

УДК: 546.59+662.613.1+66.01

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ КОМПЛЕКСНОЙ ПЕРЕРАБОТКИ ОТХОДОВ ПРЕДПРИЯТИЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА ПРИМОРСКОГО КРАЯ

Шамрай Е.И.<sup>1</sup>, Таскин А.В.<sup>2</sup>, Иванников С.И.<sup>1</sup>, Юдаков А.А.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Институт химии Дальневосточного отделения РАН, Владивосток, Россия*

<sup>2</sup>*Дальневосточный Федеральный Университет, Владивосток, Россия*

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).

### АННОТАЦИЯ

Приведены результаты исследования золоотвалов следующих предприятий энергетического комплекса Приморского края: ТЭЦ-2, г. Владивосток; ТЭЦ, г. Артем; ТЭЦ, г. Большой камень; ТЭЦ, г. Арсеньев; ГРЭС, г. Партизанск; Приморская ГРЭС г. Лучегорск.

Выявлены золошлаковые объекты с высокими концентрациями Au и Ag. Определен химический и минеральный состав проб с исследованных зоошлаковых 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, дедритоидокомковидная формы зерен).

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 тяжелой немагнитной и легкой немагнитной фракции. Показаны возможности применения материалов, полученных при разделении ЗШО, в качестве сырья для различных отраслей промышленности.

На основании проведенных исследований разработан «Экспериментальный образец установки предварительной подготовки золошлаковых отходов к извлечению концентрата микродисперсного золота и МПГ». С учетом 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.

### ВВЕДЕНИЕ

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 отходов на ТЭС и котельных, сжигающих твердое топливо, составляет около 40% общего количества отходов промышленного производства в Российской Федерации [1] (без учета отвала пород горнодобывающей промышленности) и оценивается примерно в 90 млн. тонн в год. Объем накопленных в России золошлаков приближается к 2 млрд. тонн, размещенных на территориях более чем 22 тыс. га [2]. 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 обогащенным сырьем 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 [3–5]. 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 тонко-

дисперсном 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 возможным разработка технологических и аппаратных решений по комплексной переработке техногенных отходов предприятий энергетической отрасли с сопутствующим извлечением ценных компонентов, в частности концентрата микродисперсного золота и металлов платиновой группы.

### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Исследования отходов предприятий энергетической отрасли проводились с пробами, отобранными с полигонов следующих территорий: г. Владивосток, ТЭЦ-2; г. Артем, 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 анализа (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 калифорния-252 [7, 8]. Для измерений навески 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 спектрофотометрии (ААС) в лаборатории микро- и наноисследований аналитического центра геологического института ДВО РАН. Для определения содержания Au, Pt и Pd пробы разлагались последовательно смесью кислот HF + HNO<sub>3</sub> с последующим соосаждением Te по методике ЦНИГРИ-2005. Для определения содержания Ag пробы разлагались последовательно смесью кислот HCl + HNO<sub>3</sub>. 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 рентгено-флуоресцентного 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% (таблица 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 7-ми пробах с содержанием от 0,045 г/т до 0,180 г/т и наличие серебра в 5-ти 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.

Проведенные 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.

Табл.1 Усредненное 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. Артем	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

Характерны весьма разнообразная морфология обнаруженных зерен золота (ксеноморфная, комковидная, дедритоидо-комковидная формы зерен) и тонкодисперсное состояние микрочастиц золота (от долей до десятков микрон) (рис. 1).

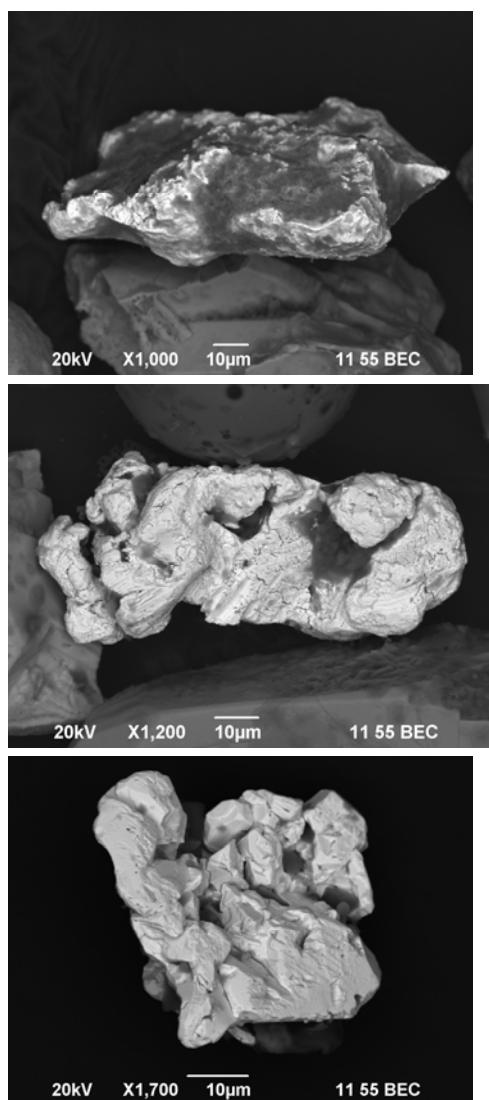


Рис. 1 Микрочастицы золота сложной формы, снятые под сканирующим электронным микроскопом

Для исследования возможности концентрирования золота, исходный золошлаковый материал в лабораторных условиях был подвергнут разделению на фракции. Схема разделения проб ЗШО приведена на рисунке 2.

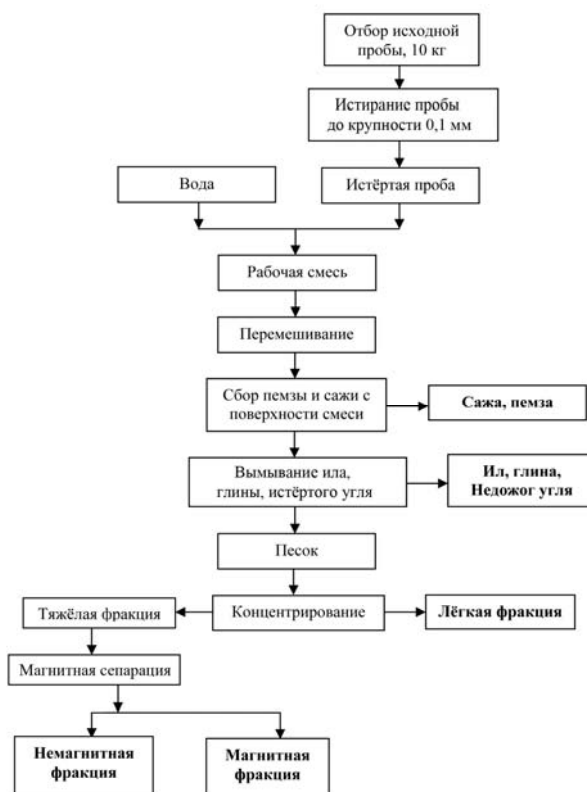


Рис. 2 Схема разделения золошлаковых проб с полигонов предприятий энергетической отрасли Приморского края

При проведении работ отбиралась исходная проба в объеме 10 кг, после чего она истиралась на дисковом истирателе до крупности 0,1 мм, далее полученный материал высыпался в емкость, в которую подавалась вода. В емкости проба тщательно перемешивалась, отстаивалась. С поверхности собиралась пена, состоящая из пемзы и сажи. Собранный материал

сушился и взвешивался на весах второго класса точности.

В емкость с замоченной пробой под малым напором подавалась вода, шло вымывание из пробы ила, глины, истертого угля.

Вода переливалась через край емкости 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 следующие фракции сыпучего материала: сажа, пемза;

глина, ил, недожог угля; легкая немагнитная фракция – песок; концентрат – тяжелая немагнитная фракция; концентрат – тяжелая магнитная фракция.

Полученные фракции, взвешивались и отправлялись на повторные анализы – НАА (определение содержания золота), РФА (определение химического состава). Проведенные анализы показали концентрирование золота преимущественно в немагнитной фракции, и практически полное отсутствие золота в магнитной фракции. По данным НАА содержание золота в пробах, представляющих легкую 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 (таблица 2).

Табл.2 Содержание золота в г/т в различных фракциях золошлаковых проб с полигонов предприятий Приморского края

Проба	Исходная	Сажа, пемза	Глина, ил	Легкая фракция	Тяжелая немагн. фракция	Тяжелая магн. фракция
ТЭЦ-2, г. Владивосток пр.1	0,1	<0,2	-	0,2	0,4	<0,2
ТЭЦ-2, г. Владивосток пр.5	<0,1	<0,2	<0,2	0,1	0,2	<0,2
ТЭЦ-2, г. Владивосток пр.31	<0,2	-	-	0,5	<0,2	<0,2
ТЭЦ, г. Большой Камень	<0,2	<0,2	-	<0,2	0,4	<0,2
ТЭЦ, г. Арсеньев	0,2	<0,2		0,4	0,4	<0,2
ТЭЦ, г. Артем	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
П-ГРЭС, г. Партизанск	<0,1	0,2	-	0,4	0,1	<0,2
Л-ГРЭС, пгт. Лучегорск	<0,2	-	<0,2	<0,2	1,0	<0,1

## АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ

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

В настоящее время имеется обширная научная литература с рекомендациями по использованию ЗШО в строительстве [9,10], сельском хозяйстве [11,12], химической промышленности, металлургии и других отраслях 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; ис-

пользование 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 [13-15].

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 зольной пыли и гранулированного доменного шлака для создания композитных материалов с металлической матрицей [16], использование золошлаковых отходов для производства композитной керамики [17];

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 учетом проведенных 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 подготовке к дальнейшей комплексной переработке (рис. 3).

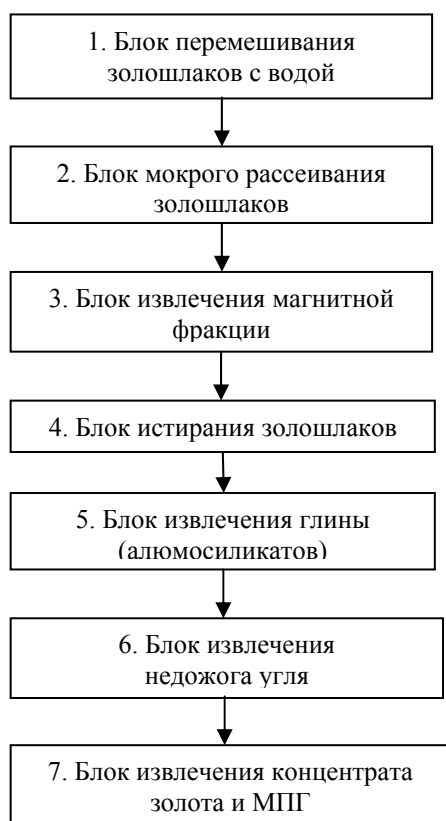


Рис. 3 Схема разделения золошлаковых отходов, при подготовке к комплексной переработке

Предложенная схема состоит из отдельно функционирующих блоков связанных в единую технологическую линию. В каждом блоке извлекается определенный промежуточный продукт. Таким образом, можно получить следующие 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.

Примерное распределение промпродуктов, получаемых из исходного сырья, при комплексной переработке ЗШО по предложенной схеме, с учетом 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 трех 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.

Таким образом, с учетом 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 четвертой 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.

Проведенные расчеты показывают, что извлечение концентрата золота и благородных металлов при организации комплексной переработке ЗШО способно существенно увеличить рентабельность производства (таблицы 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 (таблица 3). А при добавлении линии по извлечению концентрата золота и МПГ сроки окупаемости проекта сокращаются до: простой – 3,3 лет; дисконтированный – 3,8 лет (таблица 4).

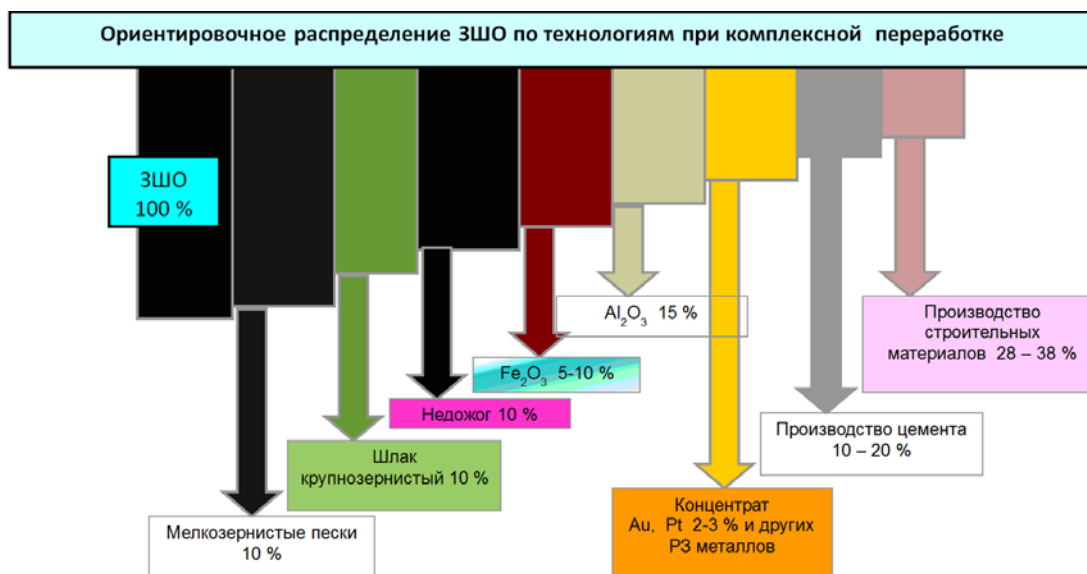


Рис. 4 Ориентировочное распределение ЗШО по технологиям при комплексной переработке

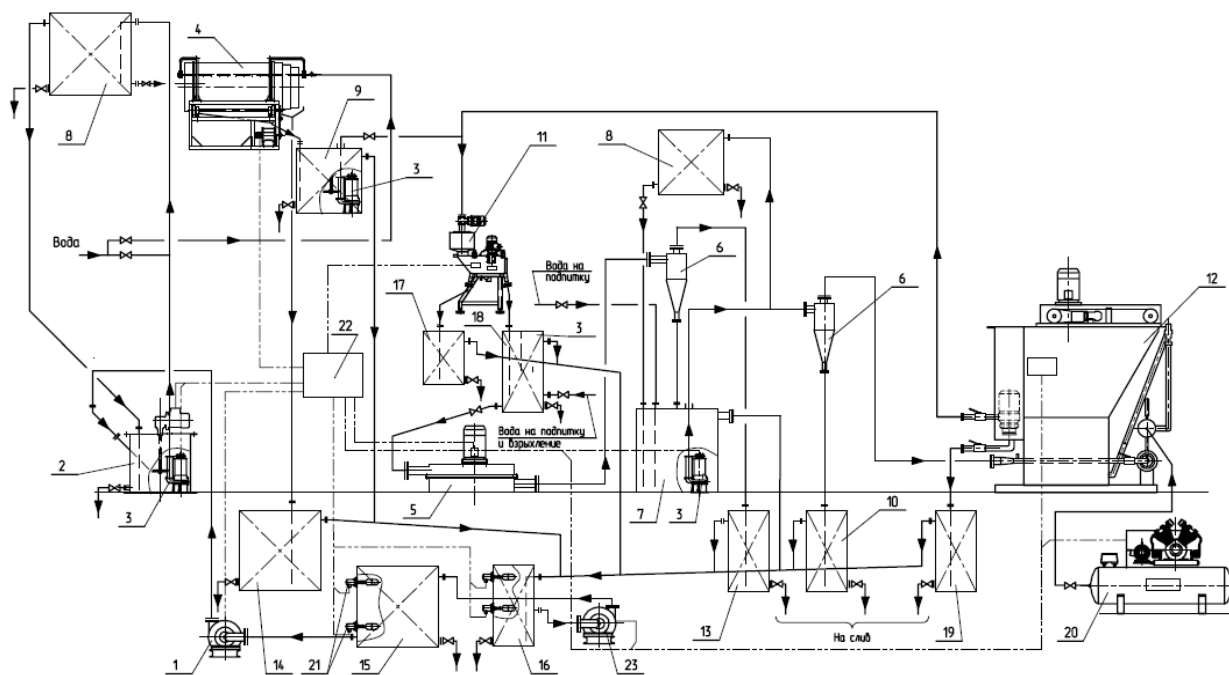


Рис. 5 Установка предварительной подготовки золошлаковых отходов (1 – насос центробежный оборотной воды; 2 – емкость смешивающая; 3 – погружной насос (3 шт); 4 – гидрогрохот; 5 – диспергатор; 6 – гидроциклон (2 шт); 7 – демпферный бак; 8 – бак рециркуляции; 9 – демпферный бак; 10 – емкость для сбора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

Табл.3 Прогноз продаж и прибыли цеха по комплексной переработке ЗШО, при постоянном объеме производства, без извлечения концентрата золота и МПГ

Год	xxx	xxx1	xxx2	xxx3	xxx4
	Строительство объекта (1,5 года)				
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 учетом погашения кредита)		12 574	70 212	139 850	209 488
Простой срок окупаемости комплексного проекта, лет				<b>4,3</b>	
Дисконтированный срок окупаемости комплексного проекта, лет					<b>5,9</b>

Табл.4 Экономические показатели технологического процесса по извлечению концентрата золота и благородных металлов

№ п/п	Показатели	Ед. изм.	Значения
1	Годовой объем 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, приведенные к концу расчетного периода, при безрисковой ставке дисконтирования	тыс. руб.	27607,36
11	Чистая дисконтированная прибыль за расчетный период, (NPV)	тыс. руб.	283408
12	Внутренняя норма доходности при безрисковой ставке дисконтирования 17 % (IRR)	%	54,8
13	Срок окупаемости капитальных вложений:		
	- статистический	лет	<b>3,3</b>
	- дисконтированный		<b>3,8</b>
14	Рентабельность за расчетный период	%	82

## ВЫВОДЫ

С учетом 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 четвертой 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 ис-

пользования монотехнологий, а ресурсосберегающие и экологические эффекты, сопутствующие решению проблемы крупнотоннажных отходов, переводят это направление в разряд социально значимых.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Сухов П.А. Основные тенденции на мировом рынке энергетических углей // Деловой еженедельник. - 2005. - №1 (347). - С. 58-61.  
Sukhov P.A. Osnovniye tendencii na mirovom rynke energeticheskikh ugley [The main tendencies in the global market of energy coals] // Delovoy ezhenedelnyk. - 2005. - №1 (347) / - pp. 58-61
2. Алексейко Л.Н., Таскин А.В. О комплексной переработке золошлаковых отходов энергетики // Экология и развитие общества: труды IX международ. конференции. - СПб.: Международ. академия наук экологии, безопасности человека и природы, 2005. - С. 12-21.  
Alekseyko L.N., Taskin A.V. O kompleksnoy pererabotke zoloshlakovykh othodov energetiki [Complex recycling of ash and slag waste of energy enterprises] / L.N. Alekseyko, A.V. Taskin // Ecology and development of society: papers of IX international conference. - Saint Petersburg: International academy of ecology, human's and nature's safety sciences [Mezhdunarodnaya akademiya nauk ekologii, bezopasnosti cheloveka y prirody], 2005. - pp.12-21.
3. Леонов С.Б., Федотов К.В., Сенченко Е.А. Промышленная добыча золота из золошлаковых отвалов тепловых электростанций // Горный журнал. - 1998. - №5. - С. 67-68.  
Leonov S.B., Fedotov K.V., Senchenko A.E. Promyshlennaya dobycha zolota iz zoloshlakovykh othodov energetiki [Industrial gold extraction from ash and slag disposal areas of TPPs] // Gornyy zhurnal. - 1998 - №5. - pp.67-68
4. Сорокин А.П. Стратегия развития топливно-энергетического потенциала Дальневосточного экономического района до 2020 г. - Владивосток: Дальнаука, 2011. - 111с.  
Sorokin A.P. Strategiya razvitiya toplivno-energeticheskogo potentsiala dalnevostochnogo ekonomicheskogo rayona do 2020 g. [Far Eastern economic region fuel-energy development strategy up to 2020]. - Vladivostok: Dalnauka, 2011. - 111p.
5. Энергетическая стратегия России на период до 2020 года: утверждена распоряжением правительства Российской Федерации №1234-р от 28.08.2003. - М.: ГУ ИЭС. - 2003. - 136 с.  
Energeticheskaya strategiya Rossii na period do 2020 goda: utverzhdena rasporyazheniyem pravitelstva Rossiyskoy Federatsyy №1234-p ot 28.08.2003 [Russian Federation energy strategy up to 2020: approved by government edict №1234-p as of 28.08.2003]. - Moscow: GU IES. - 2003. - 136 p.
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.  
Lavrick N.A., Litvinova N.M. Mikromineralnaya sostavlyayushchaya burykh ugley i zoly Ushumunskogo i Sutarskogo mestorozhdeniy (yug Dalnego Vostoka) i perspektivy ispolzovaniya // Vestnik ZabGU. - 2015. - №03 (118). - С. 39-47.
7. 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. A. - 1988. - 1(122). - P.35-41.
8. 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.
9. Борисенко М.К. Комплексное использование золошлаковых отходов // Энергетическое строительство. - 1993. - № 1. - с. 37-40.  
Borisenko M.K. Kompleksnoye ispolzovaniye zoloshlakovykh othodov [Complex using of ash and slag waste] // Energeticheskoye stroytelstvo. - 1993. - №1. - pp.37-40
10. Дубов И.В., Борисенко В.К. Организационные аспекты утилизации золошлаковых отходов // Российский химический журнал, XXXVIII. - 1994. - №5.  
Dubov I.V., Borisenko V.K. Organizatsionnye aspekty utilizatsii zoloshlakovykh othodov [Organizational aspects of ash and slag waste utilization] // Rossiyskiy khimicheskiy zhurnal [Russia chemistry journal], XXXVIII. - 1994. - №5.
11. Бернацкий А.Ф., Михеев В.П. Новые материалы и изделия на основе золошлаковых отходов // Экология энергетики: матер, международной конф. - М.: - 2000 - С. 213 - 215.



- Bernatskiy A.F. and Mikheev V.P. Novye materialy I izdeliya na osnove zoloshlakovykh othodov [New materials and production made from ash and slag waste] // *Ekologiya energetiki* [Energetics ecology]: materials of international conference. - M.: -2000 - pp.213 - 215
12. Евтушенко Г.А. и др. Новые технологии переработки золы // *Экология энергетики: матер, международной конф.* - М.: - 2000 - С. 241 - 244.  
Evtushenko G.A. et al. Novye tekhnologiy pererabotky zoly [New technologies of ash recycling]// [Energetics ecology]: materials of international conference. - M.: -2000 - pp.241 - 244
13. 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. - No 8. - P. 3420-3437.
14. 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. - No 2. - P.2965-2971.
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. - No 23. - P.2565-2571.
16. 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. - No 2. - P. 319-333.
17. 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.