

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Кузбасский государственный технический университет
имени Т. Ф. Горбачева»

Институт химических и нефтегазовых технологий
Кафедра технологии пластмасс, органических веществ и нефтехимии

Составитель
Ольга Викторовна Касьянова

УТИЛИЗАЦИЯ ОТХОДОВ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ КУЗБАССА

Методические материалы к лабораторным работам

Рекомендовано учебно-методической комиссией
направления подготовки (специальности)
20.03.01 «Техносферная безопасность», образовательная программа
«Инженерная защита окружающей среды»
в качестве электронного издания
для использования в образовательном процессе

Кемерово 2024

Рецензент: Теряева Т. Н. – доктор техн. наук, профессор кафедры технологии пластмасс, органических веществ и нефтехимии ФГБОУ ВО «Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева»

Касьянова, О. В. Утилизация отходов промышленных предприятий Кузбасса: методические материалы к лабораторным работам для обучающихся направления подготовки (специальности) 20.03.01 «Техносферная безопасность», образовательная программа «Инженерная защита окружающей среды» / сост. О. В. Касьянова; Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева. – Кемерово, 2024. – Текст: электронный.

В методических материалах приведены теоретические материалы, необходимые для выполнения лабораторных работ, методики для исследования физико-химических свойств отходов, описаны приборы и оснастка для проведения экспериментов, перечислены требования к отчету, оценочные средства для текущего контроля успеваемости, список основной и дополнительной литературы.

Методические материалы направлены на закрепление у обучающихся теоретических знаний в области утилизации отходов, образующихся в Кузбассе, на выработку практических навыков выполнения эксперимента по изучению физико-химических свойств отходов, а также формирования навыка разработки принципиально-структурных схем их утилизации.

© Кузбасский государственный
технический университет
имени Т. Ф. Горбачева, 2024

© Касьянова О. В., составление,
2024

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	4
Лабораторная работа № 1. Определение основных физико-химических свойств промышленных отходов	5
Лабораторная работа № 2. Разработка технологии утилизации отхода.....	28
Список литературы.....	54
Приложения.....	57

ВВЕДЕНИЕ

Целью освоения дисциплины «Утилизация отходов промышленных предприятий Кузбасса» является формирование знаний об образующихся крупнотоннажных отходах на территории области, их свойствах, применяемых технологиях утилизации.

В результате выполнения лабораторных работ студент должен получить практические навыки: по определению основных физико-химических свойств крупнотоннажных отходов; работы на лабораторном оборудовании; приобрести определенные навыки ведения исследовательской работы; работы с экологической информацией и документацией.

Общие требования

Прежде чем приступить к выполнению лабораторных работ, необходимо пройти инструктаж по технике безопасности, ознакомиться с порядком проведения конкретной лабораторной работы и рабочим местом, получить необходимые материалы и лабораторный инвентарь у учебного мастера или инженера. Лабораторная работа выполняется группой студентов, состоящей из 3–4 человек.

По окончании лабораторной работы необходимо убрать свое рабочее место, сдать лабораторный инвентарь и приступить к обработке и оформлению результатов работы. Отчет должен быть представлен преподавателю для проверки каждым студентом на листах формата А4.

Студент полностью завершил лабораторный практикум, если выполнил лабораторные работы, предусмотренные рабочей программой, представил все отчеты, объяснил полученные результаты и ответил на контрольные вопросы.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСНОВНЫХ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОТХОДОВ

Цель работы – исследование основных физико-химических свойств золошлаковых отходов, оценка пригодности их использования для получения востребованных материалов в различных сферах народного хозяйства.

1.1. Теоретический материал

1.1. Основные понятия и определения

Уголь – один из древнейших видов топлива, вплоть до середины XX века был основным источником энергии. И сейчас, несмотря на активное использование нефти, газа, урана, доля угля в мировом производстве электроэнергии составляет около 40 % (в Китае – 78 %, в США – 50 %, в России – 19 %). Однако уголь не сгорает бесследно. В процессе его сжигания образуется не только энергия, но и отходы.

Уголь состоит из органического и минерального вещества. Богатая углеродом органическая составляющая – носитель тех полезных свойств, благодаря которым уголь относится к полезным ископаемым. А вот минеральные компоненты только ухудшают качество угля как топлива. Сжигание углей происходит при температуре 1100–1700 °С. При сгорании органической части углей образуются летучие соединения в виде дыма и пара, а негорючая минеральная часть топлива выделяется в виде твердых очаговых остатков, образуя пылевидную массу (золу), а также кусковые шлаки. Количество твердых остатков для каменных и бурых углей колеблется от 15 до 40 %. Уголь перед сжиганием измельчается и в него, для лучшего сгорания, часто добавляют в небольшом (0,1–2 %) количестве мазут.

Ежегодно на объектах угольной энергетики России – тепловых электростанциях (ТЭЦ) – образуется до 18 млн т золошлаковых отходов (ЗШО). Общий объем накопленных

ЗШО занимает территорию более 220 км², составляет около 1,8–2,0 млрд т [1, 2].

Зола – продукт полного окисления и термических превращений минеральных компонентов угля. Зола – порошкообразный остаток топлива. Различают летучую золу (зола-уноса), диаметр частиц (d) $d \leq 0,25$ мм) – пылевидные фракции, выносимые дымовыми газами из топки котла или осаждающиеся в его конвективных газоходах, и провал – более крупные фракции золы ($d \geq 0,314$ мм), выпадающие в холодную воронку (рис. 1.1) [3].

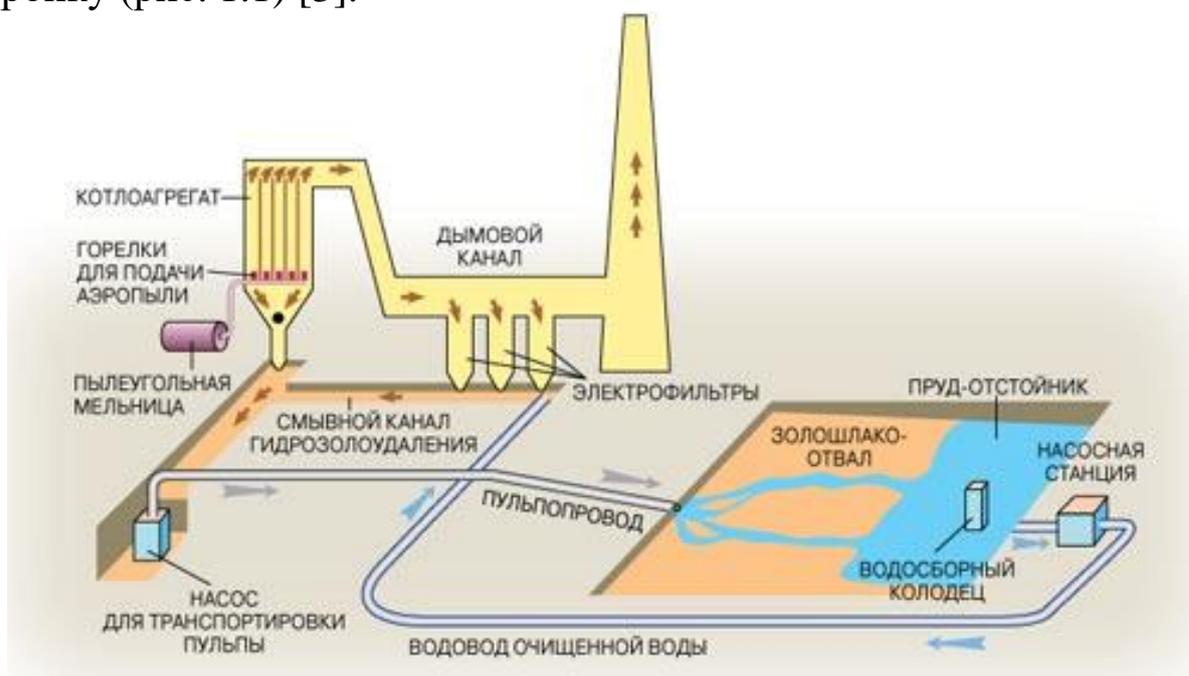


Рис. 1.1. Схема общего вида ТЭЦ

В зависимости от вида топлива зола подразделяется на антрацитную, каменноугольную, бурогоугольную, сланцевую, торфяную и др. Содержание золы в каменных и бурых углях находится в пределах примерно от 1 до 45 % и более, в горючих сланцах – от 50 до 80 %, в топливном торфе – от 2 до 30 %, в дровах – от 0,5 % до 2 %, в растительном топливе – от 3 до 5 %, в мазуте – 0,15 %.

Шлак – минеральная масса, подвергшаяся высокотемпературному нагреву, в результате которого она приобрела значительную прочность за счёт сплавления или спекания. Шлак является грубодисперсным материалом с размером частиц от 0,315 до 40 мм, образующийся из минеральной части твердого топлива,

агрегирующийся в нижней части топочного пространства тепловых агрегатов и удаляемый в жидком, кусковом или частично порошкообразном состоянии. В шлак, как правило, переходят более легкоплавкие компоненты минеральной части топлива, а летучая зола соответственно обедняется ими.

Золошлаковая смесь (ЗШС) – полидисперсная смесь из золы-уноса и шлака топливного, образующаяся при их совместном удалении на тепловых электростанциях. ЗШС удаляется на золоотвал по трубопроводам (см. рис. 1.1). В составе ЗШС кроме золы и шлака постоянно присутствуют частицы несгоревшего топлива (недожог), количество которого составляет 10–25 %.

Алюмосиликатные полые микросферы (АСПМ) – стеклокристаллические алюмосиликатные полые шарики диаметром от 10 до нескольких сотен микрометров, в среднем около 100 мкм, которые образуются при высокотемпературном факельном сжигании угля. Являются самыми ценными компонентами зольных отходов ТЭЦ. Стенки сплошные непористые с толщиной от 2 до 10 мкм, температура плавления 1400–1500 °С, плотность 580–690 кг/м³. Внутренняя полость частиц заполнена в основном азотом и диоксидом углерода.

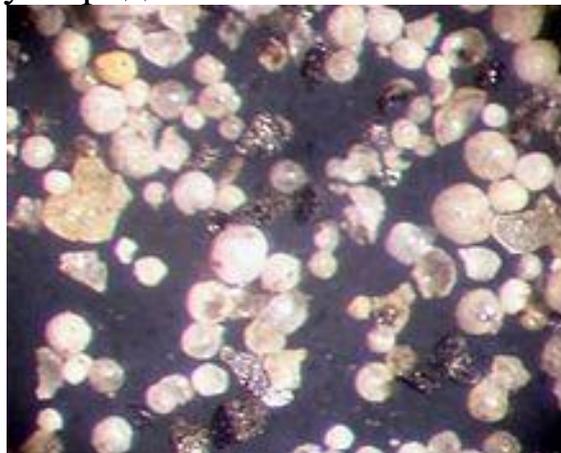


Рис. 1.2. Общий вид алюмосиликатных микросфер [4].

Образование микросфер происходит следующим образом. При высоких температурах силикатный минеральный материал углей плавится и в газовом потоке продуктов сгорания дробится на мельчайшие капли. Газовые включения в минеральных частицах при нагреве расширяются и раздувают отдельные капли расплава. Те капли, в которых внутреннее давление газа уравнове-

шивается силами поверхностного натяжения, образуют полые шарики. В остальных происходит разрыв капель (внутреннее давление больше сил поверхностного натяжения) либо они остаются просто силикатными шариками, сплошными или пористыми (поверхностное натяжение больше внутреннего давления). Ценность АСПМ определяется тем, что они – идеальные наполнители. Например, для придания многим изделиям из пластмасс и керамики необходимы такие свойства, как снижение плотности (массы) изделий, повышения тепло-, электро- и звукоизоляционных характеристик, в их состав вводятся изготавливаемые промышленными способами стеклянные микросферы. Замена стеклянных микросфер на АСПМ из золы угольных теплоэлектростанций позволит снизить стоимость готовых изделий, так как стоимость микросфер из золы угольных теплоэлектростанций в десять и более раз ниже, чем микросфер, получаемых промышленными методами. В работе [5] приведен химический состав и содержание элементов в зольных микросферах Беловской ГРЭС.

Повышение температуры сжигания топлива сверх допустимого предела приводит к падению активности большинства топливных зол.

1.1.2. Основные физико-химические характеристики золы

Химический состав зол сильно колеблется в зависимости от вида топлива. В золе может быть: 15–60 % – SiO_2 ; 5–45 % – Al_2O_3 ; 5–40 % – Fe_2O_3 ; 3–50 % – CaO .

По химическому составу золы подразделяются на:

- основные (буроугольные, содержащие оксид кальция более 10 %);
- кислые (антрацитовые, каменноугольные и буроугольные, содержащие оксид кальция до 10 %);
- нейтральные.

Основные золы содержат гидравлически активные компоненты и являются самостоятельным вяжущим.

Кислые золы обладают свойствами типичных пуццоланов (способностью связывать при обычных температурах гидроксид кальция, образуя нерастворимые соединения) и могут

применяться как активные минеральные добавки. Топливные золы, как правило, не способны непосредственно взаимодействовать с водой. Это характерно лишь для зол, содержащих свободные оксиды кальция и магния. Аморфные компоненты зол обладают пуццолановой активностью. При их накоплении появляется возможность гидравлического твердения вяжущих из смесей извести или портландцемента с золой.

Зола углей и нефтей содержит практически все металлы, которые можно извлекать. Концентрация Sr, Zn, V, Ge достигает 10 кг на 1 т золы. Содержание урана в золе бурых углей некоторых месторождений может достигать 1 кг/т. Зола торфа содержит значительные количества V, Co, Cu, Ni, Zn, U, Pb. В золе нефтей (мазутов) содержание V_2O_5 в некоторых случаях достигает 65 %, кроме того, в ней в значительных количествах присутствуют Mo и Ni. В связи с этим извлечение металлов является ещё одним направлением переработки таких отходов. Из золы некоторых углей извлекают в настоящее время редкие и рассеянные элементы (например, Ge и Ga), из золы мазутов – ванадий, никель и другие металлы.

В угольных золах больше содержится SiO_2 ; в сланцевых и торфяных возрастает содержание CaO. Угольные и сланцевые золы в большинстве своем являются кислыми, золы горючих сланцев – основными. Кроме того, в состав этих отходов входят остатки несгоревших частиц топлива (0,5–20 %), соединения титана, ванадия, германия, галлия, серы, урана. Химический состав и свойства золошлаковых отходов определяют основные направления их использования.

Золошлаки кузнецких углей (КУ) содержат ценные компоненты, такие как Al, Fe, редкие металлы, которые являются сырьем для других отраслей. Однако при традиционных методах сжигания этих углей не удастся в широких масштабах использовать золошлаки КУ, так как за счет образования муллита (муллит – минерал из класса силикатов, химический состав непостоянен: от $Al_6Si_2O_{13}$ до Al_4SiO_8 (то есть от $3Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$ до $2Al_2O_3 \cdot SiO_2$) он имеет высокую абразивность и химически инертен ко многим реагентам. Попытки использовать золошлаки такого минералогического состава в производстве строительных материалов приводят к интенсивному износу технологического

оборудования и снижению производительности в связи с замедлением физико-химических процессов взаимодействия компонентов золы с реагентами. Избежать образования муллита возможно при изменении температурных условий их сжигания. Так, использование кипящего слоя для сжигания угля при 800–900 °С позволяет получать золу менее абразивную. В табл. 1.1 приведён химический состав золы.

Таблица 1.1

Химический состав золы [3].

Концентрат углей Ж*+КС (Беловская обогатительная фабрика)										
SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	SO ₃	P ₂ O ₅	Mn ₃ O ₄
56,03	21,89	5,60	0,84	5,20	1,97	2,364	1,671	3,666	0,716	0,045
Концентрат угольной марки К (для экспорта, Якутуголь)										
44,9	30,6	6,59	1,483	7,0	2,62	0,46	0,46	2,62	0,467	0,311
Назаровский уголь (Канско-Ачинский бассейн)										
33,9	9,94	10,03	0,56	32,76	3,54	0,68	0,46	3,00	–	–

*аббревиатура марок угля: Ж – жирный; К – коксовый; С – спекающиеся

Золы уноса ТЭЦ для бетонов согласно ГОСТ 25818 в зависимости от качественных показателей подразделяют на 4 вида:

I – для железобетонных конструкций и изделий из тяжелого и легкого бетонов;

II – для бетонных конструкций и изделий из тяжелого и легкого бетонов, строительных растворов;

III – для изделий и конструкций из ячеистого бетона;

IV – для бетонных и железобетонных изделий и конструкций, работающих в особо тяжелых условиях (гидротехнические сооружения, дороги, аэродромы и др.).

Плотность золы составляет 1,75–2,4 г/см³, однако плотность отдельных фракций может значительно отличаться от средних значений. Насыпная плотность золы колеблется от 600 до 1300 кг/м³. Плотность зависит от вида топлива и температуры сжигания, обычно увеличиваясь с повышением последней.

Абразивность частиц. Частицы, имеющие острые грани, при прочих равных условиях, разрушают металл более чем в 10 раз быстрее, чем частицы округлой формы. По мере увеличения

размеров частиц золы износ металла вначале возрастает и затем, достигнув максимума, снижается. Максимальный износ металла вызывают частицы золы с размерами $90+2$ мкм [6].

Дисперсный состав золы зависит как от природы топлива, так и от технологических процессов пылеприготовления и пылесжигания. Топлива, содержащие примеси трудно размалываемой породы, образуют в результате размола и сжигания более крупнодисперсную летучую золу, чем топлива, месторождениям которых сопутствуют глинистые породы. Малозольные топлива, как правило, имеют более мелкодисперсную золу, чем многозольные. Дисперсный состав летучей золы зависит от степени измельчения топлива в мельничных устройствах, являясь более мелким при размоле топлива в шаровых барабанных мельницах. Наконец, дисперсный состав золы сильно зависит от степени осаждения минеральной части топлива в шлак. При увеличении выхода жидкого шлака повышается дисперсность золы как за счет осаждения более крупных частиц в шлак, так и в результате возгона в топочной камере при высоких температурах некоторых соединений минеральной части топлива с последующей конденсацией их при охлаждении дымовых газов. Наличие высокодисперсных частиц в продуктах сгорания является причиной, обуславливающей в некоторых случаях трудности очистки дымовых газов. Дисперсный состав летучей золы основных энергетических топлив представлен в Приложении I, табл. I.I. [2]. На рис. 1.3. представлены кривые распределения частиц золы-уноса, полученной на предприятиях угольной генерации Кузбасса.

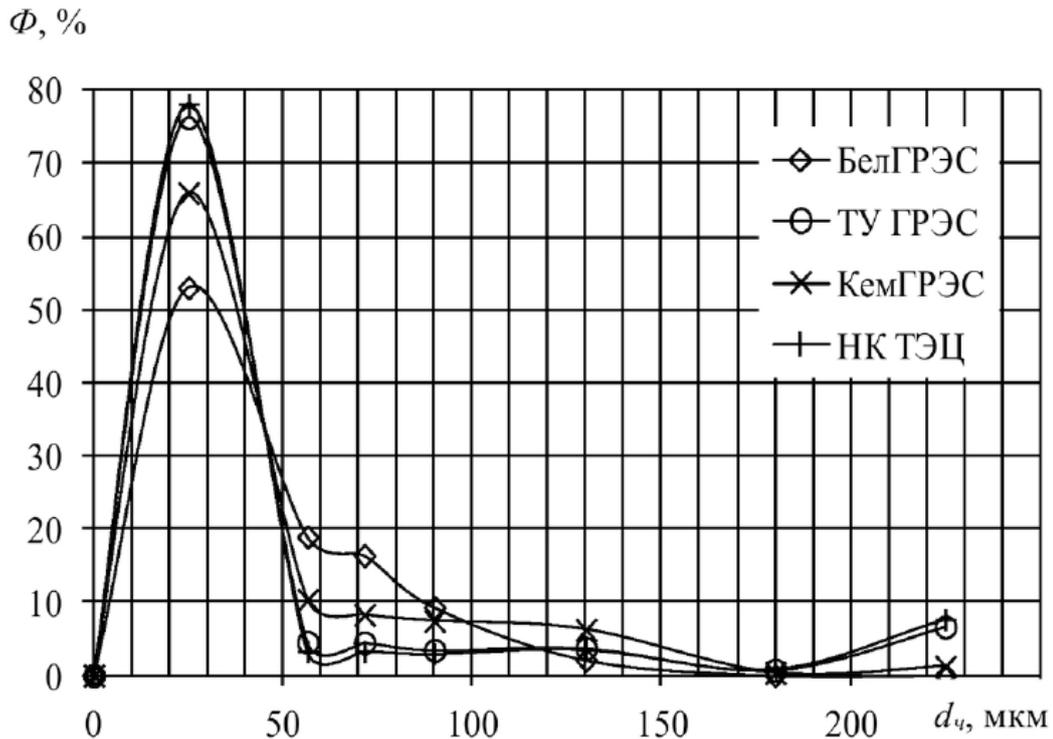


Рис. 1.3. Распределение частиц золы по фракциям в зависимости от среднего размера: Кемеровской ГРЭС (КемГРЭС); Беловской ГРЭС (БелГРЭС); Томь-усинской ГРЭС (ТУ ГРЭС); Ново-Кемеровской ТЭЦ (НК ТЭЦ) [7]

Обозначение марки золы уноса

Обозначение марки золы включает аббревиатуры:

- название продукта – зола уноса (ЗУ);
- вида топлива и название месторождения – каменный уголь Экибастузский (КЭУ);
- номер поля с электрофильтра, с которого взята зола:
 - П1 – зола с первого поля электрофильтров,
 - П2 – зола со второго поля электрофильтров,
 - П3 – зола с третьего поля электрофильтров,
 - П4 – зола с четвертого поля электрофильтров,
 - П1-2 – смесь золы с первого и второго поля электрофильтров,
 - П3-4 – смесь золы с третьего и четвертого поля электрофильтров,
 - П1-4 – смесь золы с первого, второго, третьего и четвертого поля электрофильтров.

Пример условного обозначения марки золы уноса из каменного угля Экибастузского бассейна, взятой со второго поля электрофильтров:

ЗУ КУЭ П2, ТУ 5712-001-76851389-2009.

Качественные показатели золы-уноса по ГОСТ 25818–91 представлены в Приложении I табл. I.П и в табл. 1.2.

Таблица 1.2

Показатели золы в зависимости от марки

Наименование показателя	Значение показателя для золы взятой с различных полей электрофильтров						
	П1 (Поле №1)	П2 (Поле №2)	П3 (Поле №3)	П4 (Поле №4)	П1-2 (Поле №1 и 2)	П3-4 (Поле №3 и 4)	П1-4 (Поле №1,2,3,4)
1. Насыпная плотность в сухом виде, кг/м ³	700-800	750-850	800-900	900-1000	750-850	700-800	750-900
2. Остаток на сите №016, % по массе, не более	50	20	10	5	40	10	35
3. Остаток на сите №008, % по массе, не более	90	70	30	15	85	30	80
4. Удельная поверхность, м ² /кг, не менее	75	150	300	350	75	300	125
5. Потери массы при прокаливании, % по массе, не более	10	7	5	5	10	5	10
6. Содержание оксида кальция (СаО), % по массе, не более	10	10	10	10	10	10	10
7. Содержание оксида магния (MgO), % по массе, не более	5	5	5	5	5	5	5
8. Содержание сернистых и сернокислых соединений в пересчете на SO ₃ , % по массе, не более	5	5	3	3	5	3	5
9. Содержание щелочных оксидов натрия и калия в пересчете на Na ₂ O, % по массе, не более	3	3	3	3	3	3	5

1.1.3. Влияния золошлакоотвалов на окружающую среду

Согласно Федеральному классификационному каталогу отходов, золошлаковые отходы (ЗШО) относятся к V классу опасности. Между тем, из-за пыления золоотвалов загрязняется окружающая среда прилегающих районов, что отрицательно влияет на здоровье людей, а также на продуктивность сельскохозяйственных угодий рис. 1.4.

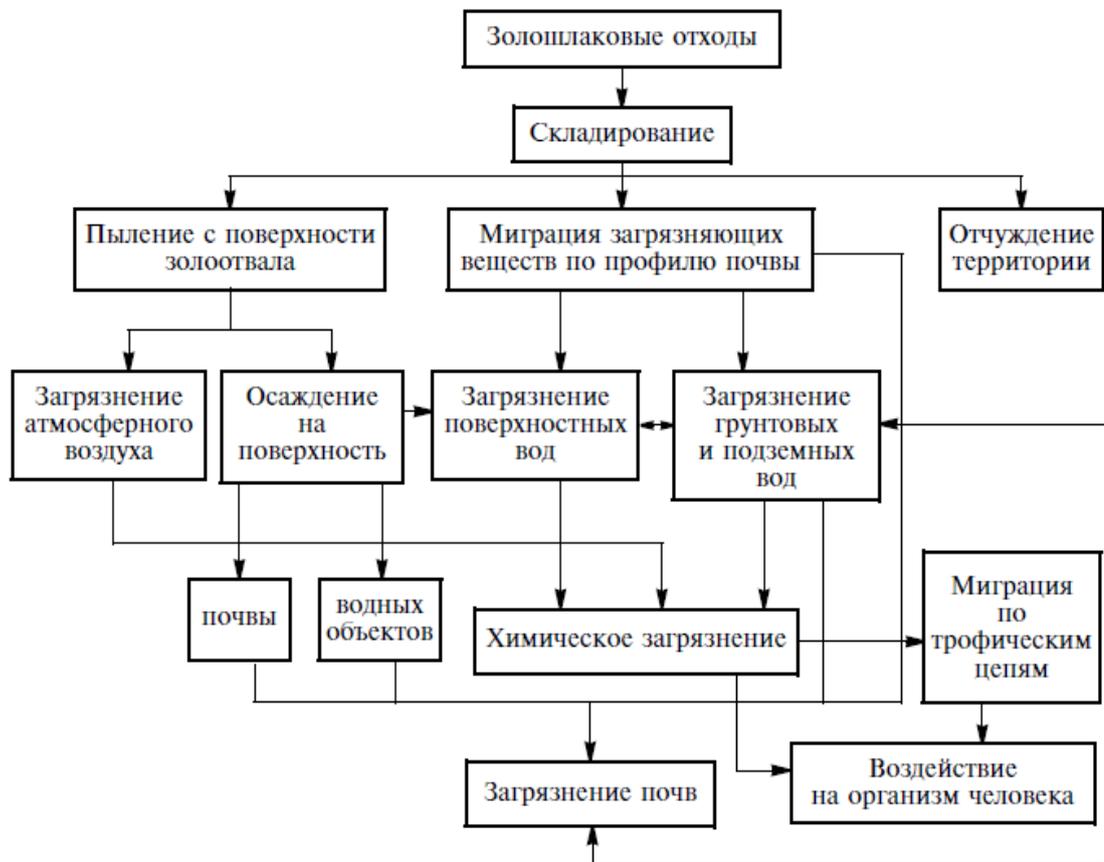


Рис. 1.4. Воздействие ЗШО на окружающую среду [8].



Рис. 1.5. Общий вид золошлакоотвала

Негативное влияние золы, сдуваемой с поверхности золошлакоотвала, проявляется при определенных ее концентрациях в атмосферном воздухе и в почве, а этот фактор зависит от ряда условий, таких, как:

- площадь и высота над уровнем земли отработанного золошлакоотвала;
- конфигурация золошлакоотвала в направлении господствующих ветров;
- скорость ветра и количество ветреных дней в сухой теплый период года;
- фракционный состав и влажность золошлаков.

Исследования и расчеты рассеивания золы, поступающей в атмосферу с поверхности ЗШО, показывают, что при сильном ветре концентрация золы, превышающая предельно допустимую, может наблюдаться на расстоянии до 4 км от кромки отвала. Для исключения негативного влияния отработанных карт ЗШО на окружающую природную среду проводится их рекультивация (консервация).

Чтобы обеспечить максимальное ослабление неблагоприятного воздействия фильтрационной воды на грунтовый поток, необходимо правильно выбрать место расположения золоотвала. Предпочтение отдается площадкам, состоящим из высокодисперсных грунтов с низкой водопроницаемостью и максимальным удалением их от водоемов и водотоков.

Для контроля за эксплуатацией золоотвалов и уровнем фактических загрязнений подземных вод во всех проектах вновь сооружаемых и наращиваемых золоотвалов необходимо предусматривать комплекс наблюдательных скважин, которые размещают в створах, идущих от наиболее вероятных источников загрязнения (золоотвалов, бассейнов осветленной воды) до открытых водоисточников или водозаборов. Наблюдательные скважины оборудуются пьезометрами для контроля уровня грунтовых вод, с их помощью проводится отбор проб для химического анализа на загрязняющие и регламентируемые компоненты.

Регулярный контроль скважин позволяет следить за изменением химического состава грунтовых вод и продвижением фронта загрязнения, а также оценивать эффективность работы противофильтрационных и дренажных устройств золоотвала.

Для уменьшения утечки фильтрационной воды из золоотвалов применяют экранированные ложа отвалов. В качестве экрана можно использовать полиэтиленовую пленку. При содержании свободного оксида кальция в золе свыше 2 г-экв/кг осветленная зола в системе гидрозолоудаления (ГЗУ) будет перенасыщена $\text{Ca}(\text{OH})_2$, и для снижения гидратной щелочности часть осветленной воды сбрасывается в виде продувки.

В сбрасываемых в водоемы водах ГЗУ (в том числе и продувочных) должны отсутствовать грубодисперсные вещества со скоростью оседания 0,25–0,75 м/с. Концентрация токсичных веществ в водоемах после сброса в них вод ГЗУ не должна превышать ПДК. Проведенные российскими специалистами исследования о воздействии на окружающую среду золы с повышенным содержанием оксида кальция показали, что в зонах интенсивного осаждения золы длительное ее воздействие изменило реакцию почвенных растворов со слабокислой на слабощелочную, способствовало накоплению в почве повышенного содержания кальция, железа и магния, уменьшило содержание органического углерода, то есть произошло существенное изменение свойств почвы, что не могло не сказаться на растительном мире.

На таких почвах деревья интенсивнее поглощают магний, железо и медь и испытывают недостаток в марганце и бarii, что ведет к нарушению обменных процессов. У молодых сосен это выражается в гигантизме стволов и карликовости побегов и хвои и в конечном результате – в отмирании побегов. У березы и осины наблюдаются явления преждевременного старения, замедленного прироста и усыхания верхушек взрослых деревьев. Одной из наиболее серьезных и сложных проблем является защита подземных и поверхностных вод от загрязнения токсичными химическими элементами.

1.1.4. Транспортирование и хранение золы

Золы транспортируют в специализированных вагонах-цементовозах, хопперах, судах, а также в автоцементовозах в соответствии с правилами перевозки грузов соответствующими видами транспорта. При транспортировке зол в вагонах-цементовозах и хопперах должны соблюдаться требования ГОСТ 22235.

Золы хранят в силосах или других крытых емкостях.



Рис. 1.6. Вывоз золы автотранспортом



Рис. 1.7. Хранение и транспортирование золы в биг-бэгах

1.2. Экспериментальная часть

Ход работы:

- ознакомиться с теоретическим материалом;
- получить у преподавателя допуск к работе (рассказать методики определения физико-химических свойств), а также объекты исследования;

В качестве исследуемых материалов используются отходы предприятий теплоэнергетики – золы-уноса, золошлаковые смеси, микросферы.

Оборудование, оснастка, приборы:

бюксы ($d = 40$, $h = 25$ мм; $d = 50$, $h = 70$ мм), аналитические и технические весы, пикнометры на 25, 50 и 100 мл, воронка для определения сыпучести, индикаторная бумага, водяная баня, часовое стекло, стакан из кварцевого стекла, полый цилиндр диаметром 100 мм и высотой 30 мм, коническая колба емкостью 250 см³, ротап (анализатор ситовой предназначен для отсева проб и определения гранулометрического состава сыпучих материалов) и набор сит с размером ячеек сетки 315; 200; 140; 100; 50 мкм, термощкаф на 200 °С, эксикатор с хлористым кальцием, мерный стакан или цилиндр емкостью 200 мл.

1.2.1. Органолептический анализ промышленных отходов

Для идентификации отходов используются различные методы: простые, основанные на физико-химических и физико-механических свойствах отходов, химические и инструментальные.

Инструментальные методы позволяют значительно сократить время анализа и снизить предел обнаружения ряда анализируемых компонентов. Однако по мере развития инструментальных методов анализа всё чаще приходится решать вопрос о стоимости анализа с учётом стоимости аппаратуры, её эксплуатации, квалификации специалистов, их подготовки и стоимости их труда при работе на сложных приборах и оборудовании. Поэтому одним из первых и необходимых этапов является предварительная

идентификация с использованием простых методов и химических тестов.

В первую очередь проводится органолептический анализ. Определяется цвет и однородность отхода, наличие примесей. Полученные результаты анализа внешнего вида отходов занести в табл. 1.3.

Таблица 1.3

Характеристика исследуемых отходов

Отход	Характеристика
Зола уноса	Мелкодисперсный порошок серого цвета и т.д.
Шлак	
Микросферы	

2.2. Определение стекловидных и оплавленных частиц в золе

Определение проводят на микроскопе. На предметное стекло тонким слоем наносят небольшое количество золы-уноса. Предметное стекло устанавливают на предметный столик, наводят окуляр и определяют частицу золы уноса (стекловидная, оплавленная, неоправленная часть или частица несгоревшего топлива), попавшую в крест нитей окуляра. После этого крест нитей окуляра микроскопа перемещают на несколько делений и вновь отмечают, на какую частицу он попал. Подсчитывают весь препарат по одной строчке, после чего крест нитей переводят на другую строчку. В одной пробе подсчитывают около 100 точек. Просчитывают 4-5 проб. Затем суммируют количество замеров, попавших на стекловидные, оплавленные, неоправленные частицы или частицы несгоревшего топлива, и определяют их процент по отношению ко всему количеству подсчетов.

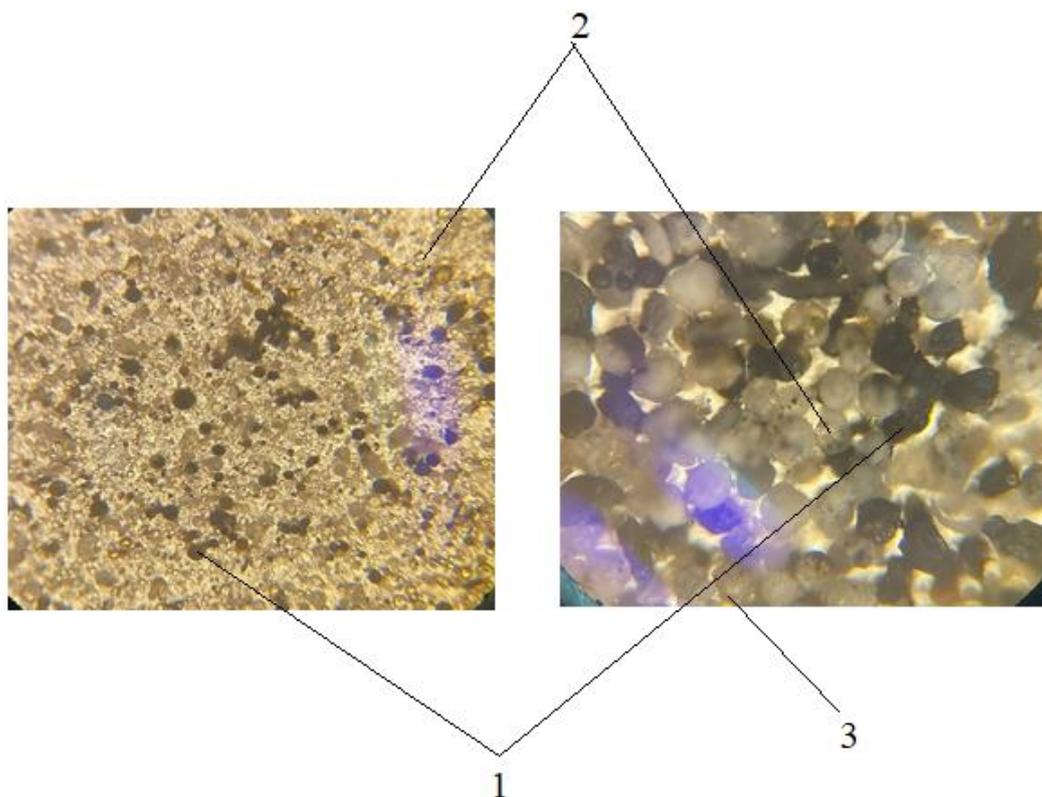


Рис. 1.8. Частицы золы под микроскопом: 1 – частицы несгоревшего топлива; 2 – стекловидные частицы; 3 – оплавленные частицы.

1.2.3. Определение содержания свободной окиси кальция в золе

Навеску золы 1 г помещают в сухую коническую колбу емкостью 250 см³, туда же помещают 15–20 стеклянных бус и приливают 40 см³ сахарного раствора (на 400 см³ дистиллированной воды 135 г сахара), колбу закрывают резиновой пробкой и взбалтывают в течение 10 мин. затем приливают 60 см³ раствора этилового спирта с массовой долей 96 % и взбалтывают 10 мин. Образовавшийся сахарат кальция титруют 0,1 н. раствором соляной кислоты в присутствии индикатора метилрот (метиловый красный, область перехода окраски при рН = 4,2–6,2) до перехода желтовато-зеленой окраски в розовато-оранжевую или розовую.

Содержание окиси кальция $CaO_{св}$ вычисляется по формуле

$$CaO_{CB} = \frac{V \cdot N \cdot 0,02804 \cdot 100}{m}, \% \quad (1.1)$$

где V – объем соляной кислоты, израсходованной на титрование, $см^3$; N – нормальность соляной кислоты; 0,02804 – масса окиси кальция, соответствующая 1 мл ($см^3$) точно 1 н. раствора соляной кислоты, г; m – масса пробы, г.

2.3. Определение гранулометрического состава отходов

Гранулометрический состав дисперсных отходов характеризуется размером их частиц и соотношением между количеством частиц различных размеров, выраженным в процентах.

Для проведения испытания предварительно очищенные и высушенные сита собирают в набор по возрастанию величины номинального размера ячейки сита. Взвешивают 100 г материала с точностью до 0,1 г и высыпают на верхнее сито, которое закрывают крышкой. Сита устанавливают на ротап, проводят рассев порошка в течение 30 мин. После рассеивания остаток порошка на каждом сите взвешивают с точностью до 0,1 г, вычисляют процентное содержание фракций порошка. Результаты испытания заносят в табл. 1.4.

Таблица 1.4

Данные для построения интегральной кривой
распределения частиц

№	Масса остатка порошка на сите, г	Процентное содержание фракции, % $Q = \frac{N}{\sum N} 100$	Нарастающее содержание частиц $Q_0+Q_1\dots Q_n$, %
1.			

По данным табл. 1.4 строят интегральную (суммарную) кривую распределения рис. 1.9. Начинают построение с самых мелких частиц (нулевой группы), откладывая их процентное содержание (Q_0) по оси ординат; для частиц следующей фракции (d_1) откладывают ординату, равную сумме процентного содержания частиц предыдущей фракции с диаметром d_1 : $Q = Q_0+Q_1$; далее

поступают аналогично, откладывая на оси ординат нарастающие суммарное содержание частиц от наименьшего до данного диаметра включительно. Таким образом, последняя ордината (соответствующая максимальному диаметру) составит 100 %.

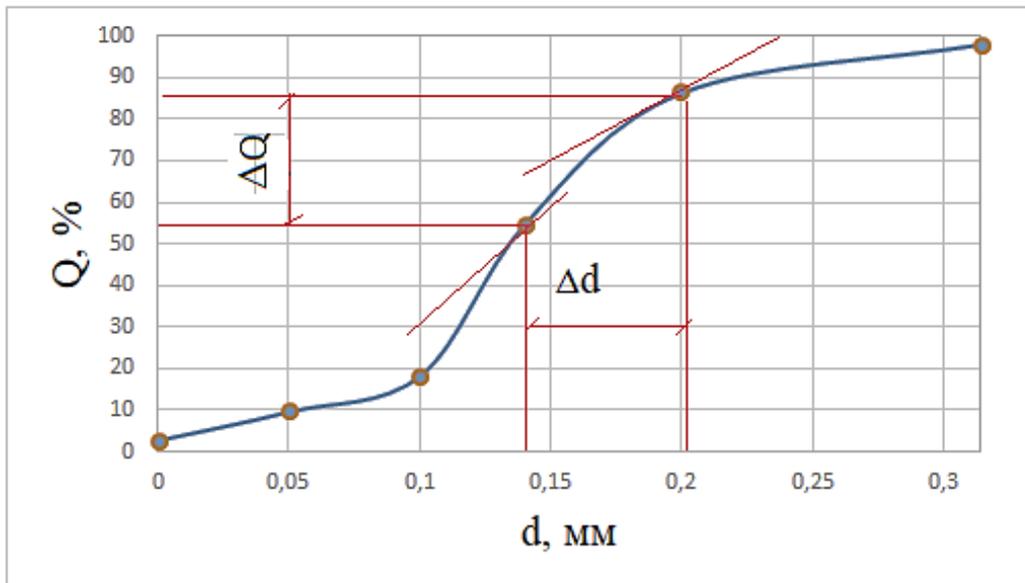


Рис. 1.9. Интегральная (суммарная) кривая распределения

Эквивалентный диаметр, соответствующий максимальному числу частиц определенного размера в данной системе, находят из дифференциальной кривой распределения, для построения которой обрабатывают интегральную кривую следующим образом: через равные интервалы диаметров, которые выбирают произвольно (например, $\Delta d = 50$ мкм), строят ординаты до пересечения с интегральной кривой и находят значения ΔQ – приращение процентного содержания частиц в выбранном интервале диаметром Δd (ΔQ равно разности двух соседних ординат). Полученные данные заносят в табл. 1.5.

Таблица 1.5

Данные для построения
дифференциальной кривой распределения

d , мкм	Δd , мкм	ΔQ	$\Delta Q / \Delta d$

Откладывая по оси абсцисс значения эквивалентных диаметров d , а по оси ординат функцию распределения $\Delta Q/\Delta d$, строят прямоугольники, беря за их основания равные интервалы диаметров Δd , а за высоту – $\Delta Q/\Delta d$. Соединив плавной кривой середины верхних оснований прямоугольников, получают дифференциальную кривую распределения, по которой можно определить d_{\max} – диаметр частиц, которых больше всего в данной дисперсной системе рис. 1.10.

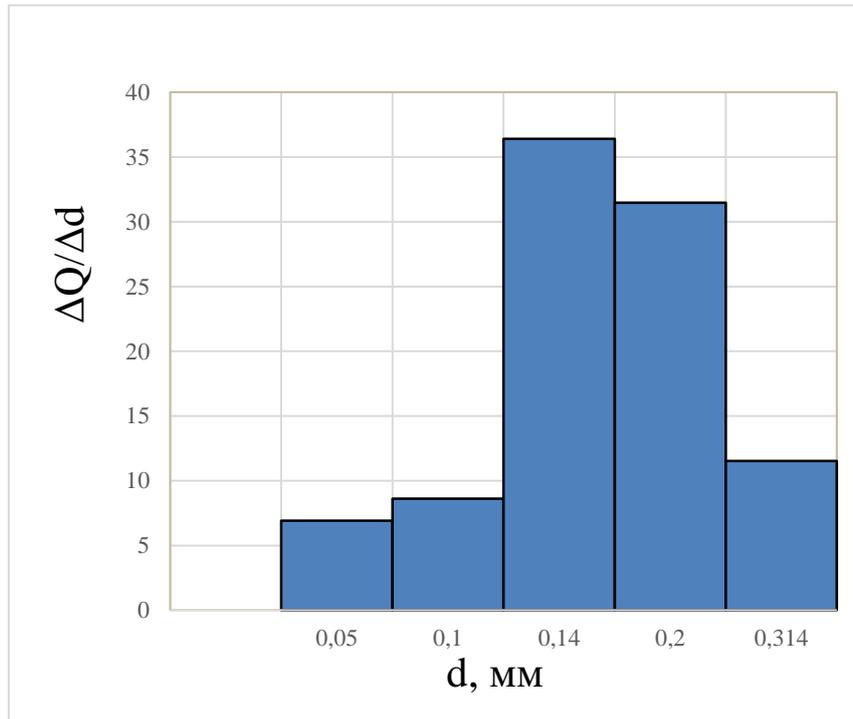


Рис. 1.10. Дифференциальная кривая распределения

Интегральные и дифференциальные кривые можно построить, используя программу EXCEL.

Площадь каждого прямоугольника представляет собой процентное содержание фракции с определенным интервалом размера частиц Δd .

1.2.4. Определение плотности

Плотность определяют пикнометрическим методом. Навеску 1–2 г исследуемого материала, взвешенную с точностью до 0,001 г, помещают в предварительно взвешенный пикнометр объемом 25,0 или 50,0 мл, заполненный до метки жидкостью, инерт-

ной по отношению к данному материалу. Так как уровень жидкости при этом повышается, избыток ее осторожно удаляют фильтровальной бумагой до метки, после чего пикнометр снова взвешивают. Плотность ρ рассчитывают по формуле

$$\rho_{\text{и}} = \frac{M_1 \cdot \rho_0}{M_0 + M_1 - M_2}, \text{ г/см}^3 \quad (1.2)$$

где M_1 – масса материала, г; M_0 – масса пикнометра с жидкостью, г; M_2 – масса пикнометра с навеской материала и жидкостью после удаления избытка жидкости, г; ρ_0 – плотность использованной жидкости, г/см^3 .

1.2.5. Определение содержания влаги и летучих веществ

В чистый, предварительно высушенный бюкс помещают материал слоем не более 5 мм, закрывают его крышкой и взвешивают с точностью до 0,001 г. Затем крышку снимают, бюкс ставят в сушильный шкаф, нагретый до $(105 \pm 2)^\circ\text{C}$, и выдерживают в нем в течение 30 мин. Охлаждение проводят в эксикаторе над хлористым кальцием при закрытой крышке бюкса. Охлажденный бюкс взвешивают.

Содержание влаги и летучих веществ W вычисляют по формуле

$$W = 100 \cdot \frac{m - m_1}{m_0}, \% \quad (1.3)$$

где m и m_1 – масса бюкса с навеской соответственно до сушки и после сушки, г; m_0 – масса материала, г.

Проводят три определения и по ним рассчитывают среднее значение влаги и летучих, а также доверительный интервал при степени риска 5 %.

1.2.6. Определение насыпной плотности

Насыпная плотность $\rho_{\text{н}}$ характеризует отношение массы зернистых и порошкообразных материалов к занимаемому объему, включая пустоты между частицами. Насыпную плотность материалов определяют, измеряя их массу в мерных

сосуда вместимостью 0,5 л или 1 литр. За объем материала принимают объем сосуда, то есть в измеряемый объем входят пустоты между частицами материала.

Мерный сосуд взвешивают и заполняют материалом с высоты h мм. Насыпную плотность рассчитывают по формуле

$$\rho_{\text{н}} = \frac{m_2 - m_1}{V}, \text{ г/см}^3 \quad (1.4)$$

где – m_1 , масса сосуда, г; m_2 – масса сосуда с материалом, г; V – мерного сосуда, см³

Насыпную плотность вычисляют как среднее арифметическое по данным трех определений, определяют доверительный интервал для полученных значений. Полученные результаты заносят в табл. 1.6.

Порошки с большей насыпной плотностью содержат меньшее количество воздуха, который снижает теплопроводность и ухудшает качество получаемых материалов.

1.2.7. Определение сыпучести отходов

Метод основан на измерении угла между горизонтальной плоскостью и образующей конуса, самопроизвольно создаваемого сыпучим материалом. Чем выше сыпучесть материала, тем меньше угол естественного откоса. Угол естественного откоса у порошкообразных материалов составляет от 30 до 50°. Для определения угла естественного откоса можно использовать приспособление, показанное на рис. 1.11. Оно состоит из основания 1 с нанесенными концентрическими кругами, стойки 2 со шкалой измерения высоты, подвижной планки 3, способной перемещаться в вертикальной и горизонтальной плоскостях.

Полый цилиндр 4 (диаметром 100 мм и высотой 300 мм) устанавливают на основание 1, совместив его с окружностью 100 мм, засыпают в него 2 л материала и строго вертикально поднимают цилиндр. Рассыпаясь, материал приобретает форму, близкую к конической. С помощью планки 3 на вертикальной

стойке фиксируют высоту конуса h . Диаметр основания конуса d определяют с помощью концентрических окружностей.

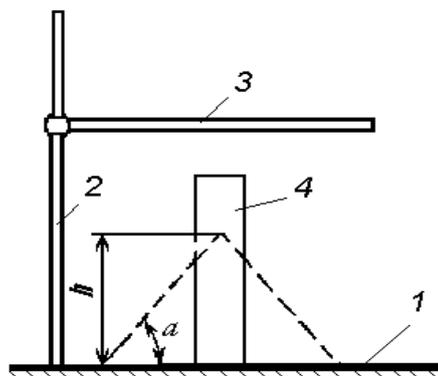


Рис. 1.11. Схема измерения высоты конуса, образованного сыпучим материалом (описание в тексте)

Значение угла естественного откоса α вычисляют по формуле

$$\alpha = \arctg \frac{h}{d/2}. \quad (1.5)$$

За окончательный результат принимают среднее арифметическое значение из результатов 5–6 измерений. Результаты измерений заносят в табл. 1.6.

1.2.8. Определение рН поверхности порошков

Химико-минералогический состав промышленных отходов является решающим при выборе возможных путей их использования. Причем, чем выше в отходе содержание основных оксидов, тем более активно он вступает во взаимодействия. Определение рН водной вытяжки отходов позволяет косвенно оценить активность и реакционную способность исследуемых веществ.

Навеску порошка около 10 г насыпают в стакан из кварцевого стекла и заливают 30 мл дистиллированной воды. Стакан ставят на водяную баню, закрывают часовым стеклом и нагревают при кипении воды в бане в течение 1 ч. Воду в стакане

охлаждают и по стандартному бумажному рН-метру устанавливают кислотность или щелочность водной вытяжки.

Полученные результаты заносят в табл. 1.6 и сравнивают с приведёнными в литературе данными (см. табл. 1.2) и представленными в Приложении 1.

Таблица 1.6

Основные свойства отхода

Показатели					
W, %	$\rho_{и}$, г/см ³	$\rho_{н}$, г/см ³	α , град	Размер частиц, мкм	рН

Требования к отчету

Отчет должен содержать:

1. Название и цель работы.
2. Перечень и назначение оборудования, оснастки, приборов.
3. Ход работы (экспериментальные и расчетные данные, графики).
4. Справочные характеристики.
5. Вывод.

Контрольные вопросы

1. Перечислите, что относится к ЗШО.
2. Какие необходимо знать свойства ЗШО для определения областей применения?
3. Какие компоненты содержатся в ЗШС кузнецких углей.
4. Объясните механизм образования АСПМ.
5. От чего будет зависеть состав ЗШС?
6. С какой целью определяют содержания свободной окиси кальция в золе?
7. Основные способы утилизации ЗШО.
8. С какой целью строят дифференциальную кривую распределения?

9. Приведите примеры основных отраслей народного хозяйства, где возможно использовать продукты переработки ЗШО.

Лабораторная работа № 2

Разработка технологии утилизации отхода

Цель работы – разработать рациональную принципиально-структурную схему утилизации отхода, учитывая его физико-химические свойства, а также приобрести навыки работы с экологической документацией.

2.1. Теоретический материал

2.1.1. Основные методы утилизации отходов

Исторически сложилось так, что основное количество отходов в РФ «утилизировалось» захоронением в почву или сжиганием.

Захоронение

Захоронение на полигонах является наиболее дешевым способом ликвидации и конечным этапом переработки твердых промышленных отходов (ТПО). Захоронению на полигоны вывозят 75–97 % образующихся отходов. В тоже время в ведущих странах ЕС (Германии, Австрии, Швеции, Бельгии, Дании, Нидерландах, Люксембурге), а также в Швейцарии и Японии полигонному захоронению подвергают менее 20–37 % (в Бельгии всего 5 %).

Современный полигон – инженерное сооружение (рис. 2.1 и рис. 2.2), обеспечивающее реализацию технологии размещения (прием, складирование, по необходимости уплотнение, захоронение) и охрану окружающей природной среды от загрязнения.

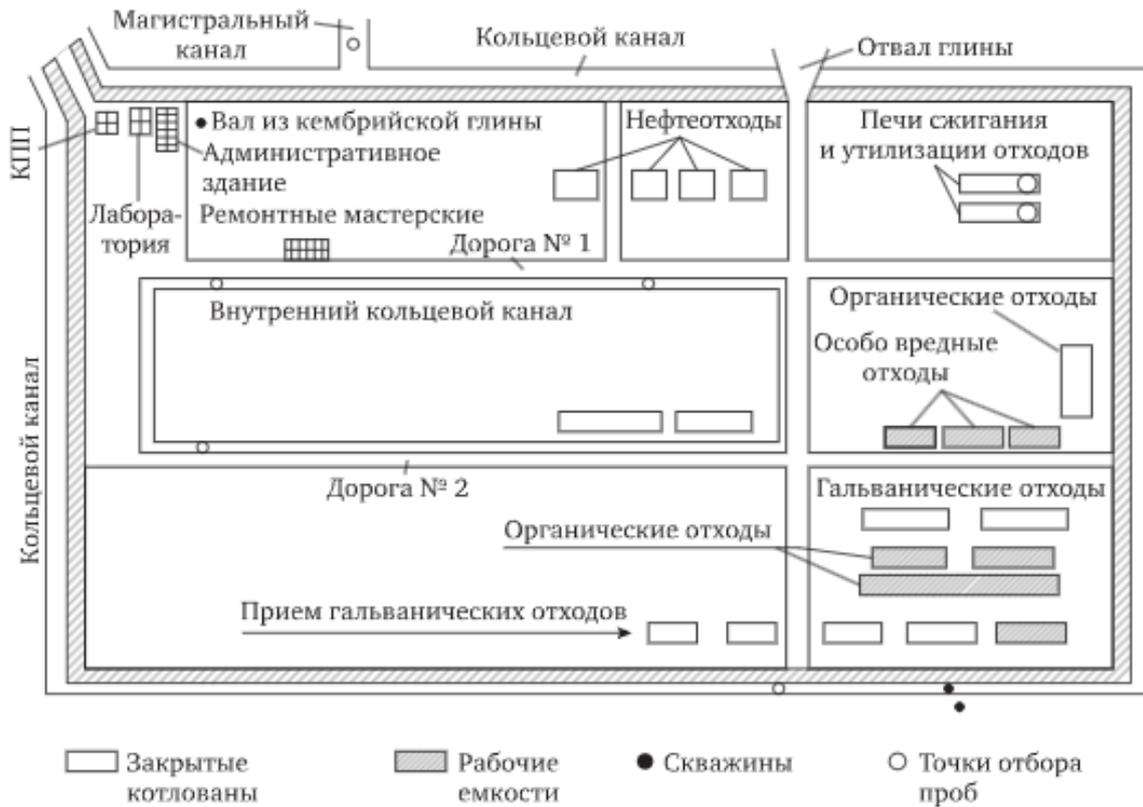


Рис. 2.1. Схема полигона «Красный Бор» для обработки и захоронения промышленных отходов

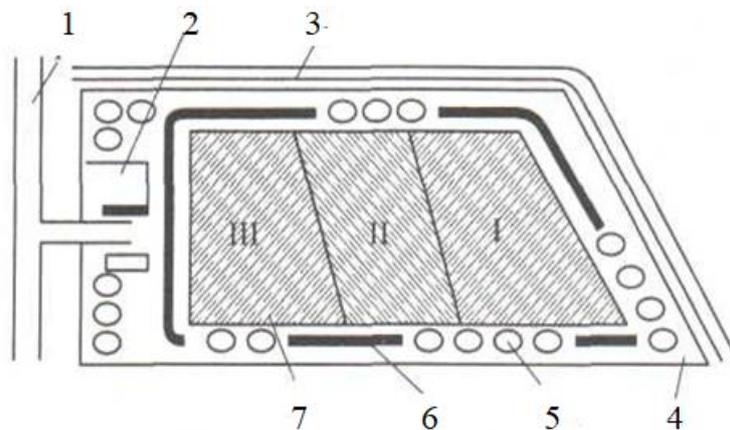


Рис. 2.2. Схема размещения основных сооружений полигона:
 1 – подъездная дорога; 2 – хозяйственная зона; 3 – нагорная канава; 4 – ограждение; 5 – зеленая зона; 6 – кавальер (земляной вал правильной призматической формы из грунта, изъятая из выемки и не использованная при возведении насыпи) грунта для изоляции слоев; 7 – участки складирования отходов; I, II, III – очереди эксплуатации

На рисунке 2.3 представлена схема устройства полигона для твердых коммунальных отходов (ТКО), на рис. 2.4 – пример захоронения радиоактивных отходов.

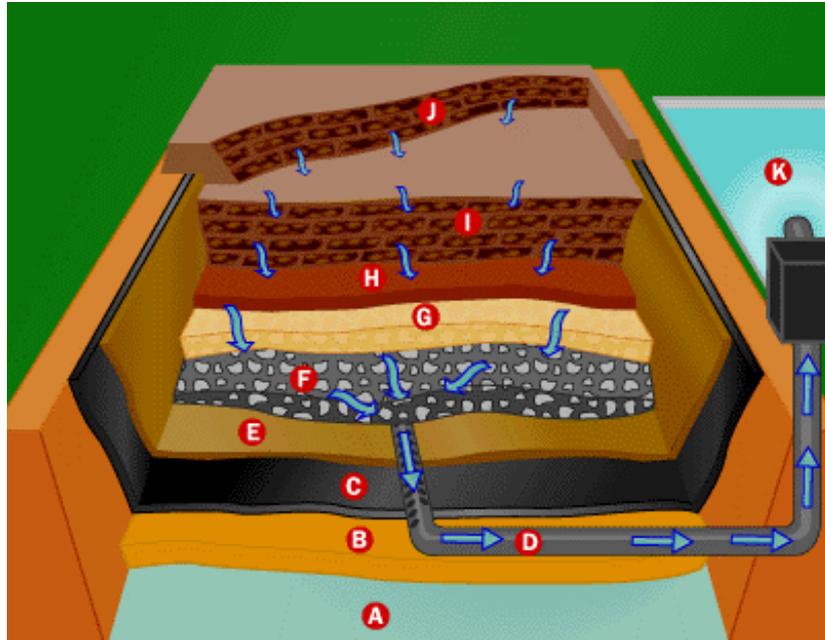


Рис. 2.3. Схема устройства полигона для ТКО: А – грунтовая вода, В – плотный слой глины, С – прослойка из пластика, D – система водосточных труб, E – геотекстильный слой, F – гравий, G – дренажный слой, H – почвенный слой, I, J – слои почвы, где хранятся отходы К – водосточный пруд (отстойник)



Рис. 2.4. Захоронение радиоактивных отходов.

Негативное воздействие полигонов на окружающую среду должно быть сведено к минимуму за счет правильного расположения, рационального устройства, бесперебойного и безопасного функционирования, обезвреживания фильтратов и постоянного

мониторинга и экологического контроля. Захоронения промышленных токсичных отходов проводят после их стабилизации в результате обработки связующими или цементирующими веществами – жидким стеклом, цементными растворами, битумами на участках, не имеющих хозяйственного значения. В табл. 2.1 приведены общие принципы обезвреживания опасных отходов перед захоронением.

Таблица 2.1

Общие принципы обезвреживания опасных отходов перед захоронением [9].

Вид отходов	Основные операции	Назначение основной операции	Вспомогательные операции	Назначение вспомогательной операции
Жидкие негорючие	Реагентные: восстановление, осаждение	Частичное обезвреживание: понижение валентности некоторых металлов, перевод в нерастворимую форму	Отстаивание, фильтрование, осадка	Обезвоживание
Пастообразные, содержащие растворимые вещества I класса опасности, негорючие	Приготовление эмульсии Реагентные: восстановление, осаждение			
Твердые негорючие				
Жидкие горючие	Сжигание в печах при $T = 1000\text{ }^{\circ}\text{C}$ (хлорсодержащие $T = 1200\text{ }^{\circ}\text{C}$)	Утилизация тепла (теплообменники)	Измельчение твердых отходов Дожигание отходящих газов Физико-химическая очистка от пыли, хлористого и фтористого водорода, оксидов серы и других примесей (абсорбция в скрубберах)	Оптимизация размеров для загрузки Очистка отходящих газов
Пастообразные горючие				
Твердые горючие				

Участки для удобства полигонов захоронения вредных промышленных отходов выбираются с учетом требований землеустройства и размещаются на свободных от застройки, хорошо вентилируемых территориях, не затопляемых ливневыми, талыми

и паводковыми водами. При проектировании и строительстве полигонов используются инженерные решения, исключающие возможное загрязнение подземных вод, источников питьевого и хозяйственного водоснабжения, минеральных источников, открытых водоемов, жилых, минеральных источников, открытых водоемов, жилых населенных пунктов, рекреационных и природных зон. Проектирование, строительство и эксплуатация полигонов осуществляются в соответствии с СанПиНом 2.1.3684–21, постановлением Правительства РФ № 20 от 19.01.2006 «Об инженерных изысканиях для подготовки проектной документации, строительства, реконструкции объектов капитального строительства», а также ст. 48 и 49 Градостроительного кодекса РФ.

Расходы на захоронение и обработку большинства промышленных отходов (ПО) превышают расходы на переработку и извлечение полезных материалов в 6–8 раз. Удаления отходов на полигоны следует рассматривать как вынужденное, но малоперспективное с позиций экологии решение, тем более что для природных процессов многие отходы по своей структуре неизвестны и природа не способна справиться с накопленными и качественно измененными продуктами, созданными человеком для обеспечения своей жизнедеятельности.

Термические методы утилизации отходов

Одними из наиболее широко распространенных методов утилизации отходов являются термические методы, при которых в зависимости от условий проведения процесса происходят окисление, разложение и восстановление химических соединений, составляющих отходы. Очень часто все эти процессы при нагревании отходов происходят одновременно.

Сжиганию подвергаются: ТКО; медицинские отходы; биологические отходы; загрязненные органическими веществами грунты; пришедшие в негодность и запрещенные пестициды; стойкие органические загрязнители, в том числе полихлорированные бифенилы; нефтешламы; отходы хлорорганических производств химической промышленности; отходы производства минеральных удобрений и химических

средств защиты растений; отходы производства органического синтеза (кислот, альдегидов, кетонов, спиртов и др.); некондиционное ракетное топливо; осадки сточных вод и многие другие.

Главной целью термической обработки является обезвреживание отходов и уменьшение их объемов, но наряду с этим ряд способов термического воздействия позволяет получать из отходов ценные товарные продукты.

К термическим методам относят [10]:

- сжигание отходов (огневой метод);
- пиролиз;
- газификацию;
- методы, основанные на применении плазменных источников энергии;
- комбинацию указанных выше методов.

Блок-схема сжигания отходов с целью обезвреживания и получения различных видов энергии приведена на рис. 2.5.



Рис. 2.5. Блок-схема сжигания отходов с целью обезвреживания и получения различных видов энергии

Технология сжигания отходов во вращающихся печах

Принципиальная технологическая схема сжигания отходов во вращающейся барабанной печи представлена в Приложении II.

Барабанные вращающиеся печи широко используют за рубежом для сжигания твердых и пастообразных промышленных, бытовых и медицинских отходов, а также обезвоженных осадков сточных вод. Обычно барабанная вращающаяся печь представляет собой стальной барабан, имеющий футеровку из огнеупорного кирпича, бетона или водоохлаждаемую, который вращается со скоростью 0,05–2 об/мин.

Барабанные печи устанавливаются с небольшим наклоном в направлении движения отходов. Температуру в барабанной печи в зависимости от вида сжигаемых отходов поддерживают в пределах 900–1200 °С. В случае необходимости дополнительное топливо или жидкие горючие отходы подаются через горелочное устройство, повышая температуру внутри печи. Поступившие отходы, перемешиваясь при вращении печи, подсушиваются, частично газифицируются и перемещаются в зону горения. Излучение от пламени в этой зоне раскаляет футеровку печи и способствует выгоранию органической части отходов и подсушке вновь поступивших. Отходы и топливо, а также окислитель (воздух) подаются со стороны загрузки; шлак выгружается с противоположного торца печи в твердом виде или в виде расплава. Барабанные вращающиеся печи с жидким шлакоудалением, дополненные камерой дожигания газообразных продуктов термодеструкции отходов, характеризуются высокой экологической эффективностью. Их использование позволяет изменять режимы работы без существенного технического перевооружения и смены технологии, следовательно, использование этой конструкции дает возможность переработки более широкого спектра отходов. В их число входят ТКО и ПО, нефтяные шламы, обезвоженные осадки очистных сооружений, медицинские отходы, биологические отходы и т. п. Многоцелевое назначение определяет более серьезные требования к обеспечению экологической безопасности. Для этих целей используется многоступенчатая газоочистка, в составе которой рационально использование адсорбционных реакторов,

наиболее часто исполненных в виде рукавных фильтров (однако имеются и другие конструкции). В качестве адсорбентов тяжелых металлов и соединений группы диоксинов используются активированный уголь и цеолиты. В схеме (см. Приложение II) кроме принципиального состава блоков имеется блок тонкой очистки с возможностью впрыска активных сорбентов.

Пиролиз – процесс термического разложения отходов, содержащих органические вещества, под действием повышенной температуры без доступа или с ограниченным доступом кислорода с выделением твердого углеродсодержащего остатка, горючего пиролизного газа (пирогаза), жидких органических продуктов.

Метод пиролиза отходов предусматривает:

- термодеструкцию подготовленных отходов в реакторе для получения пирогаза, пиролизной жидкости и твердого остатка;
- конденсацию и сепарацию газовой фракции с получением жидкой фракции и пирогаза;
- очистку пирогаза от соединений хлора, фтора, серы, цианидов с целью повышения его экологических показателей и энергоемкости;
- сбор и сжигание очищенного пирогаза в топке котла-утилизатора для получения пара, горячей воды или электроэнергии или использование пирогаза для производства продукции;
- сбор пиролизной жидкости и твердого остатка.

На рис. 2.6 показана общая схема пиролиза отходов. Различают сухой и окислительный пиролиз:

Окислительный пиролиз представляет собой процесс термического разложения отходов при их частичном сжигании или непосредственном контакте с продуктами сгорания топлива. В результате окислительного пиролиза образуется твердый углеродсодержащий остаток (кокс, сажа), его можно использовать в качестве твердого топлива или в других целях.

Сухой пиролиз – процесс термического разложения отходов, твердого и жидкого топлива без доступа окислителя. В процессе сухого пиролиза отходов образуются пиролизный газ с высокой теплотой сгорания, жидкие продукты и твердый углеродистый

остаток. Количественный и качественный состав продуктов сухого пиролиза зависят от состава обрабатываемых отходов и температуры процесса.



Рис. 2.6. Общая схема пиролиза отходов

Сухой пиролиз делится на три вида в зависимости от температуры:

- низкотемпературный при температуре 450–500 °С;
- среднетемпературный при температуре до 800 °С;
- высокотемпературный пиролиз (900–1050 °С).

Методом пиролиза можно утилизировать автопокрышки, резинотехнические изделия, отходы пластмасс, ТКО, отработанные масла, некоторые обеззараженные медицинские отходы.

Подготовка отходов, направляемых на пиролиз, включает:

- сортировку отходов с целью извлечения балластных фракций (стекло, металлы, камни, мелкая фракция);

- сушку отходов;
- предварительное дробление отходов.

Процесс пиролиза отходов осуществляется в реакторах, имеющих внешний и внутренний обогрев. Внешний тип обогрева применяют в реакторах, имеющих исполнение в виде вертикальных реторт, или в барабанных реакторах вращающегося типа.

Способ утилизации отходов по технологии пиролиза заключается в их необратимом химическом изменении под действием повышенной температуры без доступа или с ограниченным доступом кислорода с выделением горючего пирогаза.

В отечественной практике обращения с резинотехническими и нефтесодержащими отходами известна технология термической деструкции сырья, которая реализуется в виде сухого низкотемпературного пиролиза при поддержании температуры в пиролизном реакторе до 550 °С. Кроме этого, в технологиях допускается реализация технологии сушки без доступа кислорода (с целью снижения влажности сырья), технологии регенерации отдельных категорий сырья (отходов растворителей и др.) методом дистилляции под атмосферным давлением, а также комбинированных технологий переработки сырья.

Технологическая схема пиролиза с получением печного топлива представлена в Приложении III.

В Постановлении правительства РФ от 12 октября 2020 г. указано, что «захоронение и сжигание отходов возможно только в тех случаях, когда они не пригодны для переработки».

На рисунке 2.7 представлена иерархия методов обращения с отходами.



Рис. 2.7. Иерархия методов обращения с отходами

Переработка

В настоящее время разработано и запатентовано достаточно много способов переработки ПО. Например, переработка лома черных и цветных металлов вследствие высокой эффективности и совершенства технологий электромагнитной сепарации. Широкие экономические и экологические возможности предоставляют технологии пиролиза автомобильных шин и отходов нефтепереработки и т. д. Кроме того, современный уровень развития технологий и оборудования позволяет одновременно обезвреживать и перерабатывать многие вредные компоненты. Например, комплексная переработка аккумуляторного лома не только является для России единственным источником сырого свинца, так как на ее территории нет собственных месторождений этого металла, но и позволяет получать серную кислоту, используемую во многих видах производства.

На рисунке 2.8 представлена линия, позволяющая очищать полимеры от загрязнений (частиц металла, стекла) для последующей переработки в агломерат, гранулы, готовую продукцию. Использование вторичных полимеров, прошедших очистку и мы-

тьё, значительно увеличивает время использования фильтра (фильтры) на экструдере и улучшает качество получаемого продукта, сделанного из него (готовых изделий из полимеров, агломерата, гранулята). Сырьём для переработки на линии являются полимерные отходы: отходы полиэтилена, использованная полиэтиленовая плёнка, вторичные полимеры, различные полимеры – ПЭТ, ПВД, ПВХ, ПНД, ПП, ПС. Линия очистки и мойки полимерных отходов ЛМП 200-400 может являться частью мусороперерабатывающего завода полного цикла.

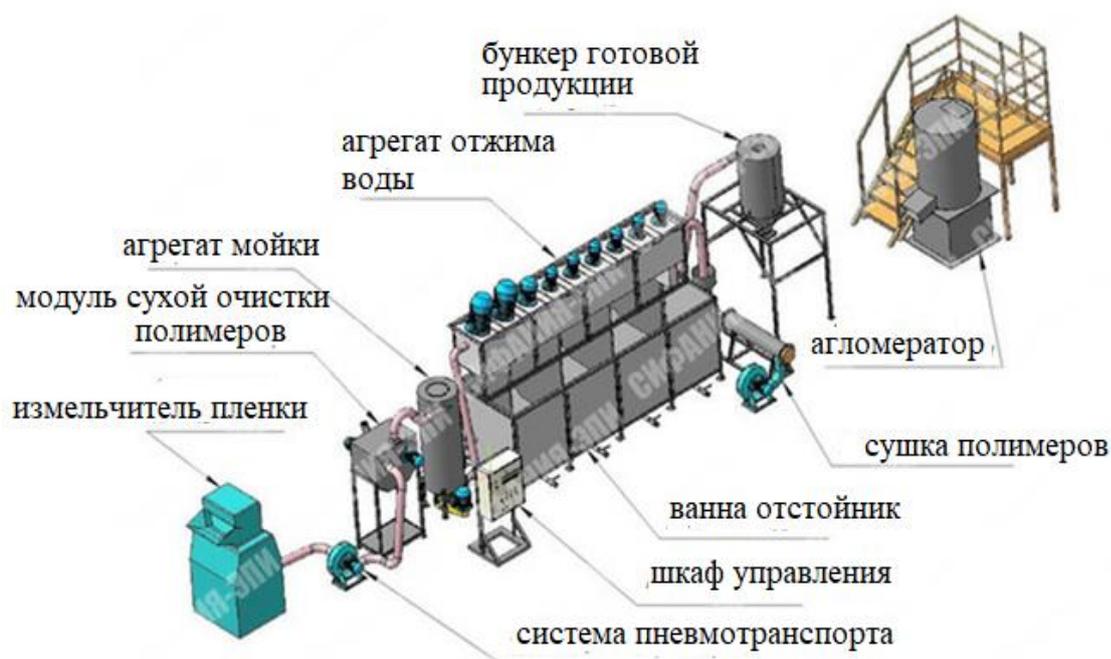


Рис. 2.8. Общий вид линии переработки полимерных пленочных отходов материалов

Утилизация ЗШО

В России в настоящее время разработано более 300 технологий для использования ЗШО [11, 12].

Области использования ЗШМ представлены на рис. 2.9.

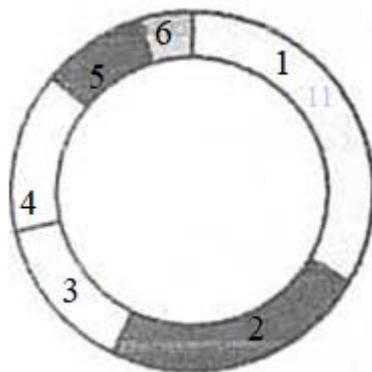


Рис. 2.9. Использование золошлаковых отходов в различных сферах промышленности: 1 – строительство (35 %); 2 – дорожное строительство (25 %); 3 – сельское хозяйство (15 %); 4 – производство наполнителей; 5 – строительные проекты (10 %); 6 – другое (5 %)

В Приложении IV приведены основные нормативные документы и методические рекомендации по применению зол и золошлаковых материалов в дорожном строительстве, а также методы контроля золы для производства строительных материалов.

Например, завод компании «Теплит», расположенный рядом с Рефтинской ГРЭС, перерабатывает более 200 тыс. т золы уноса в год. Производитель битумных строительных материалов «Технониколь» использует буроугольные золы сибирских станций в качестве сырья с 2007 года в объеме до 40 тысяч т продукта в год [13].

В Кузбассе действует завод по переработке ЗШО Беловской ГРЭС, продукция которого используется при бурении скважин, в литейном деле, производстве огнеупорных и лакокрасочных материалов и ориентирована на потребителей в России, странах СНГ, США и других. Относительно новым направлением в обращении с ЗШО в Кемеровской области является обогащение их физическими методами с целью выделения ценных компонентов – железосодержащего концентрата, угольного недожога, шлакового щебня и песка. Гравитационно-магнитная технология переработки золошлаковых материалов (ЗШМ) производительностью 2–4 т/ч по исходному сырью [14, 15].



Рис. 2.10. Опытно-промышленная установка по переработке ЗШМ, установка работает на Кемеровской ГРЭС

Основные алгоритмы переработки сырья, а именно применение в качестве основного метода обогащения винтовой сепарации – гравитационного процесса, позволяющего без применения электроэнергии и химических реагентов получать тяжелую фракцию (железосодержащий промпродукт), алюмосиликатный песок и легкую фракцию золы уноса, содержащую угольный недожог, микросферы и тонкие фракции алюмосиликатов. В качестве методов доводки тяжелой фракции могут применяться как магнитные (в случае преобладания железа в сырье в виде сильномагнитных частиц), так и гравитационные процессы (в случае наличия железа в виде слабомагнитных составляющих). Для извлечения угольного недожога применена флотация. Получаемые железосодержащие концентраты имеют характеристики, позволяющие применять их в качестве сырья для выплавки чугуна и стали, а также в качестве утяжелителя для формирования магнитных суспензий для обогатительных фабрик. Схема сбора сухой золы уноса на Кемеровской ГРЭС представлена в Приложении V.

Положительный результат получило применение немагнитной фракции золы в строительной отрасли для производства це-

мента, бетона, кирпича, легких заполнителей, рубероида, керамзита и др. строительных материалов, а также строительстве и ремонте дорог. В результате использования потребление цемента снижается на 30 %, природных заполнителей (песка, щебня) – более чем на 50 %. В табл. 2.2 примеры использования ЗШО в качестве заменителя в бетонах определенных марок.

Таблица 2.2

Использование ЗШО в бетонах

Марка бетона	Вид золошлаковых отходов	Эффект использования – технический
M200	Зола ТЭС и ЗШС – заменитель части цемента	Экономия цемента 15–30 %; улучшение укладываемости бетонной смеси; повышение коррозионной стойкости бетона; снижение тепловыделения при твердении
M300	Зола ТЭС – мелкий заполнитель	Экономия 10–20 % цемента; снижение плотности бетона на 100–300 кг/м ³ по сравнению с керамзитобетоном на кварцевом песке
M400	Зола ТЭС – заменитель песка и компонент смешанного вяжущего.	Снижение расхода электроэнергии; уменьшение толщины стен по сравнению с кирпичными в 1,5–2 раза

Рассмотрим технологию получения пенобетона с использованием ЗШО.

Пенобетон – легкий ячеистый бетон (рис. 2.11), который получается путем твердения раствора, состоящего из цемента, песка и воды, с использованием пенообразователя. Применение пенообразователя обеспечивает необходимое содержание воздуха в бетоне и его равномерное распределение во всей массе в виде замкнутых ячеек.



Рис. 2.11. Структура пенобетона

При производстве ячеистого бетона золу уноса используют в качестве вяжущего вещества и кремнеземистого компонента бетонной смеси.

По ГОСТ 25485-89 «Бетоны ячеистые. Технические условия» для производства ячеистого бетона в качестве вяжущего вещества может применяться основная зола, содержащая общего СаО не менее 40 %, в том числе свободного СаО – не менее 16 %, SO_3 – не более 6 %, сумму оксидов K_2O и Na_2O – не более 3,5 %. При использовании золы уноса в качестве кремнеземистого компонента бетонной смеси она должна содержать не менее 45 % SiO_2 , не более 10 % СаО, не более 3 % K_2O+Na_2O , не более 3 % SO_3 .

Одна из российских компаний ООО «ЭнергоЗолоРесурс», располагающаяся в Московской области (г. Красногорск), применяет технологию изготовления пенобетонных блоков с использованием золы уноса.

В табл. 2.3 приведены данные реального состава пенобетона неавтоклавного твердения для 1 м^3 на цементе ПЦ500Д0 (портландцемент), плотностью $600,0\text{ кг/м}^3$, полученного на ООО «ЭнергоЗолоРесурс».

Таблица 2.3

Сравнение состава пенобетона на мелком песке и на золе уноса

Компоненты пенобетона плотностью 600 кг/м^3	Пенобетон на мелком песке	Пенобетон на золе уноса высококремнистой $SiO_2 = 45,0\%$
Цемент ПЦ500Д0, кг	375	270
Песок мелкий, кг	168	0
Вода, л	240	210
Пенообразователь, л	0,7	0,7
Зола уноса, кг	0	300

Преимущества применения золы уноса Каширской ГРЭС (г. Кашира) при производстве пенобетона:

1. Смесь становится более устойчивой от начала и до конца схватывания цемента в смеси;
2. При применении золы уноса состав пенобетонной смеси становится более мелкодисперсным, тем самым межпоровые перегородки становятся более плотными;
3. Отсутствие трещин при наборе прочности на пенобетоне;
4. Можно получать изделия с меньшей плотностью, чем на песке, при этом прочность остается той же;
5. Применение высококремнистой золы позволяет изготавливать пенобетон плотностью от 250,0 до 1200,0 кг/м³;
6. Зола уноса при приготовлении пенобетона заменяет песок на 100 %, а также способна заменять до 30 % цемента.

Технология производства пенобетонных блоков

Принципиально-структурная схема производства пенобетонных блоков представлена на рис. 2.12. Для приготовления пенобетона используются следующие компоненты:

1. Портландцемент марки ПЦ500Д0.
2. Зола уноса.
3. Вода.
4. Пенообразователь на белковой основе ООО «РусБлок».

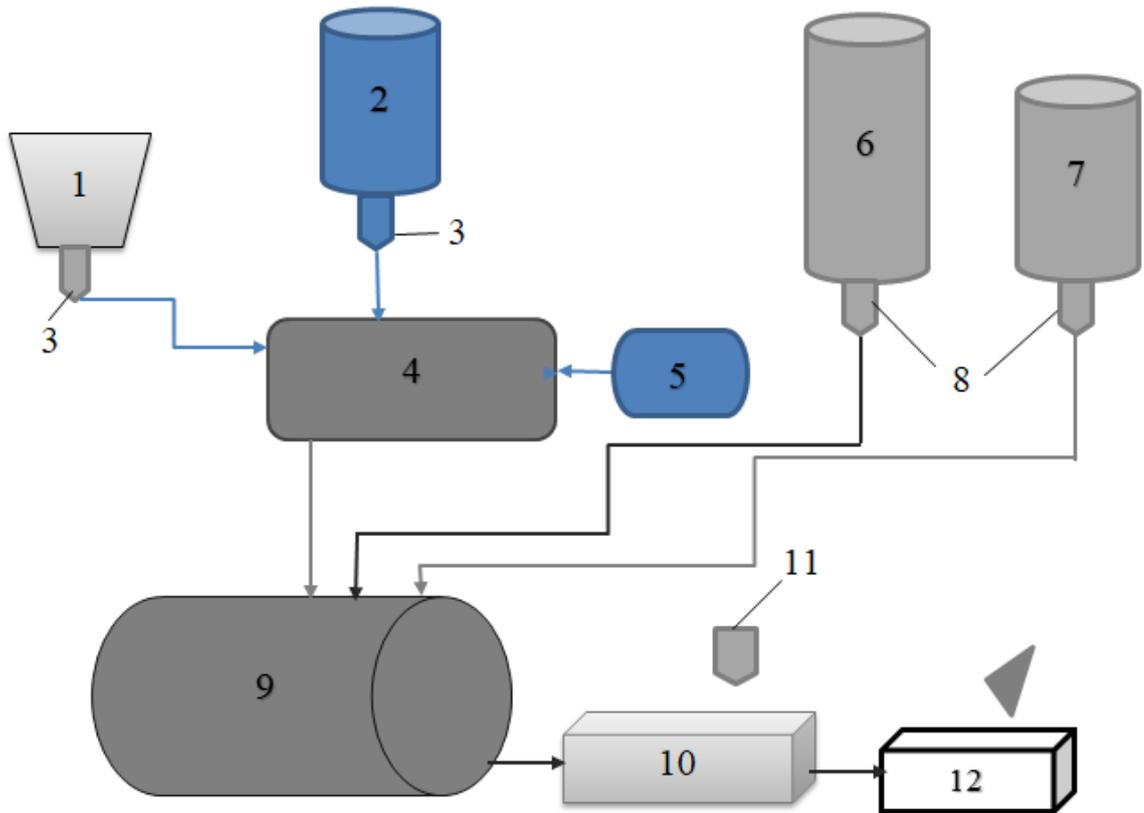


Рис. 2.12. Принципиально-структурная схема производства пенобетона: 1 – емкость с пенообразователем; 2 – резервуар с водой; 3 – дозаторы; 4 – пеногенератор; 5 – компрессор; 6 – бункер цемента; 7 – бункер золы уноса; 8 – весовые дозаторы; 9 – бетоносмеситель; 10 – стальная форма; 11 – устройство распалубки; 12 – резательная установка.

Для приготовления пены необходимо осуществить подачу пенообразователя из емкости (1) и воды из резервуара (2) на пеногенератор (4). Дозирование необходимого количества воды и пенообразователя, осуществляется дозаторами воды и пенообразователя (3) автоматически. С помощью компрессора (5) в пеногенератор подается сжатый воздух, который производит мелкодисперсную пену из раствора. Из бункера золы-уноса (6) и бункера цемента (7) через весовые дозаторы (8) осуществляется подача золы уноса и цемента автоматически вместе с пеной из пеногенератора в герметичный бетоносмеситель (9).

В бетоносмесителе все компоненты смешиваются, и далее пенобетонная смесь поступает в стальные формы (10). Изготовление блоков из пенобетона происходит методом резательной тех-

нологии. Сначала пенобетонная смесь поступает в крупногабаритную форму без деления на ячейки. В форме пенобетон набирает необходимую прочность в течение 6-9 часов, затем с помощью устройства распалубки (11) происходит снятие бортов. Массив из пенобетона переносится на поддоне траверсой на резательную установку (12) для резки на блоки в количестве 16 штук с размерами 200×300×600 мм. Резка может производиться с помощью специальных стальных струн или ленточных пил. Готовые блоки упаковываются, проходят контроль качества, снимаются с поддона с помощью захватного устройства и переносятся на склад готовой продукции.

2.2. Экспериментальная часть

Используя данные физико-химических свойств, полученные в лабораторной работе № 1 или выданные преподавателем, а также теоретические положения, рекомендуемую литературу и интернет-ресурсы, разработать технологию утилизации исследуемого отхода.

Ход работы:

1. Привести основные физико-химические свойства отхода.
2. Перечислить возможные методы утилизации исследуемого отхода. Выбрать и обосновать выбор метода утилизации.
3. Разработать принципиально-структурную схему технологии утилизации. В первую очередь, требуется ли подготовка отхода (измельчение, сушка, сепарация, агломерация и т.д.) прежде чем использовать его в качестве сырья в выбранной технологии.
4. Рассчитать материальный баланс. Используя отраслевые справочники и литературу, выбрать нормы расхода основных компонентов. Для того чтобы рассчитать материальный баланс, необходимо знать все стадии производства, коэффициенты потерь на данных стадиях, а также рецептуру получаемого изделия (материала, продукта) [16, 17].

Пример расчета материального баланса для производства пенобетона.

Исходные данные: при сжигании твердого топлива на котельной образуется 788,37 т золы уноса, которые необходимо утилизировать.

За основу рецептуры примем состав пенобетона, получаемого на ООО «ЭнергоЗолоРесурс» (г. Красногорск), в табл. 2.4 приведены соотношения компонентов для производства пенобетона с использованием золы уноса.

Таблица 2.4

Соотношения компонентов
для производства пенобетона

Компоненты	Соотношение, %
Цемент ПЦ500Д0	34,6
Вода	26,9
Пенообразователь	0,1
Зола уноса	38,4

Основными стадиями процесса получения пенобетона являются: транспортировка и растаривание золы-уноса; дозирование компонентов; смешивание; заливка бетонной смеси в формы; резка массива на пенобетонные блоки; транспортировка готовых блоков на склад.

Расчет материального баланса по стадиям:

1. *Транспортировка и растаривание* золы уноса с основного производства (например, котельная или ТЭЦ) на вторичное, коэффициент потерь при транспортировании $K_{п1} = 1,5 \%$.

Приход: 788,37 тонн

Потери сырья: $(788,37 \times 1,5) / 100 = 11,83$ т.

2. *Дозирование компонентов*

На этой стадии осуществляется дозирование всех компонентов (табл. 2.5) для приготовления пенобетона, $K_{п2} = 0,1\%$. Зная рецептуру, произведем расчет необходимого количества компонентов.

Приход: $788,37 - 11,83 = 776,54$ т.

Согласно рецептуре (см. табл. 2.4) рассчитываем содержание компонентов (табл. 2.5) на стадии дозирования.

Таблица 2. 5

Расчет компонентов на стадии дозирования

Компоненты	Соотношение, %	Содержание, т
Зола уноса	38,4	776,54
Цемент	34,6	699,70
Вода	26,9	543,98
Пенообразователь	0,1	2,02
ИТОГО	100	2022,24

$$\text{Потери: } \frac{2022,24 \times 0,1}{100} = 2,02 \text{ т.}$$

$$2022,24 - 2,02 = 2020,22 \text{ т.}$$

3. Смешение компонентов для получения пенобетона

$$K_{п3} = 0,3 \text{ \%}.$$

$$\text{Приход: } 2020,22 \text{ т}$$

$$\text{Потери: } \frac{2020,22 \times 0,3}{100} = 6,061 \text{ т.}$$

$$2020,22 - 6,061 = 2014,16 \text{ т.}$$

4. Заливка бетонной смеси в формы $K_{п4} = 0,15 \text{ \%}$

$$\text{Приход: } 2014,16 \text{ т.}$$

$$\text{Потери: } \frac{2014,16 \times 0,15}{100} = 3,021 \text{ т.}$$

$$2014,16 - 3,021 = 2011,14 \text{ т.}$$

5. Резка массива на пенобетонные блоки $K_{п5} = 0,7 \text{ \%}$

$$\text{Приход: } 2011,14 \text{ т.}$$

$$\text{Потери: } \frac{2011,14 \times 0,7}{100} = 14,08 \text{ т.}$$

$$2011,14 - 14,08 = 1997,06 \text{ т.}$$

6. Транспортировка готовых блоков на склад

$$K_{п6} = 0,03 \text{ \%}.$$

$$\text{Приход: } 1997,06 \text{ т.}$$

$$\text{Потери: } \frac{1997,06 \times 0,03}{100} = 0,6 \text{ т.}$$

$$1997,06 - 0,6 = 1996,46 \text{ т.}$$

Материальные расчеты можно представить в табличном варианте (табл. 2.6).

Таблица 2.6

Материальный баланс производства пенобетона

Приход			Расход		
Сырье	Масса,	%	Продукт	Масса,	%
1. Транспортировка золы уноса					
Зола уноса	788,37	100	Зола уноса	776,54	98,5
			$K_{п1}$	11,83	1,5
ИТОГО	788,37	100	ИТОГО	788,37	100
2. Дозирование компонентов					
Зола уноса	776,54	38,4	Смесь компонентов	2020,22	99,9
Цемент	699,70	34,6			
Вода	543,98	26,9			
Пенообразователь	2,02	0,1	$K_{п2}$	2,02	0,1
ИТОГО	2022,24	100	ИТОГО	2022,24	100
3. Смешение компонентов					
Смесь компонент- тов	2020,22		Пенобетон	2014,16	97
			$K_{п3}$	6,061	0,3
ИТОГО	2020,22	100	ИТОГО	2020,22	100
4. Заливка бетонной смеси в формы					
Пенобетон	2014,16	100	Массив из пено- бетона	2011,14	99,85
			$K_{п4}$	3,021	0,15
ИТОГО	2014,1	100	ИТОГО	2014,16	100
5. Резка массива на бетонные блоки					
Массив из пено- бетона	2011,14	100	Блоки из пенобе- тона	1997,04	93
			$K_{п5}$	14,10	0,7
ИТОГО	2011,14	100	ИТОГО	2011,14	100
6. Транспортировка на склад готовой продукции					
Блоки из пенобе- тона	1997,04	100	Блоки из пенобе- тона	1996,4	99,97
			$K_{п6}$	0,6	0,03
ИТОГО	1997,04	100		1997,04	100

Таким образом, из 788,37 т золы уноса можно получить 1996,46 т пеноблоков.

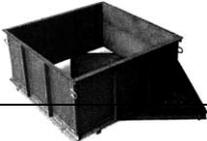
5. Выбрать технологическое оборудование.

Выбор оборудования производится по производительности и потребляющей мощности, учитывая вид отхода, его физико-химические свойства, массу или объем.

Например, для рассчитанного производства пенобетона в табл. 2.7 приведены характеристики выбранного оборудования.

Таблица 2.7

Характеристики выбранного оборудования

№	Наименование	Внешний вид	Технические характеристики
1.	Смеситель для пенобетона		Производительность – до 8 м ³ /ч Вместимость – 1000 л Мощность – 5,5 кВт Максимальное давление сжатого воздуха – 0,25 МПа
2.	Пеногенератор		Подача воды насосом – 120 л/мин. Производительность по пене – 500 л/мин. Рабочее давление воздуха – 4-5 бар Напряжение – 380 В. Мощность насоса – 2,2 кВт
3.	Дозатор-счетчик для воды		Номинальный расход при дозировании 1,5 м ³ /ч Максимальный расход при дозировании 3,0 м ³ /ч
4.	Компрессор СБ4/Ф-270.LB50		Число цилиндров компрессора – 2 Максимальное давление сжатого воздуха – 1,0 МПа. Объем ресивера – 270 л. Производительность – 680 л/мин. Номинальная мощность двигателя – 4 кВт
5.	Форма стальная «Ф-16»		Объем 0,6 м ³ на 16 стеновых блоков размером 200×300×600 мм. Размеры – 1050×1330×680 мм
6.

6. Рассчитать количество необходимого оборудования

Число единиц оборудования N определяется исходя из массы (объема) переработки отхода ($Q_{п}$, кг или т), (с учетом расходных коэффициентов, берутся данные из материального расчета) производительности оборудования ($Q_{пр}$, кг/ч), и действительного годового фонда времени работы оборудования $\tau_{д}$, ч

$$N = \frac{Q_{\text{п}}}{Q_{\text{пр}} \cdot \tau_{\text{д}}}, \text{ шт.} \quad (2.1)$$

Действительный фонд времени работы оборудования зависит как от режима работы предприятия, так и от режима работы самого оборудования.

Требования к отчету

Отчет должен содержать:

1. Название и цель работы.
2. Основные этапы технологии утилизации.
3. Принципиально-структурную схему, выполненную на формате А3.
4. Описание разработанной схемы.
5. Технические характеристики выбранного оборудования и его количества.
6. Вывод.

Контрольные вопросы

1. Что необходимо учитывать при выборе технологии утилизации и переработки ПО?
2. Когда возможно использовать метод захоронения ПО?
3. Какие ПО можно захоронить с отходами ТКО?
4. Преимущества и недостатки термических методов утилизации.
5. Какие по конструкции используются печи для сжигания отходов?
6. Классификация методов пиролиза.
7. Преимущества пиролиза перед сжиганием.
8. Как подбирается оборудование для переработки отходов?
9. Какую документацию используют для разработки технологии утилизации отходов?

Список литературы

1. Сибирская генерирующая компания СГК : официальный сайт. – URL: <https://sibgenco.online/news/element/na-kef-2023->

[eksperty-nazvali-usloviya-dlya-populyarizatsii-retsiklinga-zoloshlakov/](#) (дата обращения: 03.12.2023). – Текст : электронный.

2. Пономарев, А. Превратить отход в доход / А. Пономарев // Уголь 2015. – № 9–10. [сайт]. – URL: <http://www.uk42.ru/index.php?id=1906> (дата обращения: 03.12.2023). – Текст : электронный.

3. Трясунов, Б. Г. Угলেখимия : в четырёх частях : учебное пособие : для бакалавров, специалистов и магистров, обучающихся по направлениям подготовки «Горное дело», «Обогащение полезных ископаемых», «Теплоэнергетика и теплотехника», «Химическая технология», «Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии», «Техносферная безопасность», технических работников и специалистов в области угলেখимии / Б. Г. Трясунов ; Кузбасский государственный технический университет им. Т. Ф. Горбачева. – Кемерово : КузГТУ, 2022. – Часть 3. – 2022. 1 файл (2,47 Мб) : 73 рис., 16 табл. ISBN 978-5-00137-283-7.

4. Кизильштейн, Л. Я. Следы угольной энергетики / Л. Я. Кизильштейн // Наука и жизнь 2008. – № 5. – С. 66–73.

5. Исмагилов, З. Р. Исследование алюмосиликатных микросфер из золы уноса электростанций, использующих угли Кузбасса / З. Р. Исмагилов [и др.] // Химия твердого топлива 2015. – № 4. – С. 49–57.

6. Справочник по пыле- и золоулавливанию / С74 М. И. Биргер [и др.]. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Энергоатомиздат, 1983. – 312 с., ил.

7. Темникова, Е. Ю. Перспективы использования золы уноса тепловых электростанций Кузбасса / Е. Ю. Темникова [и др.] // Вестник КузГТУ. – 2017. – № 1. – С. 90–96.

8. Пичугин, Е. А. Аналитический обзор накопленного в Российской Федерации опыта вовлечения в хозяйственный оборот золошлаковых отходов электростанций / Е. А. Пичугин // Проблемы региональной экологии. – 2019. – № 4. – С. 77–87.

9. Харламова, М. Д. Твердые отходы : технологии утилизации, методы контроля, мониторинг / М. Д. Харламова, А. И. Курбатова ; под ред. М. Д. Харламовой. – М. : Юрайт, 2015. – 231 с. – Серия : Бакалавр, академический курс. Модуль

10. Информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям ИТС9-2020. – [сайт]. – URL: <https://burondt.ru/itc> (дата обращения: 18.04.2024). – Текст : электронный

11. Марков, А. Ю. Свойства топливных зол различных типов как компонентов битумной эмульсии / А. Ю. Марков [и др.] // Строительные материалы и технологии. – 2020. – № 2 (88). – С. 67–76.

12. Рябов, Ю. В. Анализ обогащения золошлаковых отходов угольных ТЭС и пути их вовлечения в хозяйственный оборот (обзор) / Ю. В. Рябов [и др.] // Теплоэнергетика. – 2019. – № 3. – С. 3–24.

13. ООО «ПСО «Теплит» : официальный сайт. – URL: <https://twinblock.ru/o-kompanii> (дата обращения: 03.05.2024) – Текст : электронный.

14. Саньков, П. А. Переработка золошлаковых материалов – веление времени / П. А. Саньков, И. А. Ганиева, Д. П. Гладко-чуб, С. П. Прокопьев // Глобус. – 2024. – № 1 (80). – 97–99. [сайт]. – URL: <https://www.vnedra.ru/wp-content/uploads/2024/03/globus80.pdf>(дата обращения: 03.07.2024). –Текст : электронный.

15. Сибирская генерирующая компания СГК : официальный сайт. – URL: <https://sibgenco.online/news/element/silos-vyros-na-kemerovskoy-gres-smontirovali-bashnyu-dlya-zoly/> (дата обращения: 03.07.2024). –Текст : электронный.

16. Беднягин, С. В. Проектирование бетоносмесительных предприятий по производству бетонных и железобетонных изделий и конструкций : учеб. пособие / С. В. Беднягин, Е. С. Герасимова ; под общ. ред. доц. С. В. Беднягина ; Мин-во науки и высшего образования РФ. – Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2019. – 100 с. ISBN 978-5-7996-2781-2

17. Сытник, Н. А. Управление обращением с отходами : учебник / Н. А. Сытник. – Керчь : КГМТУ, 2022. – 132 с. – Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/261632> (дата обращения: 09.01.2024). – Режим доступа: для авториз. пользователей.

18. Фаюстов, А. А. Утилизация промышленных отходов и ресурсосбережение : основы, концепции, методы / А. А. Фаюстов. – Москва ; Вологда : Инфра-Инженерия, 2019. – 273 с. : ил., табл., схем. – Режим доступа: по подписке. – URL: <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=564853> (дата обращения: 28.06.2023). – Библиогр.: с. 165–174. – ISBN 978-5-9729-0369-6. – Текст : электронный.

19. Клинков, А. С. Технология переработки полимеров. инженерная оптимизация оборудования: учебное пособие для вузов / А. С. Клинков, М. А. Шерышев, М. В. Соколов, В. Г. Однолько. – 2-е изд., испр. и доп. – Москва : Юрайт, 2023. – 386 с. – ISBN 978-5-534-04990-9. – URL: <https://urait.ru/book/tehnologiyapererabotki-polimerov-inzhenernaya-optimizaciya-oborudovaniya-515324> (дата обращения: 10.05.2023). Текст : электронный.

20. Шерышев, М. А. Технология переработки полимеров: математическое описание процессов: учеб. пособие для вузов / М. А. Шерышев. – 2-е изд., испр. и доп. – Москва : Юрайт, 2023. – 145 с. – ISBN 978-5-534-10119-5. – URL: <https://urait.ru/book/tehnologiya-pererabotki-polimerov-matematicheskoe-opisanieprocessov-514887> (дата обращения: 10.05.2023). – Текст : электронный.

ПРИЛОЖЕНИЕ I

Таблица I.I

Фракционный состав золы уноса некоторых топлив, %

Месторождение, бассейн	Марка топлива	Тип мельницы	Размер частиц,* мкм								
			0–5/2,5	5–10/7,5	10– 20/15	20– 30/25	30– 40/35	40– 60/50	60– 80/70	80– 100/90	>1000
Донецкий	АШ	ШБМ	8	9	14	11	11	20	17	5	5
Донецкий	Т	ШБМ	12	20	31	11	7	8	6	2	3
Кузнецкий	Т	ШБМ	12	19	31	9	6	10	5	3	5
Кемеровское	Т	ШБМ	8	13	22	17	10	14	8	3	5
Экибастузский	СС	ШБМ	6	9	46	21	8,3	6,7	–	–	–
Экибастузский	СС	ШБМ	9,5	15,5	20	11	7,5	9,5	–	–	–
Челябинский	Б	ШБМ	6,5	11,5	20	16	9	8	16	4	9
Подмосковный	Б		24	21	16,5	10,2	8,5	9	6,5	1,8	2,5
Подмосковный	Б	ШБМ	11	18	22	14	18	12	8,1	2,1	2
2Подмосковный	Б	ММТ	5	15	23	16,5	10	12,5	4	4	10
Канско-Ачинский	Б	ММТ	4	8	22	19	10	19	8	3	7
Фрезерный торф	–	ММТ	12	11	11	10	9	13	9	3	22

*в числителе – предельные значения, в знаменателе – средний размер

Качественные показатели золы-уноса по ГОСТ 25818-91

Наименование показателя	Вид сжигаемого угля	Значение показателя в зависимости от вида золы			
		I	II	III	IV
1. Содержание оксида кальция (CaO), % по массе:					
для кислой золы, не более	Любой	10	10	10	10
для основной золы, св.	Бурый	10	10	10	10
в том числе:					
свободного оксида кальция (CaO _{св}), не более:					
для кислой золы	Любой	Не нормируется			
для основной золы	Бурый	5	5	Не нормируется	2
2. Содержание оксида магния (MgO), % по массе, не более	Любой	5	5	Не нормируется	5
3. Содержание сернистых и сернокислых соединений в пересчете на SO ₃ , % по массе, не более:					
для кислой золы	Любой	3	5	3	3
для основной золы	Бурый	5	5	6	3
4. Содержание щелочных оксидов в пересчете на Na ₂ O, % по массе, не более:					
для кислой золы	Любой	3	3	3	3
для основной золы	Бурый	1,5	1,5	3,5	1,5
5. Потеря массы при прокаливании (п.п.п.), % по массе, не более:					
для кислой золы	Антрацитовый	20	25	10	10
	Каменный	10	15	7	5
	Бурый	3	5	5	2
для основной золы	Бурый	3	5	3	3
6. Удельная поверхность, м ² /кг, не менее:					
для кислой золы	Любой	250	150	250	300

Наименование показателя	Вид сжигаемого угля	Значение показателя в зависимости от вида золы			
		I	II	III	IV
для основной золы	Бурый	250	200	150	300
7. Остаток на сите № 008, % по массе, не более:					
для кислой золы	Любой	20	30	20	15
для основной золы	Бурый	20	20	30	15

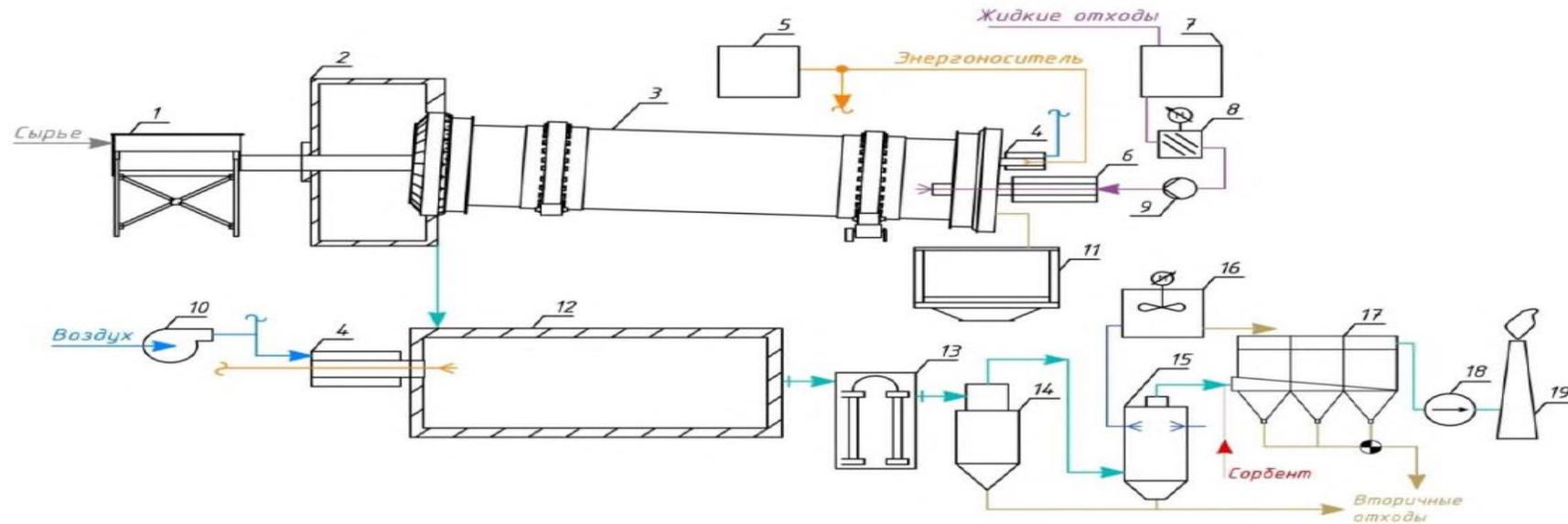
Примечания:

1. Допускается в основных золах содержание свободного оксида кальция $\text{CaO}_{\text{св}}$ и оксида магния MgO выше указанного в таблице, если обеспечивается равномерность изменения объема образцов при испытании их в автоклаве или применение этих зол обосновано специальными исследованиями бетона по долговечности с учетом конкретных условий эксплуатации.

2. Допускается в золах содержание сернистых и сернокислых соединений и потеря массы при прокаливании выше указанных в таблице, если применение этих зол обосновано специальными исследованиями по долговечности бетонов и коррозионной стойкости арматуры.

3. Допускается в золах I–III видов больший остаток на сите № 008 и меньшая величина удельной поверхности, чем указано в таблице, если при применении этих зол обеспечиваются заданные показатели качества бетона.

Принципиальная технологическая схема сжигания отходов во вращающейся барабанной печи [10]

Экспликация оборудования

Номер на схеме	Наименование	Количество
1	Блок загрузки сырья	1
2	Приемная камера	1
3	Вращающаяся печь	1
4	Блок горелок	2
5	Емкость хранения энергоносителя	1
6	Жидкошламовая форсунка	1
7	Буферная емкость жидких отходов	1
8	Мацератор	1
9	Подводящий насос	1

Экспликация оборудования

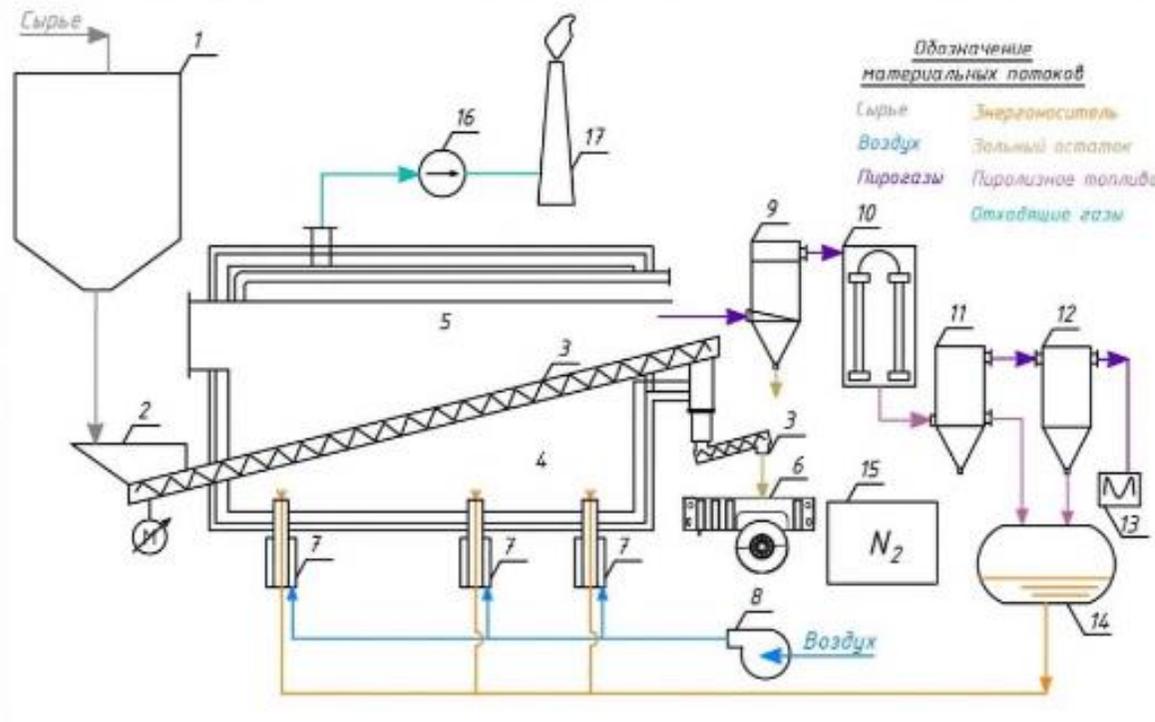
10	Вентилятор	1
11	Золосборник	1
12	Блок дожига	1
13	Блок теплоиспользования	1
14	Блок пылеосаждения	1
15	Блок очистки кислых газов	1
16	Блок очистки и подготовки раствора	1
17	Блок тонкой очистки	1
18	Дымосос	1
19	Дымовая труба	1

Обозначение материальных потоков

Жидкие отходы
 Сырье
 Энергоноситель
 Воздух
 Отходящие газы
 Абсорбционный раствор
 Вторичные отходы
 Активированный уголь

ПРИЛОЖЕНИЕ III

Технологическая схема пиролиза с получением печного топлива [10].



ПРИЛОЖЕНИЕ IV

Основные нормативные документы и методические рекомендации по применению зол и золошлаковых материалов в дорожном строительстве

- СНиП 2.05.02–85. Автомобильные дороги. Госстрой СССР 1986.
- СНиП 3.06.03–85. Автомобильные дороги. Госстрой России 2000 г.
- ГОСТ 25818–91. Золоуносы тепловых электростанций для бетонов. Технические условия.
- ГОСТ 25592–91. Смеси золошлаковые тепловых электростанций для бетонов. Технические условия.
- ГОСТ 23558–94. Смеси щебеночно-гравийно-песчаные и грунты, обработанные неорганическими вяжущими материалами, для дорожного и аэродромного строительства. Технические условия.
- ГОСТ 30491–97. Смеси органоминеральные и грунты, скрепленные органическими вяжущими, для дорожного и аэродромного строительства. Технические условия.
- ГОСТ 26644–85. Щебень и песок из шлаков тепловых электростанций для бетона. Технические условия.
- ГОСТ 25100–2020. Грунты. Классификация.
- ГОСТ 9128–13. Смеси асфальтобетонные дорожные, аэродромные и асфальтобетон.

Методы контроля золы для производства строительных материалов

1. ГОСТ 34–70–542–2001. Зола унос тепловых электростанций. Нормативные характеристики.
2. Химический анализ зол проводят по ГОСТ 8269.1, влажность определяют по ГОСТ 8269.1.
3. Содержание свободного оксида кальция ($\text{CaO}_{\text{св}}$) определяют по ГОСТ 23227.
4. Потерю массы при прокаливании определяют по ГОСТ 11022.
5. Остаток на сите № 008 и удельную поверхность определяют по ГОСТ 310.2.

6. Равномерность изменения объема смеси цемента с золой определяют по ГОСТ 310.3 методом кипячения, при этом золу смешивают с портландцементом в соотношении 1:1 до получения теста нормальной густоты.

7. Равномерность изменения объема смеси цемента с золой, содержащей свободный оксид кальция ($\text{CaO}_{\text{св}}$) и оксид магния (MgO), а также с основной золой III (см. таблицу I.П) вида определяют по ГОСТ 310.3 в автоклаве.

8. Удельную активность естественных радионуклидов, содержащихся в золе, определяют гамма-спектрометрическим методом по ГОСТ 30108.

Схема сбора сухой золы уноса на Кемеровской ГРЭС [15]

