

# ПУТИ СНИЖЕНИЯ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ ОТХОДОВ ТЭС (НА ДОНБАССЕ)

С. Е. Гулько, д.т.н., профессор<sup>а</sup>; Н. Г. Насонкина, д.т.н., профессор<sup>б</sup>; Д. Г. Соколов<sup>б</sup>;  
С. Е. Антоненко, к.т.н., доцент<sup>б</sup>; В. С. Забурдаев<sup>б</sup>

<sup>а</sup>Донгипрошахт, г. Донецк, <sup>б</sup>ФГБОУ ВО «ДОННАСА», г. Макеевка

**Аннотация:** представлен анализ экологического воздействия отходов ТЭС на окружающую среду. На примере Зуевской ТЭС изучены условия формирования отходов, их минеральный состав, качественно-количественные показатели. Показано, что золоотвалы занимают большие территории, они постоянно пылят, а подвижные формы отходов вымываются осадками. Отмечается отрицательное воздействие отвалов на атмосферу, литосферу и биосферу, в том числе и на организм человека. Утилизация теплоэнергетических отходов имеет важное экологическое, экономическое и энергосберегающее значение. Из составляющих ЗШО практический интерес представляют железосодержащий магнитный концентрат, вторичный уголь, микросфера, инертная масса алюмосиликатного состава и тяжелая фракция. Разработана технологическая схема извлечения микросферы и сопутствующих компонентов из золы уноса Зуевской ТЭС с учетом обеспечения замкнутой системы оборотного водоснабжения. Извлечение полезных компонентов из ЗШО, с последующей их утилизацией по предложенной схеме позволяет освободить занимаемые площади и снизить негативное воздействие на окружающую среду.

**Ключевые слова:** микросфера, зола, отходы, отвалы, шлак, золошлаковая смесь, теплоэлектростанции



**Гулько**  
Сергей Евгеньевич



**Насонкина**  
Надежда Геннадиевна



**Соколов**  
Дмитрий Геннадиевич



**Антоненко**  
Светлана Евгеньевна



**Забурдаев**  
Вячеслав Семенович

## ФОРМУЛИРОВКА ПРОБЛЕМЫ И АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ.

Утилизация и захоронение отходов относятся к одной из основных экологических проблем во всем мире. Основным источником отходов в России являются топливная промышленность (4 365 тыс. т) и энергетика (5 898 тыс. т) [1, 2]. Результаты многолетних мониторинговых исследований свидетельствуют о существенной экологической опасности зон складирования отходов энергетического комплекса. Например, только из терриконов в атмосферу Донбасса выбрасывается свыше 65 тыс. т/год вредных веществ. При сбросе 55 млн. м<sup>3</sup> шахтных вод в реки поступает 200 тыс. т растворенных солей. Большое количество растворенных соединений способствует сдвигу их межфазного распределения и становится основной причиной возникновения экологического риска.

Теплоэлектростанции, являясь необъемлемой частью энергетического комплекса, также относятся к основным источникам загрязнения окружающей среды. Процесс сжигания топлива на ТЭС сопровождается образованием золошлаковых отходов (далее ЗШО). Общее количество золы и шлака в золоотвалах России превышает 1,5 млрд. т, а площадь, занимаемая отвалами, – 220 км<sup>2</sup> [3, 4]. Для российских угольных энергоблоков, наряду со значительными величинами выбросов в атмосферу загрязняющих веществ, характерен низкий уровень технологий улавливания и хранения золы и шлака. Уровень выбросов в энергетическом комплексе превышает европейские нормы в 50 раз [1-6].

Золоотвалы постоянно пылят, а подвижные формы отходов вымываются осадками, загрязняя окружающую среду. Утилизация теплоэнергетических отходов имеет важное экологическое, экономическое и энергосберегающее значение.

Из составляющих ЗШО практический интерес представляют железосодержащий магнитный концентрат, вторичный уголь, микросфера, инертная масса алюмосиликатного состава и тяжелая фракция. Зола содержит почти все существующие в природе элементы, главными из которых являются кремний, алюминий, железо, кальций, калий и титан. Многочисленные исследования [3,4, 7, 9-17] свидетельствуют о положительных результатах по извлечению ценных компонентов, в том числе и микросферы. На сегодняшний день в мировой практике известно пять направлений по переработке ЗШО [7, 8] (рис.1).

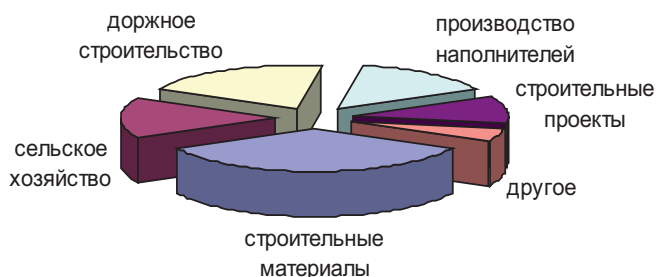


Рис. 1. Основные направления переработки ЗШО

Зола богата оксидом алюминия, ее можно использовать как потенциальный заменитель бокситов. Впервые алюминий стали извлекать из отходов горения угля в 1950 г. в Польше [4]. Сегодня в стране производят 10 тыс. т алюминия и 100 тыс. т цемента. В Китае в 2012 году на крупнейшей электростанции мира был запущен масштабный проект Tuoketuo. Завод производит 240 млн. т оксида алюминия и 200 млн. т силиката кальция, что полностью перекрывает потребность страны в металле [18].

В Европе увеличение объемов переработки ЗШО началось с введением директив, регулирующих выбросы угольной промышленности. Самые известные стандарты – IPPC, LCPD, IED. В 2010 году страны Тихоокеанского региона также создали ассоциацию угольной золы. Лидером переработки зольных отходов сегодня является Индия, на территории которой перерабатывается до 30 млн. т ежегодно [1, 3]. В европейских странах перерабатывается от 70 до 100 % от общего количества золошлакоотходов [3- 6]. Высокий уровень утилизации ЗШО обеспечивается широким внедрением технологий комплексной переработки отходов ТЭЦ.

Для выделения микросферы на действующих ТЭС Российской Федерации используются [3, 7-11] следующие схемы: а) извлечения микросферы с поверхности золоотвалов; б) выделение микросферы из пульпы золы уноса; в) улавливания сухой золы уноса с дальнейшим использованием в строительной промышленности; г) переработка микросферы из золоотвала с производством товарной микросферы на специализированных предприятиях и д) комбинированная схема извлечения микросферы. Степень использования ЗШО по стране не превышает 10 % [3, 4]. Сложившаяся ситуация предопределяет необходимость более широкого внедрения переработки ЗШО на территории России с учетом экологической и социальной безопасности. В связи с этим возникает необходимость проведения мониторинга объектов теплоэнергетики. Это позволит выявлять и

оценивать уровни риска, спрогнозировать динамику и скорость развития техногенной ситуации и своевременно разработать мероприятия по снижению воздействия на окружающую среду.

### ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Исследование состава золы уноса на примере «Зуевской» ТЭС, разработка и обоснование выбора экологически безопасной технологии выделения микросферы из золы уноса ТЭС и оценка возможности ее использования.

### ОСНОВНОЙ МАТЕРИАЛ

Топливо-энергетический комплекс Донбасса представлен предприятиями по добыче, обогащению и генерации электроэнергии. Основным источником энергоресурсов является Донецкий угольный бассейн (рис. 2). Промышленные запасы месторождения в границах ДНР составляют 233 670,0 тыс. т коксующегося угля и 742 709,0 тыс. т энергетического угля.



Рис. 2. Схема топливно-энергетического комплекса Донбасса

На территории Донецкой Народной Республики расположены две тепловые электростанции – «Зуевская» и «Старобешевская».

Показатели качества рядовых углей, добываемые на шахтах, не соответствуют требованиям электростанций по золе. Для обеспечения необходимого качества добываемый уголь подвергается обогащению на фабриках ЦОФ «Моспинская», ГОФ «Красная Звезда» и обогатительной установке шахты «Комсомолец Донбасса».

Топливной базой для «Зуевской» ТЭС являются угли марки Г, добываемые в Луганской Народной Республике. Для обеспечения устойчивой работы ТЭС в качестве топлива также используется шихта углей ДНР.

Существующий способ улавливания золы уноса на «Зуевской» ТЭС – сухой в электрофильтрах. Система передачи золы уноса в золоотвал – гидротранспортная в смеси со шлаком. Для всех энергоблоков «Зуевской» ТЭС выполнена гидравлическая замкнутая система золошлакоудаления с совместным внешним транспортированием золы и шлака (рис.3).

Все золошлаковые отходы «Зуевской» ТЭС складироваться в отвале (рисунок 4). Золошлакоотвал расположен в балке Калмыцкой, на расстоянии 6,5 км на юго-восток от площадки «Зуевской» ТЭС. Ближайшим населенным пунктом является Шахтное, расположенное в 2 км восточнее золоотвала. Площадь, занимаемая золоотвалом, составляет около 140 га.

Золошлакоотвалы являются объектами повышенной экологической опасности за счет: пыления пляжей, фильтрации в подземные горизонты отвальной воды, обогащенной растворимыми зольными компонентами; сброса избытков осветленной воды в поверхностные водоисточники.

Влажные золошлаки, попадая в отвал, быстро слеживаются и в значительной степени теряют свои потребительские свойства. Срок службы золоотвала ограничен технической возможностью, условием надежности и экологической безопасностью. Золоотвал «Зуевской» ТЭС является очагом скопления тяжелых металлов, обладает повышенной радиоактивностью и постоянно действующим загрязнителем почвы, подземных и поверхностных водоисточников и атмосферы.

Зола и шлак быстро поддаются выветриванию. После высыхания уже при скорости ветра выше 3 м/с начинают пылить. В результате воздушных и водных миграционных процессов вокруг отвала образуются ореолы изменения геологической среды.

Наличие тонкодисперсной золы, которая складывается громадными объемами и разносится на большие расстояния благодаря сильным ветрам, способствует заболеванию людей бронхиальной астмой, аллергическим бронхитом и другими болезнями. Поэтому отвалы рекомендуется выносить за городскую черту и избегать складирования золы в больших объемах. Для этого необходимо предусматривать утилизацию отходов на каждом из предприятий.

В экосистеме теплоэнергетического комплекса наблюдаются процессы межфазного распределения. Исследования проводили на территории золошлакоотвала. Экспериментальные пробные площадки (размером 10x10 м) закладывали на берегу. Полученные данные обработаны статистически и представлены на рис. 5.

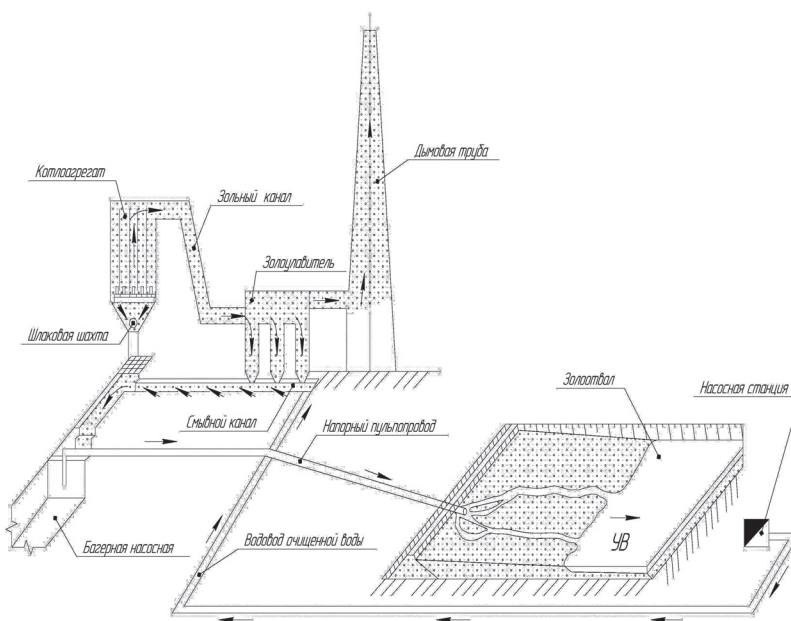


Рис. 3. Схема гидрозолоудаления на тепловой электрической станции



Рис.4. Золошлакоотвал «Зуевской» ТЭС

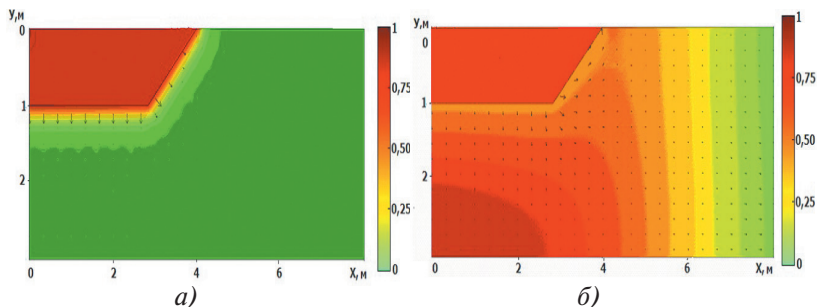


Рис 5. Изменение диффузии тяжелых металлов в исследуемой области:

а) начальное распределение концентрации; б) конечное распределение концентрации тяжелых металлов

Распределение (рис. 5) является типичным для процесса распространения концентраций химических элементов при конвективной диффузии. Равновесное распределение тяжелых металлов подтверждает необходимость создания систем комплексной оценки уровня экологической безопасности отдель-

ных экотопов для территорий с отвалами с учетом набора локальных рисков.

Золоотвал «Зуевской» ТЭС существенно пополнен. Заполнены все свободные площадки, и он является сооружением повышенной опасности. Отвод земельных ресурсов для строительства нового золоотвала крайне затруднен. Система требует реконструкции и модернизации с учетом экологических рисков.

С целью оценки рентабельности переработки ЗШО проанализированы четыре возможных варианта обеспечения топливом «Зуевской» теплоэлектростанции: 1 – уголь марки Г; 2 – шихта угля марки Г и угля марки ОС; 3 – шихта угля марки Г и угля марки Т; 4 – уголь марки Т (таблица 1).

На основании анализа (таблица 1) минеральной части топлива «Зуевской» ТЭС содержание химических компонентов соединений  $\text{SiO}_2$  составляет 38,0 %,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  – 19,77 %. По результатам работы [13] достаточное условие для образования микросферы – это соотношение  $\text{SiO}_2 : \text{Al}_2\text{O}_3$  должно быть 1,6-1,8. По результатам работы [14] наиболее благоприятное для образования микросферы соотношение оксида кремния и алюминия должно находиться в пределах 2,0-2,5. Для рассмотренных вариантов соотношение составляет: 1 – 2,58, 2 – 2,02, 3 – 1,96, 4 – 1,92. Следовательно, по всем рассмотренным вариантам

в золе уноса, образующейся при сжигании топлива, соотношение химических компонентов соединений  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  является достаточным и одним из определяющих факторов для образования микросферы. Наилучший эффект достигается при использовании угля марки Т.

В ходе исследований выполнена оценка разделения золошлаковых продуктов на золу унос.

По данным работы [4], при сжигании углей газовой группы в котлоагрегатах с жидким шлакоудалением доля шлака составляет 20 %, соответственно, доля золы уноса в общем объеме шлаковых отходов составляет 80 %. Химический состав шлака и золы представлен в таблице 2.

Сравнительная характеристика химического состава золошлаковой смеси приведена в таблице 3.

На основании анализа минеральной части топлива «Зуевской» ТЭС содержание химических компонентов соединений  $\text{SiO}_2$  составляет 38,85 %,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  – 18,86 %. Для образующихся отходов при сжигании шихты углей марок А и Т соотношение химических компонентов соединений  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  является достаточным для образования микросферы.

Схема извлечения микросферы и сопутствующих компонентов из золы уноса для «Зуевской» ТЭС рекомендуется с применением мокрых методов переработки, чтобы снизить влияние дополнительного пыления.

Таблица 1.

Приведение данных по золе уноса

Химические соединения	Содержание, %	Содержание, %	Содержание, %	Содержание, %
$\text{SiO}_2$	57,4	45,16	39,98	38,00
$\text{TiO}_2$	1,08	0,66	0,64	0,66
$\text{Al}_2\text{O}_3$	22,2	22,36	20,39	19,77
$\text{Fe}_2\text{O}_3$	11,71	18,79	23,38	22,62
FeO	9,47	–	–	=
CaO	2,64	2,46	3,49	3,80
MgO	1,99	1,99	1,28	1,37
MnO	–	–	–	–
$\text{K}_2\text{O}$	2,25	2,33	2,03	2,00
$\text{Na}_2\text{O}$	0,7	0,88	1,15	1,35
$\text{P}_2\text{O}_5$	0,013	0,51	0,58	0,39
$\text{SO}_3$	0,24	1,94	2,92	3,48
Потери при прокаливании	1,3	2,92	6,76	23,6
№ варианта	1	2	3	4

Таблица 2.

Химический состав

Химические соединения	Содержание, %	Содержание, %	Содержание, %
SiO <sub>2</sub>	54,08	48,76	51,42
TiO <sub>2</sub>	1,05	0,35	0,7
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	21,25	18,02	19,6
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	13,55	12,39	12,97
CaO	3,60	1,73	2,67
MgO	1,67	2,16	1,92
K <sub>2</sub> O	3,03	2,97	3,0
Na <sub>2</sub> O	0,98	1,38	1,18
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,61	0,29	0,45
SO <sub>3</sub>	0,18	0,52	0,35
Потери при прокаливании	0,00	23,60	23,6
примечание	шлака [19]	Зола уноса [19]	ЗШЮ

Таблица 3.

Сравнительная характеристика химического состава золошлаковой смеси

Химические соединения	Содержание химических соединений, %	
	Золошлаковая смесь [5]	Золошлаковая смесь шихты из марок А+Т
SiO <sub>2</sub>	51,42	38,85
TiO <sub>2</sub>	0,7	0,7
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	19,6	18,86
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	12,97	23,51
CaO	2,67	4,5
MgO	1,92	2,4
K <sub>2</sub> O	3,0	2,3
Na <sub>2</sub> O	1,18	1,2
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,45	0,42
SO <sub>3</sub>	0,35	3,86
Потери при прокаливании	23,6	15,0

Объем золошлаковых отходов приведен в таблице 4.

Выделение микросферы на действующих электростанциях Донецкой Народной Республики производится с водной поверхности золошлаковых отвалов малоэффективным немеханизированным способом. Учитывая сложившееся положение, необходимо разработать технологическую схему по выделению микросферы и сопутствующих компонентов из золы уноса для ТЭС ДНР.

Технологическая схема извлечения микросферы, магнетита и зольных смесей представлена мокрыми методами: гидро-сепарация водной суспензии золы уноса с получением микросферы; магнитная сепарация с получением магнетитового концентрата и немагнитного продукта: зольные смеси.

Технологическая схема комплексной переработки водной суспензии золы уноса приведена на рисунке 3 и представлена следующими операциями: подача водной суспензии золы уноса от насосных станций в сгуститель; гидросепарация в сгустителе водной суспензии золы уноса с получением микросферы, сгущенного продукта и слива сгустителя; перечистка микросферы с

получением двух продуктов: микросферы и тяжелой фракции; сушка микросферы в сушильном барабане; классификация микросферы на фракции на виброгрохоте; магнитная сепарация сгущенного продукта сгустителя в магнитных сепараторах с получением двух продуктов: магнетитового концентрата и немагнитного продукта; обезвоживание магнетита; обезвоживание немагнитного продукта магнитной сепарации в центрифуге с получением обезвоженных зольных смесей и фугата; смешивание обезвоженных зольных смесей со связующим (цемент); гранулирование в грануляторе с получением гранулированной золы; направление слива сгустителя, фугата центрифуг в существующую схему гидротранспорта котлотурбинного цеха.

Товарная продукция представлена: микросферой; магнетитом; гранулированной золой.

**ВЫВОДЫ**

Извлечение полезных компонентов из ЗОШ с последующей их утилизацией полностью позволит высвободить занимаемые площади и снизить негативное воздействие на окружающую среду, а также уменьшить энергетическими предприятиями технологические расходы на основное производство.

Таблица 4.

**Объем золошлаковых отходов**

Наименование продуктов	Выход, процент	Производительность	
		т/ч	тыс. т
Золошлаковые отходы:	100,0	100,0	600,0
• зола уноса	70,0	70,0	420,0
• шлаковые отходы	30,0	30,0	180,0

Выход продуктов переработки золы уноса приведен в таблице 5.

Таблица 5.

**Баланс продуктов переработки водной суспензии золы уноса**

Наименование продуктов	Выход максимальный, %	Производительность		
		т/ч	тыс. т	Влажность, %
Микросфера	0,111	0,078	0,47	7,0
Магнетит	5,829	4,08	24,48	8,0
Гранулированная зола	94,06	65,84	395,0	15,0
Итого	100,00	70,0	420,0	—

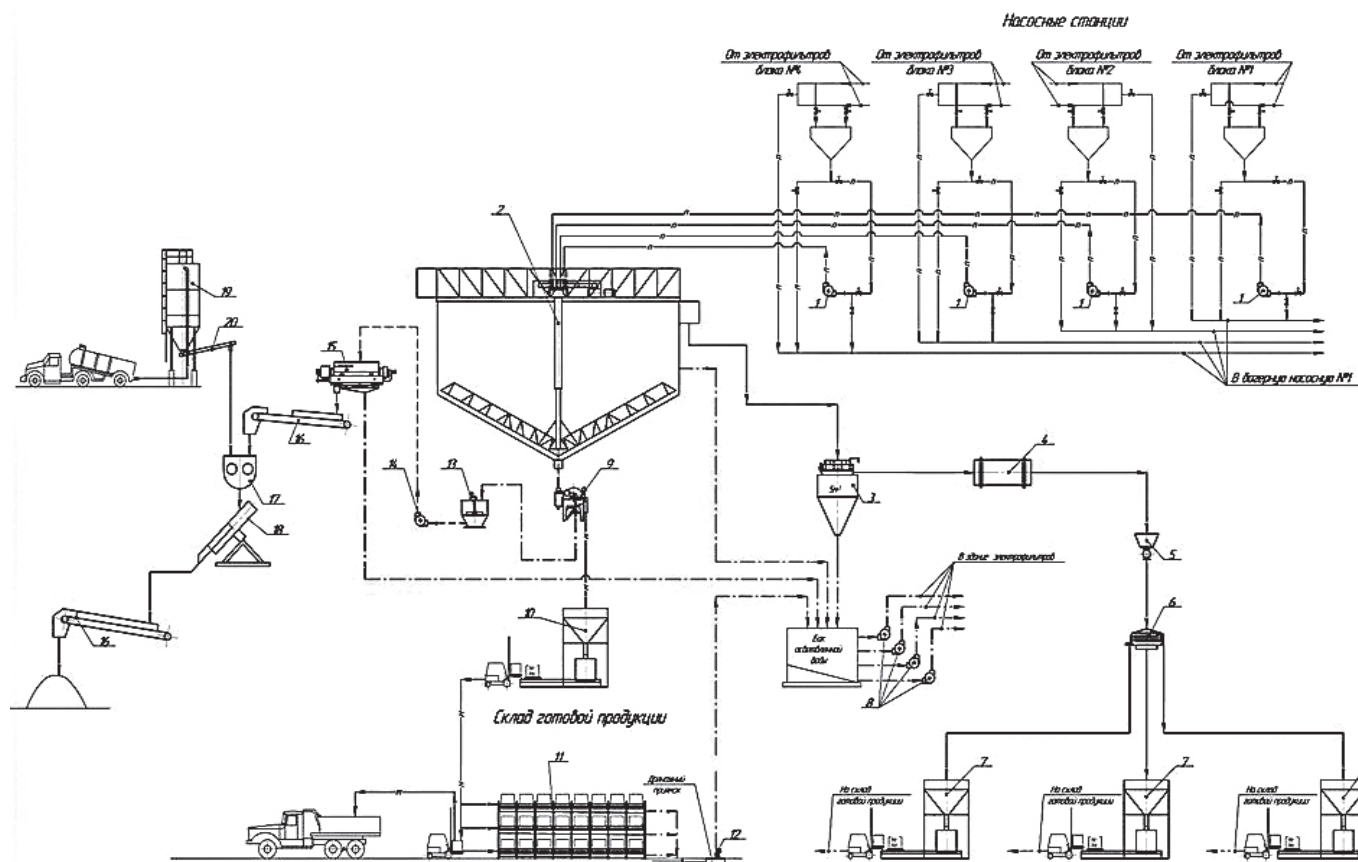


Рис. 6. Схема комплексной переработки водной суспензии золы уноса «Зуевской» ТЭС:

- 1 – насос; 2 – сгуститель; 3 – зумпф микросферы с пеноъемником; 4 – сушильный барабан;
- 5 – бункер-питатель; 6 – виброгрохот; 7 – фасовочная машина; 8 – насос; 9 – сепаратор;
- 10 – фасовочная машина; 11 – стеллаж обезвоживающий; 12 – насос (дренажный);
- 13 – зумпф с мешалкой; 14 – насос; 15 – центрифуга Декантер; 16 – конвейер ленточный;
- 17 – смеситель; 18 – гранулятор; 19 – склад цемента 32т; 20 – шнековый питатель

Список литературы

1. Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей природной среды Российской Федерации в 2021 году». – Текст: электронный // Министерство охраны окружающей среды и природных ресурсов Российской Федерации : М. – URL: <https://2021.ecology-gosdoklad.ru/doklad/o-doklade/> (дата обращения 21.11.2023).
2. Обзор состояния и загрязнения окружающей среды в Российской Федерации за 2022 г. – Текст: электронный // Росгидромет. – URL: <https://www.meteorf.gov.ru/press/news/34407/> (дата обращения 21.11.2023).
3. Проблемы и перспективы утилизации золошлаковых отходов ТЭЦ. Ч. 1 / Г. С. Подгородецкий [и др.]. – Текст: непосредственный // Черная металлургия (известия вузов). 2018. Т. 61, № 6. С. 439-446.
4. Таскин, А. В. Химико-технологические решения комплексной переработки золошлаковых отходов промышленности [Текст]: диссертация на соискание степени кандидата наук: специальность 03.02.08 – Экология (химия) (химические науки) - / Таскин Андрей Васильев; Дальневосточный федеральный университет – Владивосток, 2018. – 208 с.
5. Экологическая геология Украины: справочное пособие / Шнюков Е. Ф., Шестопалов В. М., Яковлев Е. А. и др. – Киев: «Наукова думка», 1993. – 407 с. – Текст: непосредственный.
6. Методические указания по оценке степени опасности загрязнения почв химическими веществами – Текст: электронный // Главный государственный санитарный врач СССР – Москва: Минздрав СССР, 1987. – URL: <https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=1&documentId=78618> (дата обращения 21.11.2023).
7. Кизильштейн, Л. Я. Компоненты зол и шлаков ТЭС / Кизильштейн Л. Я., Дубов И. В., Шпицелуз А. Л., Парада С. Г. – Москва: Энергоатомиздат, 1995. – 176 с. – Текст: непосредственный.
8. Целыковский, Ю. К. Опыт промышленного использования золошлаковых отходов ТЭС / Целыковский Ю. К. – Текст: непосредственный // Новое в российской энергетике. Энергоиздат. – 2000. – № 2. – С. 22-31.
9. ZOLA NEW TECHNOLOGY UG: Золошлаковые отходы. Экономическая выгода переработки – Текст: электронный.: сайт - Marine Stasse 44, 59077 Hamt - 19. Мая 2021 – URL: <https://zola-nt.de/ru/zoloshlakovyeyethody-ekonomicheskaya-vyugoda-pererabotki/> (дата обращения 4.11.2023).
10. f Россия. Новости: Завод по переработке золошлаковых отходов СУЭК и Opera Minerals увеличил годовую производительность на 40% – Текст: электронный.: сайт – Сибирь. 23 марта 2012 г – URL: <https://www.interfax-russia.ru/siberia/news/zavod-po-pererabotke-zoloshlakovyih-othodov-suek-i-omega-minerals-velichil-godovuyu-proizvoditelnost-na-40> (дата обращения 4.11.2023).
11. ST EQUIPMENT & TECHNOLOGY: Возможности ST комплекс технологий на летучей золе – Текст: электронный.: сайт – Hampton-авеню, США - URL: <https://steqtech.com/possibilities-of-st-complex-technologies-on-fly-ash/?lang=ru> (дата обращения 4.11.2023).
12. Умбетова, Ш. М. Техногенные отходы предприятий энергетики и пути их вторичной переработки / Ш. М. Умбетова. – Текст: непосредственный // Вестник КазНТУ. – 2019 – № 2 – С. 2-8.
13. Тас-оол, Л. Х. Алюмосиликатные микросферы зольных уносов теплоэлектростанции г. Кызыла / Л. Х. Тас-оол, Н. Н. Янчат, Ж. Э. Чоксум. – Текст: непосредственный // Кызыл: Вестник Тувинского государственного университета – 2012. – № 3 – С. 33-37.
14. DariuszBradło USZLACHETNIONE MIKROSFERY GLINOKRZEMIANOWE JAKO NAPEŁNIACZ KOMPOZYTÓW POLIMEROWYCH [Текст]: диссертация / DariuszBradło. Краковская политехника. – Краков, 2016.
15. Салихов, В. А. Перспективы извлечения ценных цветных и редких металлов из золошлаковых отвалов энергетических предприятий Кемеровской области / В. А. Салихов. – Текст: непосредственный // Вестник Томского государственного университета. 2009 – С. 163-168.
16. Зубков, А. А. Переработка золошлаковых отвалов / Зубков А. А. – Текст: непосредственный // – Москва: Русатом. Инфраструктурные решения. – 2020 – С. 1-10.
17. Самойлова, Е. Э. Выбор оптимальных направлений использования золошлаковых отходов / Самойлова Е. Э., Гатина Е. Д., Самойлова О. В. – Текст: непосредственный // Научно-практический журнал «Строитель Донбасса» № 4 (21) – Макеевка, 2022 – С.4-8.
18. A review of the alumina recovery from coal fly ash, with a focus on China / Zhitong Yao, M.S. Xia, Prabir Kumar Sarker, t. Chen//ResearchGate = March 2014 Fuel 120:74-85