6 раз по отношению к исходной в углях и может представлять промышленный интерес. Золошлаковые отходы от сжигания многих и особенно бурых углей могут рассматриваться в некоторых случаях в качестве кондиционных руд, в частности по золоту и платине.

Извлечение металлов, присутствующих в золошлаковых отходах, осложняется тем фактом, что они в углях и золах находятся одновременно в нескольких минеральных фазах (в самородном состоянии и в виде интерметаллидов, в форме оксидов, сульфидов, карбонатов, фосфатов, силикатов и др.) и в тонкодисперсном состоянии (преимущественно до 10 мкм) [6]. В связи с этим актуальной задачей является проведение исследований химического и минерального состава золошлаковых отходов и форм нахождения металлов, в частности золота, в таких отходах. На основании результатов таких исследований станет возможной разработка технологических и аппаратурных решений по комплексной переработке техногенных отходов предприятий энергетической отрасли с сопутствующим извлечением ценных компонентов, в частности концентрата микродисперсного золота и металлов платиновой группы.

Материалы и методы исследования

Исследования отходов предприятий энергетической отрасли проводились с пробами, отобранными с полигонов следующих территорий: г. Владивосток, ТЭЦ-2; г. Артём, ТЭЦ; г. Большой камень, ТЭЦ; г. Арсеньев, ТЭЦ; г. Партизанск, ГРЭС; г. Лучегорск, Приморская ГРЭС. Всего было отобрано 57 образцов.

Содержание основных компонентов золошлаковых фракций на различных стадиях переработки определяли методом рентгено-флуоресцентного ана-

лиза (РФА) с использованием спектрометра Shimadzu EDX 800 HS (трубка с родиевым анодом, вакуум) при комнатной температуре.

В качестве основного метода определения содержания тонкого золота в золошлаковых отходах использовался метод инструментального нейтронно-активационного анализа (НАА) на разработанной в Институте химии ДВО РАН компактной установке НАА с радионуклидным источником возбуждений на основе ^{252}Cf [14, 17]. Для измерений наведённой активности образцов использовали спектрометрический комплекс, выполненный на основе коаксиального Ge детектора GC2018 производства компании Canberra и блока обработки информации SBS-75. Для обработки результатов измерений применяли программу «Гамма-анализатор для полупроводниковых детекторов» версии 1.0. Время измерения в зависимости от содержания золота в пробах составляло от 10 мин до 30 мин.

Содержание благородных и редкоземельных металлов в золошлаковых отходах определяли методом атомно-абсорбционной спектrophотометрии (ААС) в лаборатории микро- и наноисследований аналитического центра геологического института ДВО РАН. Для определения содержания Au, Pt и Pd пробы разлагались последовательно смесью кислот $\text{HF} + \text{HNO}_3$ с последующим соосаждением Te по методике ЦНИГРИ-2005. Для определения содержания Ag пробы разлагались последовательно смесью кислот $\text{HCl} + \text{HNO}_3$. Измерение содержания Au, Pt, Pd и Ag проводилось на атомно-абсорбционном спектрофотометре Shimadzu 6800. Для исследований использовались навески по 2 г.

При проведении минералогических исследований использовался сканирующий электронный микроскоп (СЭМ) JSM-6490LV (JEOL, Япония), оборудованный энергодисперсионным спектрометром (ЭДС) INCA Energy и системой микроанализа для спектрометра с волновой дисперсией (ВДС) INCA Wave. Этот рентгеновский микроанализатор с электронным зондом позволяет выполнять количественный анализ по определению концентрации широкого круга химических элементов (от В до U) в диапазоне 0,001–100 мас. %. Латеральная локальность 2–5 мкм.

Исследования химического состава золошлаковых образцов, выполненные методом рентгенофлуоресцентного анализа (РФА), показали, что по химическому составу исследованные пробы весьма схожи. Основными микроэлементами в исследуемых отобранных пробах золошлаковых отходов предприятий энергетической отрасли края являются: окись кремния – 50%, алюмосиликаты – 37%, окислы железа – 5%, кальций – 4%, калий – 3%, сера – 1%, другие микроэлементы – менее 1% (табл. 1). В ряде исследованных образцов были отмечены микросодержания хрома, меди, марганца, рубидия, стронция, ванадия, иттрия, цинка и циркония. Присутствие во всех исследованных пробах макросодержаний окислов титана и железа предполагает возможность проведения магнитной сепарации образцов и выделения в отдельную фракцию магнитных минералов.

Измерения содержания Au, Pt, Pd, Ag проводились методами атомно-адсорбционной спектроскопии (ААС) и нейтронно-активационного анализа (НАА). ААС показал наличие золота в семи пробах с содержанием от 0,045 г/т до 0,180 г/т и наличие серебра в пяти пробах с содержанием от 2,4 г/т до 29,7 г/т, в 22 пробах содержание серебра не превышает 1 г/т.

По данным НАА золото присутствовало в 29 пробах из 57 проб в количествах от 0,2 г/т до 3,8 г/т.

Проведённые минералогические и микроскопические исследования показали, что частицы свободного золота и других благородных металлов, присутствующие в отходах предприятий энергетического комплекса, представлены в основном тонким и сверхтонким классом крупности. Характерны весьма разнообразная морфология обнаруженных зёрен золота (ксеноморфная, комковидная, дедрито-идо-комковидная формы зёрен) и тонкодисперсное состояние микрочастиц золота (от долей до десятков микрон) (рис. 1).

Для исследования возможности концентрирования золота исходный золошлаковый материал в лабораторных условиях был подвергнут разделению на фракции. Схема разделения проб ЗШО приведена на рис. 2. При проведении работ отбиралась исходная проба в объёме 10 кг, после чего она истиралась на дисковом истирателе до крупности 0,1 мм, далее полученный материал высыпался в ёмкость, в которую подавалась вода. В ёмкости проба тщательно перемешивалась, отстаивалась. С поверхности собиралась пена, состоящая из пемзы и сажи. Собранный материал сушился и взвешивался на весах второго класса точности. В ёмкость с замоченной пробой под малым напором подавалась вода, шло вымывание из пробы ила, глины, истёртого угля. Вода переливалась через край ёмкости и поступала в бак-отстойник, где взвешенные частицы оседали и накапливались. После удаления из пробы ила, глины и угля был получен остаток в виде песка, из которого с помощью старательского лотка выделялся концентрат, состоящий из магнитных и немагнитных минералов. Полученный материал был просушен, и посредством магнитной сепарации из него были удалены магнитные минералы.

В результате гравитационного обогащения и разделения золошлаковой пробы были получены сле-

дующие фракции сыпучего материала: сажа, пемза; глина, ил, недожог угля; лёгкая немагнитная фракция – песок; концентрат – тяжёлая немагнитная фракция; концентрат – тяжёлая магнитная фракция.

Полученные фракции, взвешивались и отправлялись на повторные анализы – НАА (определение содержания золота), РФА (определение химического состава). Проведённые анализы показали концентрирование золота преимущественно в немагнитной фракции и практически полное отсутствие золота в магнитной фракции. По данным НАА содержание золота в пробах, представляющих лёгкую немагнитную фракцию, превысило содержание золота в исходных пробах в среднем на 20 %, а содержание золота в концентрате немагнитной фракции превысило содержание в исходных пробах более чем в два раза (табл. 2).

Для расчёта укрупнённых технико-экономических показателей предприятия по комплексной переработке ЗШО использовалась компьютерная модель, предназначенная для проведения экспресс-оценки инвестиционных проектов различных отраслей, масштабов и направленности. «Аль-Инвест-Прим», версия 5.0.

Результаты исследования и их обсуждение

Основной задачей разрабатываемого подхода является обеспечение комплексной, многопродуктовой переработки золошлаковых отходов предприятий энергетики и организация комплексной переработки отходов углеобогачительных комплексов, отходов горно-обогачительных комбинатов и прочих углесодержащих и железосодержащих отходов.

Таблица 1
Усреднённое содержание макроэлементов в пробах с золоотвалов предприятий энергетики Приморского края

Полигон	Al	Ba	Ca	Fe	K	Mg	S	Si	Ti
ТЭЦ-2, г. Владивосток	35,8	0,3	3,6	4,7	2,1	3,4	0,8	49,9	0,6
ТЭЦ, г. Большой Камень	35,6	0,5	4,4	5,6	1,9	0,1	1,2	49,9	0,6
ТЭЦ, г. Арсеньев	35,3	0,4	5,3	7,3	1,6	0,0	1,4	47,8	0,6
ТЭЦ, г. Артём	35,4	0,5	1,8	4,7	2,3	0,0	0,9	53,4	0,9
ГРЭС, г. Партизанск	34,1	0,4	3,1	7,7	2,7	0,0	0,9	50,1	0,7

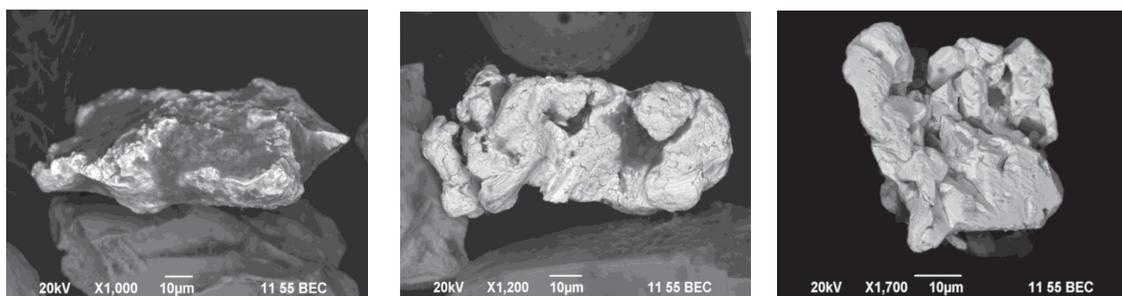


Рис. 1. Микрочастицы золота сложной формы, снятые под СЭМ

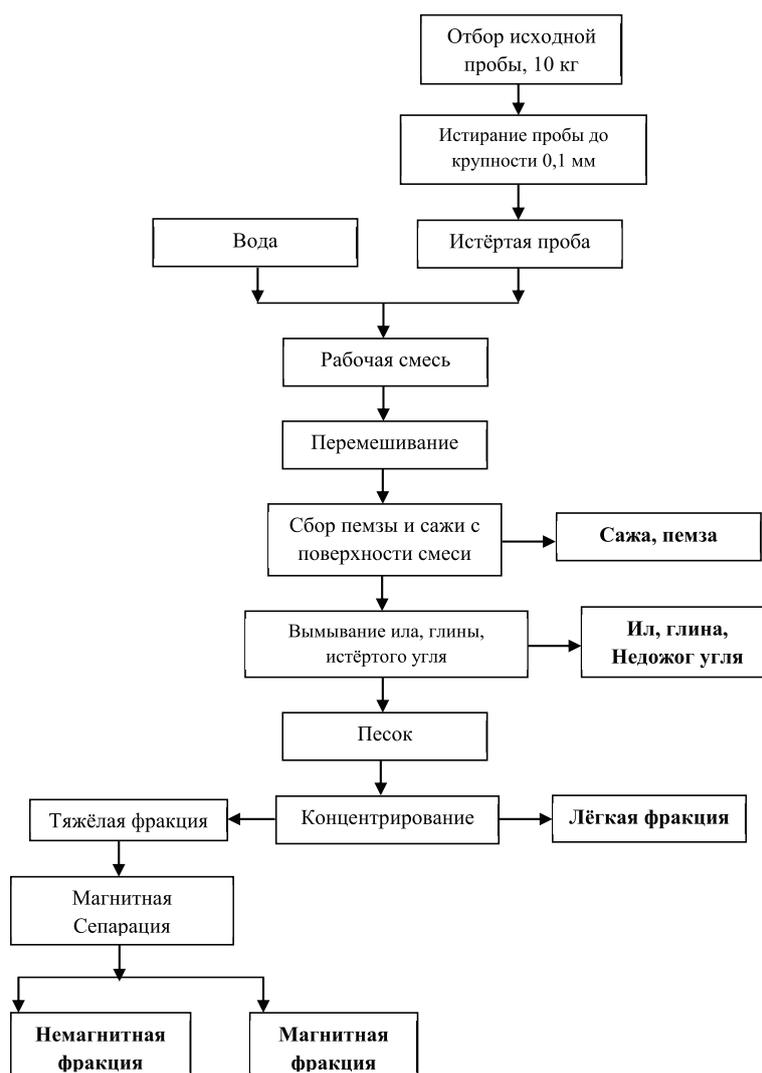


Рис. 2. Схема разделения золошлаковых проб с полигонов предприятий энергетической отрасли Приморского края

Таблица 2

Содержание золота в г/т в различных фракциях золошлаковых проб с полигонов предприятий Приморского края

Проба	Исходная	Сажа, пемза	Глина, ил	Лёгкая фракция	Тяжёлая немагн. фракция	Тяжёлая магн. фракция
ТЭЦ-2, г. Владивосток, проба 1	0,10	< 0,05	< 0,05	0,26	0,39	< 0,05
ТЭЦ-2, г. Владивосток, проба 5	0,06	< 0,05	< 0,05	< 0,05	0,21	< 0,05
ТЭЦ, г. Большой Камень	0,10	< 0,05	< 0,05	< 0,05	0,35	< 0,05
ТЭЦ, г. Арсеньев	0,11	< 0,05	< 0,05	< 0,05	0,36	< 0,05
ГРЭС, г. Партизанск	< 0,05	< 0,05	< 0,05	0,12	0,37	< 0,05
ГРЭС, пгт. Лучегорск	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	0,15	< 0,05

В настоящее время имеется обширная научная литература с рекомендациями по использованию ЗШО в строительстве [3, 4], сельском хозяйстве [2, 5], химической промышленности, металлургии и других отрас-

лях народного хозяйства. Перспективными направлениями использования золошлаковых отходов являются:

а) строительная отрасль: использование золы всех составов для производства

строительных материалов (добавки в шихту глиняного кирпича, производство аглопорита), использование золы в качестве готового строительного материала или продукта; использование зол кислого состава вместо песка; применение золы, содержащей несгоревшие угольные частицы в производстве искусственного заполнителя для легких бетонов; использование золы как добавки в цементы, бетоны, растворы и т.д. [11, 12, 15];

б) металлургическая промышленность: выделение магнитной фракции из золы для получения концентрата с содержанием оксидов железа до 85%; переработка ЗШО отходов для выделения алюминиевых, марганцевых, кремниевых и др. соединений;

в) электротехническая промышленность: извлечение из золы-уноса алюмосиликатных полых микросфер (АСПМ) – наполнителя композиционных материалов; использование золных уносов и АСПМ в производстве электронагревателей;

г) сельское хозяйство: использование кальцийсодержащих зол уноса бурых углей для известкования кислых почв;

е) природоохранные мероприятия: использование золы с повышенным содержанием свободного оксида кальция для снижения концентрации окислов серы в дымовых газах теплогенерирующих установок; применение золы, содержащей несгоревшие угольные частицы для очистки дымовых газов котлов от оксидов азота;

ж) композитные материалы: использование золы пыли и гранулированного доменного шлака для создания композитных материалов с металлической матрицей [13], использование золошлаковых отходов для производства композитной керамики [16];

з) комплексная переработка: извлечение из золы-уноса ТЭС редкоземельных и драгоценных металлов и т.п.

Однако для эффективного использования золы необходимо разделить исходные золошлаковые отходы на компоненты. С учётом проведённых исследований химического состава приморских зол и лабораторных исследований по разделению ЗШО на фракции была предложена многоступенчатая технологическая схема, направленная на разделение исходного материала на фракции и его подготовку к дальнейшей комплексной переработке (рис. 3). Предложенная схема состоит из отдельно функционирующих блоков, связанных в единую технологическую линию. В каждом блоке извлекается определённый промежуточный продукт. Таким образом, можно получить следу-

ющие промпродукты: железосодержащий концентрат (блок 3); алюмосиликаты (блок 5); недожог угля (блок 6); концентрат золота и МПГ (блок 7); немагнитный остаток (песок) (блок 7) и др.



Рис. 3. Схема разделения золошлаковых отходов при подготовке к комплексной переработке

Примерное распределение промпродуктов, получаемых из исходного сырья, при комплексной переработке ЗШО по предложенной схеме, с учётом имеющихся данных по химическому составу проб и содержанию в них золота и МПГ, представлено на рис. 4.

Для реализации предложенной технологической схемы была разработана установка предварительной подготовки золошлаковых отходов (рис. 5).

Установка на стадии предварительной подготовки техногенных отходов предусматривает получение трёх товарных продуктов – магнитного концентрата, недожога – как вторичного топлива, мелкозернистого песка, и двух промпродуктов – первичного концентрата ценных компонентов и мелкодисперсной алюмосиликатной смеси, которая может использоваться при производстве, например, ячеистых бетонов.

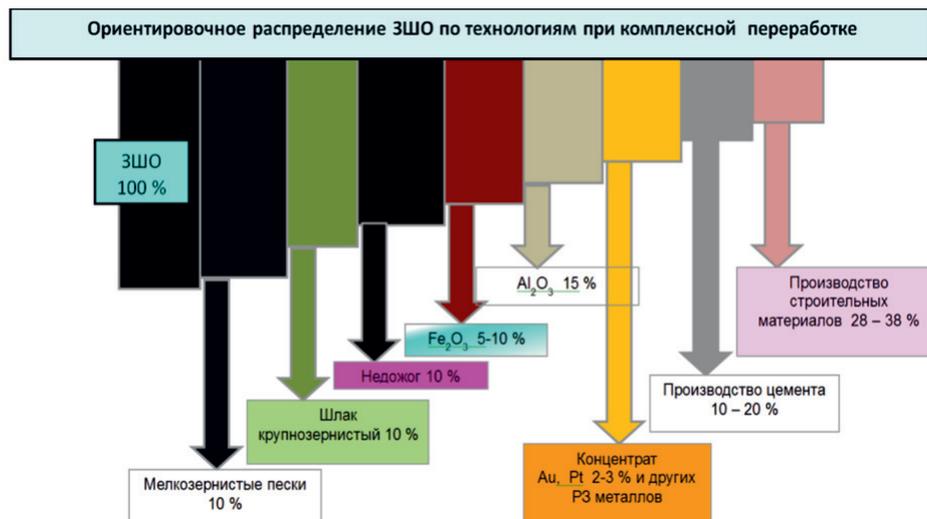


Рис. 4. Ориентировочное распределение ЗШО по технологиям при комплексной переработке

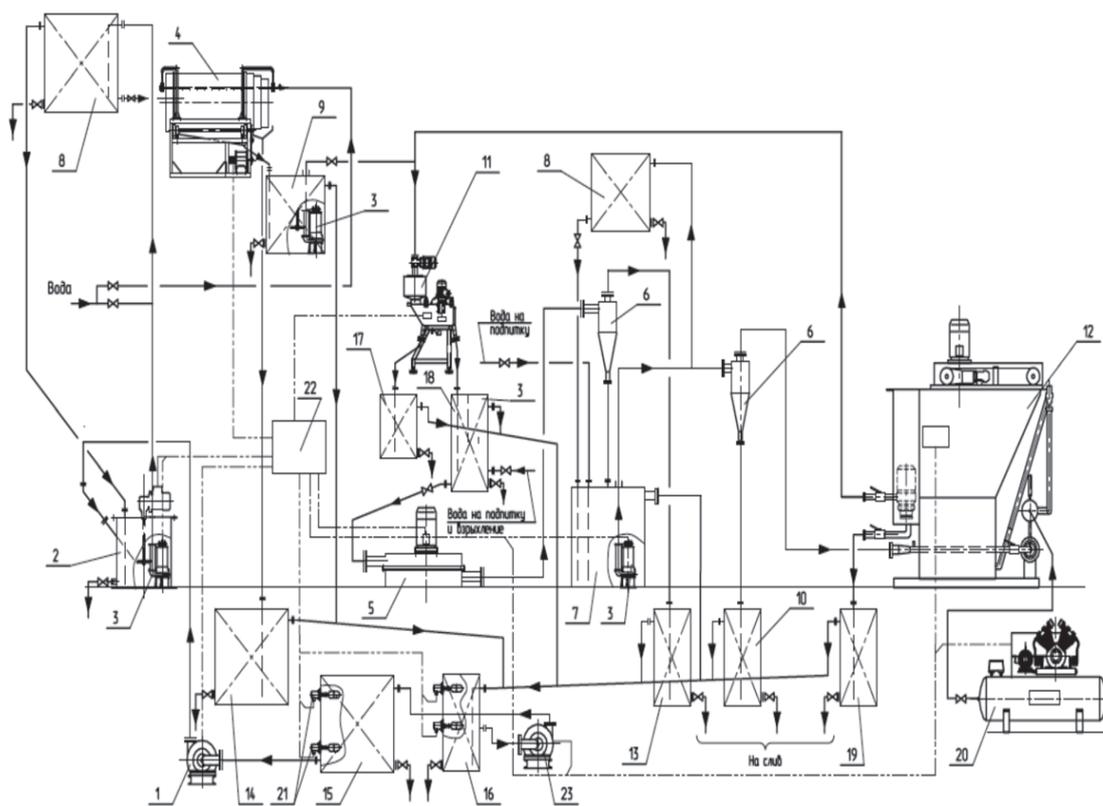


Рис. 5. Установка предварительной подготовки золошлаковых отходов (1 – насос центробежный оборотной воды; 2 – ёмкость смешивательная; 3 – погружной насос (3 шт); 4 – гидрогрохот; 5 – диспергатор; 6 – гидроциклон (2 шт); 7 – демпферный бак; 8 – бак рециркуляции; 9 – демпферный бак; 10 – ёмкость для сбора магнитного концентрата; 11 – магнитный сепаратор; 12 – флотационная установка; 13 – глинонакопитель; 14 – ёмкость для сбора фракции 3–5 мм; 15 – ёмкость для оборотной воды; 16 – отстойник; 17 – ёмкость для сбора магнитного концентрата; 18 – ёмкость для сбора немагнитного материала; 19 – ёмкость для сбора недожога угля; 20 – электрокомпрессор; 21 – датчик уровня оборотной воды; 22 – щит управления; 23 – насос центробежный)

Таблица 3

Прогноз продаж и прибыли цеха по комплексной переработке ЗШО, при постоянном объёме производства, без извлечения концентрата золота и МПГ

Год	xxx	xxx1	xxx2	xxx3	xxx4
	Строительство объекта (1,5 г.)				
Объемы продаж, тыс. руб.		135 305	541 220	541 220	541 220
Затраты, тыс. руб.	206 000	48 178	182 032	172 032	172 032
Налог на прибыль, тыс. руб.		3 518	17 410	17 410	17 410
Прибыль, тыс. руб. (с учётом погашения кредита)		12 574	70 212	139 850	209 488
Простой срок окупаемости комплексного проекта, лет				4,3	
Дисконтированный срок окупаемости комплексного проекта, лет					5,9

Таблица 4

Экономические показатели технологического процесса по извлечению концентрата золота и благородных металлов

№ п/п	Показатели	Ед. изм.	Значения
1	Годовой объём перерабатываемых ЗШО	тонн	200000
2	Капитальные вложения	тыс. руб.	146 000
3	Удельные капитальные вложения на 1 тонну ЗШО	тыс. руб.	0,730
4	Срок монтажа установок	год	1–1,5
5	Годовой выпуск товарной продукции, в том числе:		
	– золотосодержащий концентрат с содержанием золота 600 г/т	тонн	1000
	– платиносодержащий концентрат с содержанием платины 600 г/т	тонн	1000
6	Годовая стоимость продукции	тыс. руб.	288000
7	Годовые эксплуатационные затраты	тыс. руб.	186083
8	Балансовая годовая прибыль	тыс. руб.	101917
9	Безрисковая норма дисконтирования	%	17
10	Капитальные вложения, приведённые к концу расчётного периода, при безрисковой ставке дисконтирования	тыс. руб.	27607,36
11	Чистая дисконтированная прибыль за расчётный период (NPV)	тыс. руб.	283408
12	Внутренняя норма доходности при безрисковой ставке дисконтирования 17% (IRR)	%	54,8
13	Срок окупаемости капитальных вложений:	лет	
	– статистический		3,3
	– дисконтированный		3,8
14	Рентабельность за расчётный период	%	82

Таким образом, с учётом особенностей химического состава отходов предприятий энергетической отрасли был разработан многостадийный вариант организации переработки ЗШО. Первая стадия – сырьевая, на этом этапе ЗШО разделяются на фракции, очищаются от недожога. На данной стадии производится товарная продукция с устойчивой ликвидностью – высококалорийное топливо. На второй стадии происходит выделение из ЗШО следующего товарного продукта – железосодержащего концентрата. На третьей стадии происходит извлечение концентратов ценных компонентов – золота и благородных металлов, редкоземельных элементов. На четвёртой

стадии оставшаяся часть ЗШО используется для производства строительных материалов, в том числе для дорожной и цементной отраслей. Применение данного подхода позволяет максимально полно перерабатывать ЗШО, получая спектр товарных продуктов, решая попутно проблему рекультивации золошлаковых полигонов.

Проведённые расчёты показывают, что извлечение концентрата золота и благородных металлов при организации комплексной переработке ЗШО способно существенно увеличить рентабельность производства (табл. 3, 4). Так, при строительстве цеха, предназначенного для комплексной переработки ЗШО без извлечения концентрата

золота и МПГ, простой срок окупаемости комплексного проекта составляет 4,3 года, дисконтированный – 5,9 лет (табл. 3). А при добавлении линии по извлечению концентрата золота и МПГ сроки окупаемости проекта сокращаются: простой – 3,3 лет; дисконтированный – 3,8 лет (табл. 4).

Выводы

С учётом особенностей химического состава отходов предприятий энергетической отрасли Приморского края был разработан оптимальный, многостадийный вариант организации комплексной переработки ЗШО.

Первая стадия – сырьевая. На этом технологическом переделе ЗШО разделяются на фракции, очищаются от недожога. На данной стадии производится товарная продукция с устойчивой ликвидностью – высококалорийное топливо.

На второй стадии происходит выделение из ЗШО следующего товарного продукта – железосодержащего концентрата.

На третьей стадии происходит извлечение концентратов ценных компонентов – золота и благородных металлов, редкоземельных элементов.

На четвёртой стадии оставшаяся часть ЗШО используется для производства строительных материалов, в том числе для дорожной и цементной отраслей.

Применение комплексного подхода к переработке ЗШО экономически многократно эффективнее использования моно-технологий, а ресурсосберегающие и экологические эффекты, сопутствующие решению проблемы крупнотоннажных отходов, переводят это направление в разряд социально значимых.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации (Соглашение № 14.578.21.0015 от 05.06.2014 г. Уникальный идентификатор соглашения RFMEFI57814X0015).

Список литературы

1. Алексейко Л.Н., Таскин А.В. О комплексной переработке золошлаковых отходов энергетики // Экология и развитие общества: труды IX междунаро. конференции. – СПб.: Междунаро. академия наук экологии, безопасности человека и природы, 2005. – С. 12–21.

2. Бернацкий А.Ф., Михеев В.П. Новые материалы и изделия на основе золошлаковых отходов // Экология энергетики: матер. международной конф. – М., 2000. – С. 213–215.

3. Борисенко М.К. Комплексное использование золошлаковых отходов // Энергетическое строительство. – 1993. – № 1. – С. 37–40.

4. Дубов И.В., Борисенко В.К. Организационные аспекты утилизации золошлаковых отходов // Российский химический журнал, XXXVIII. – 1994. – № 5.

5. Евтушенко Г.А. и др. Новые технологии переработки золы // Экология энергетики: матер. международной конф. – М., 2000 – С. 241–244.

6. Лаврик Н.А., Литвинова Н.М. Микроминеральная составляющая бурых углей и золы Ушумунского и Сутарского месторождений (юг Дальнего Востока) и перспективы использования // Вестник ЗабГУ. – 2015. – № 03 (118). – С. 39–47.

7. Леонов С.Б., Федотов К.В., Сенченко Е.А. Промышленная добыча золота из золошлаковых отвалов тепловых электростанций // Горный журнал. – 1998. – № 5. – С. 67–68.

8. Сорокин А.П. Стратегия развития топливно-энергетического потенциала Дальневосточного экономического района до 2020 г. – Владивосток: Дальнаука, 2011. – 111 с.

9. Сухов П.А. Основные тенденции на мировом рынке энергетических углей // Деловой еженедельник. – 2005. – № 1 (347). – С. 58–61.

10. Энергетическая стратегия России на период до 2020 г.: утверждена распоряжением правительства Российской Федерации № 1234-р от 28.08.2003. – М.: ГУ ИЭС. – 2003. – 136 с.

11. Ehsan ul Haqn, Sanosh K.P., Licciulli A. Synthesis and characteristics of fly ash and bottom ash based geopolymers – A comparative study // Ceramics International. – 2014. – Vol. 40. – № 2. – P. 2965–2971.

12. Ferone C., Colangelo F., Messina F., Santoro L. ioffi R. Recycling of Pre-Washed Municipal Solid Waste Incinerator Fly Ash in the Manufacturing of Low Temperature Setting Geopolymer Materials // Materials. – 2013 – Vol. 6, № 8. – P. 3420–3437.

13. Inampudi N.M., Nallabelli A.B., Jinugu B.R. Comparative Studies on Microstructure and Mechanical Properties of Granulated Blast Furnace Slag and Fly Ash Reinforced AA 2024 Composites // Journal of Minerals and Materials Characterization and Engineering. – 2014 – Vol. 4. – № 2. – P. 319–333.

14. Ivanenko, V.V., Metelev A.Yu., Slavkina T.V., Hiev N.V. Instrumental neutron activation determination of rare earth, noble and other elements in mineral raw materials of the Socialist Republic of Vietnam // J. Radioanal. Nucl. Chem. – 1988. – Vol. 122. – P. 35–41.

15. Lyazat A. Process Parameters of Production of Non-Autoclaved Aerated Concrete on the Basis of Complex Use of Ash and Gypsum-Containing Wastes // Mediterranean Journal of Social Sciences. – 2014. – Vol.5. – № 23. – P. 2565–2571.

16. Predeanu G., Volceanov E, Abagiu T.A. Evaluation of ash utilization as a reuse material for the ceramic industry // Proceedings of the 2nd International Conference Advances in Environment Technologies, Agriculture, Food and Animal Science, Brasov, Romania. – 2013. – P. 224–229.

17. Shilo N.A. etc. Instrumental neutron activation determination of gold in mineral raw materials using a californium neutron source // J. Radioanal. Nucl. Chem. – 1983. – Vol. 79. – P. 309–316.