

РОСЖЕЛДОР

**Государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Ростовский государственный университет путей сообщения»
(РГУПС)**

В.М. Гарин, А.Г. Хвостиков

**УТИЛИЗАЦИЯ ТВЕРДЫХ ОТХОДОВ
В НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТАХ И НА ПРОИЗВОДСТВЕ**

Учебное пособие

**Ростов-на-Дону
2010**

УДК 628.46/47/49 + 06

Гарин, В.М.

Утилизация твердых отходов в населенных пунктах и на производстве: учеб. пособие / В.М. Гарин, А.Г. Хвостиков ; Рост. гос. ун-т путей сообщения. – Ростов н/Д, 2010. – 118 с. : ил. Библиогр. : 18 назв.

Рассматриваются основные методы утилизации и переработки твердых отходов. В пособии описаны конструкции оборудования по переработки, утилизации и обезвреживанию твердых бытовых и промышленных отходов.

Изложены принципы действия важнейших аппаратов по переработки отходов.

Пособие предназначено для студентов специальности «Инженерная защита окружающей среды».

Рецензенты: д-р техн. наук, проф. Д.М. Кузнецов (ДГТУ)

д-р техн. наук, проф. А.И. Костоглов (РГУПС);

© Ростовский государственный университет
путей сообщения, 2010

ОГЛАВЛЕНИЕ

1 Общие сведения и характеристика твердых отходов	5
1.1 Накопление отходов	5
1.2 Опасные свойства отходов	10
1.3 Классы опасности отходов	14
2 Захоронение твердых отходов на полигонах	18
2.1 Полигоны для захоронения бытовых отходов	18
2.2 Полигон для захоронения промышленных отходов	26
2.3 Устройство полигона для переработки и захоронения промышлен-	
ных отходов «Красный Бор»	39
3 Термические методы обезвреживания и переработки отходов	43
3.1 Жидкофазное окисление	43
3.2 Гетерогенный катализ	44
3.3 Газификация отходов	47
3.4 Пиролиз отходов	49
3.5 Плазменный метод	52
3.6 Огневой метод	54
4 Утилизация отходов извлечением компонентов пригодных к повторному	
использованию	72
4.1 Классификация и сортировка твердых материалов	73
4.2 Машины и аппараты для обогащения твердых материалов	77
4.3 Биотермические методы переработки органической части ТБО	91
4.4 Мусороперерабатывающие заводы, использующие технологию	
биотермического компостирования ТБО	94
4.5 Переработка твердых отходов полимерных материалов	105
4.6 Переработка твердых отходов стекольных и керамических произ-	
водств	110
Библиографический список	114

ВВЕДЕНИЕ

Одним из приоритетных направлений обращения с отходами, согласно Федеральному закону «Об отходах производства и потребления», наряду с мерами по безопасному их обращению, является повторное вовлечение отходов в промышленное производство. Проблемы утилизации входят также в число приоритетных проблем Федерального закона «О техническом регулировании», который был принят в декабре 2002 г [1].

На данный момент практически отсутствуют требования, направленные на вовлечение отходов в промышленное производство или оценки их сырьевых и ресурсных качеств. Первые основополагающие стандарты в этой сфере стали появляться в 2001 г.

В последнее десятилетие в промышленно развитых странах происходил переход от концепции безопасного обращения с отходами, условно называемой «контроль на трубе», к концепции «промышленного метаболизма», которая базируется на оценке экономической эффективности мер, применяемых для защиты окружающей среды не на отдельных стадиях производства и потребления продукции (что в отношении отходов и означает так называемый «контроль на трубе»), а в комплексе, начиная от добычи полезных ископаемых, необходимых для производства определенного вида продукции, и заканчивая ее ликвидацией после истечения срока эксплуатации [2].

В рамках этой концепции было показано, что наиболее экономически эффективным способом обращения с отходами является именно повторное вовлечение их в промышленное производство. Таким образом, из концепции «промышленного метаболизма» следует, что если даже в силу рыночных условий переработка конкретных отходов в товарную продукцию представляется экономически неэффективной, то учет всех затрат общества на оздоровление экологической обстановки, начиная от добычи полезных ископаемых, в подавляющем числе случаев меняет эту ситуацию на противоположную.

При расчете экономической эффективности утилизации отходов необходимо учитывать социальные аспекты включающие:

- оценку воздействия объектов и отходов и их ликвидации на здоровье людей и окружающую среду;
- создание современной инфраструктуры обращения с объектами и отходами, которая включает стандартизацию, паспортизацию, сертификацию, лицензирование, экспертизу, информационное и технологическое обеспечение, позволяющие проводить безопасное и ресурсосберегающее регулирование, включая ликвидацию отходов и объектов;
- создание в рамках такой инфраструктуры новых или дозагрузка мощностей действующих производств по ликвидации объектов и отходов.

Перечисленные мероприятия позволяют снизить негативное воздействие отходов на людей и окружающую среду, повысить занятость населения при выполнении работ и мероприятий, связанных с утилизацией отходов, а также обеспечить безопасность, ресурсосбережение и рост товарного и рыночного потенциалов регионов и страны в целом [2].

1 ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ И ХАРАКТЕРИСТИКА ТВЕРДЫХ ОТХОДОВ

1.1 Накопление отходов

Совершенствование системы управления отходами признается сегодня главной проблемой в области охраны окружающей среды. Основные шаги по решению этой проблемы были определены на Международной конференции по устойчивому развитию в Йоханнесбурге в сентябре 2002 г. Они предусматривают предотвращение и минимизацию образования отходов и максимальное повторное использование, вторичную переработку ресурсов; а также применение альтернативных экологически безопасных материалов. Эти мероприятия направлены на минимизацию неблагоприятного воздействия на окружающую среду и повышение эффективности использования ресурсов. При разработке стратегии устойчивого развития Европейская Комиссия особо подчеркнула, что необходимо разрушить связь между экономическим ростом, использованием ресурсов и образованием отходов. Высокие показатели экономического роста должны сопровождаться устойчивым использованием природных ресурсов и таким же устойчивым уровнем отходов.

В современных условиях технологические процессы промышленного производства неизбежно продуцируют чрезвычайно большое количество отходов, многие из которых являются опасными загрязнителями окружающей среды, объемы образования отходов от разных видов деятельности и их повторное использование представлено в таблицах 1.1, 1.2. Одним из главных направлений совершенствования промышленной технологии во всем мире является сейчас борьба с производственными потерями на всех этапах технологического процесса – борьба с потерями сырья, топлива, энергии, реагентов, полупродуктов, готовой продукции, побочных продуктов и так называемых отходов. Эти разработки малоотходной и даже безотходной («чистой») технологии представляют ценность в социальном и экономическом отношениях. Они, естественно, имеют очень большое санитарно-гигиеническое значение. Однако, поскольку совершенствование технологических процессов в указанных направлениях связано с большими трудностями, потребуется еще продолжительный период времени для существенного сокращения производственных отходов и поступления загрязнителей в окружающую среду. За это время, накапливающиеся на производственных и других территориях отходы могут интенсивно загрязнять почву, воздух и водоемы. Естественно, стремление взять в таких условиях под контроль процессы собирания и удаления промышленных отходов, организовать достижимые на данном этапе переработку и рациональное захоронение материалов, утилизация которых при сложившейся технологии не представляется возможной [2].

Обеспечение экологической безопасности городов затрагивает все стадии обращения с твердыми отходами: сбор, транспорт, обезвреживание и переработку. При рассмотрении всего комплекса проблем, связанных со сбором, транспортом, обезвреживанием и утилизацией отходов, в первую очередь ставится вопрос о составе и свойствах этого материала. Если для решения вопроса сбора и

транспорта отходов достаточно информации об их влажности и плотности, то при выборе метода и технологии обезвреживания и последующей утилизации необходимо получить полную информацию о морфологическом и элементном составе и свойствах ТБО, в том числе теплотехнических [4, 14].

Таблица 1.1

Образование отходов производства и потребления по видам экономической деятельности по Российской Федерации (млн. т.) [3]

	2005	2006	2007	2008	2009
Всего	2991,2	3519,41	3899,3	3876,9	3505,0
из них по видам экономической деятельности: сельское хозяйство, охота и лесное хозяйство	14,3	17,3	26,6	67,9	77,4
добыча полезных ископаемых	2506,2	2923,51	2785,2	3402,4	3066,5
в том числе: добыча топливно-энергетических полезных ископаемых	1498,6	1732,1	1636,3	2089,9	1984,9
добыча полезных ископаемых, кроме топливно-энергетических	1007,6	1191,4	1148,9	1312,5	1081,6
обрабатывающие производства	309,9	284,0	243,9	280,4	252,1
из них: производство пищевых продуктов, включая напитки, и табака	16,2	18,1	20,5	18,7	25,1
обработка древесины и производство изделий из дерева	4,4	5,4	6,0	4,8	5,0
целлюлозно-бумажное производство; издательская и полиграфическая деятельность	6,8	6,5	5,6	6,9	5,3
производство кокса и нефтепродуктов	3,0	2,5	1,9	1,5	1,5
химическое производство	46,4	44,7	46,1	27,0	20,6
производство прочих неметаллических минеральных продуктов	45,2	9,7	10,4	33,4	12,1
металлургическое производство и производство готовых металлических изделий	180,4	189,8	145,0	177,7	174,6
производство транспортных средств и оборудования	2,5	3,0	3,0	4,2	1,9
производство транспортных средств и оборудования	2,5	3,0	3,0	4,2	1,9
производство и распределение электроэнергии, газа и воды	71,2	73,5	70,8	68,7	65,3
строительство	17,0	17,8	62,8	15,1	24,7
транспорт и связь	4,3	4,0	7,5	5,7	5,3
предоставление прочих коммунальных, социальных и персональных услуг	2,9	3,1	4,3	4,7	5,4

**Использование и обезвреживание отходов производства и потребления
по видам экономической деятельности по Российской Федерации (млн. т.) [3]**

	2005	2006	2007	2008	2009
Всего	1262	13953	2257,4	1960,7	1661,4
из них по видам экономической деятельности: сельское хозяйство, охота и лесное хозяйство	10,9	13,4	19,2	18,8	24,0
добыча полезных ископаемых	1070,4	1144,5	1829,4	1723,6	1469,4
в том числе: добыча топливно-энергетических полезных ископаемых	833,1	918,9	1051,1	1320,3	1132,5
добыча полезных ископаемых, кроме топ- ливо-энергетических	237,3	225,6	778,3	403,3	336,9
обрабатывающие производства	124,3	123,5	85,4	121,4	121,5
из них: производство пищевых продуктов, включая напитки, и табака	2,6	2,7	4,3	3,8	11,4
обработка древесины и производство изделий из дерева	3,1	4,0	4,5	3,7	3,8
целлюлозно-бумажное производство; изда- тельская и полиграфическая деятельность	5,8	5,9	4,4	6,9	4,8
производство кокса и нефтепродуктов	1,0	0,7	1,1	0,9	0,9
химическое производство	14,4	13,9	13,4	4,7	2,8
производство прочих неметаллических ми- неральных продуктов	27,5	9,0	9,9	27,5	10,9
металлургическое производство и производ- ство готовых металлических изделий	65,4	81,5	39,8	67,0	79,8
производство транспортных средств и обо- рудования	0,9	0,8	1,5	2,0	0,7
производство и распределение электроэнер- гии, газа и воды	10,1	6,4	8,3	53,6	11,2
строительство	16,2	16,3	38,8	12,6	22,9
транспорт и связь	2,3	2,2	4,6	3,8	3,4
предоставление прочих коммунальных, соци- альных и персональных услуг	1,3	2,1	2,6	4,0	5,8

Последняя стадия жизненного цикла любого изделия связана с прекращени-
ем его эксплуатации и состоит в осуществлении процессов снятия с эксплуатации,
расконсервации и списания с передачей его на ликвидацию, начинающуюся с по-
явления отходов от объектов и завершающуюся соответствующими подэтапами
утилизации техногенных объектов или отходов либо захоронения (уничтожения),
когда последние не содержат утилизируемых составляющих [2].

Приведение изделия (объекта) в безопасное состояние включает в себя следующие организационно-технические мероприятия:

- отделение взрыво- и пожароопасных компонентов, включая пиросредства и т.д.;
- слив из систем, коммуникаций и емкостей горюче-смазочных материалов и специальных жидкостей;
- демонтаж аккумуляторов, топливных элементов и т.п.;
- нейтрализация систем самоликвидации объекта;
- извлечение узлов и деталей, содержащих опасные, в том числе токсичные, ядовитые физические, химические, биологические вещества;
- слив компонентов топлив и химическая их нейтрализация;
- выброс избыточного (газового) давления из емкости, магистралей.

Ликвидируемые отходы, преобразуемые во вторичное сырье, используют:

- по прямому назначению в аналогичных производствах (примеры: вторичные металлы, стеклобой, обрезь пластмасс, и др.);
- в качестве топлив, вторичных источников энергии;
- как добавки к первичному сырью или взамен первичного сырья (пример: регенерат из изношенных шин - добавка в шинном производстве взамен каучука);
- как сырье для использования в новом технологическом цикле (пример: активированные угли, отработавшие ресурс в производстве винилхлорида, могут быть использованы в технологии по очистке газа от ртути);
- как сырье с новыми техническими (физико-химическими) свойствами, отсутствующими у первичного сырья (примеры: зола мазутной теплоэлектростанции (ГЭС) – в ряде случаев высококонцентрированный сырьевой источник для извлечения ванадия, редких и редкоземельных металлов; химическая модификация вторичного полиэтилена низкой плотности позволяет получать огнестойкие, сорбционные, антикоррозионные материалы).

Аспекты безопасности при ликвидации отходов и/или объектов включают в себя обеспечение безопасности при проведении технологических операций обращения с ними (операции по обезвреживанию, в том числе нейтрализацию, дезактивацию, дезинфекцию, демеркуризацию, разложение, уничтожение и др.).

Обезвреживание опасных объектов и отходов ставит целью разработку и реализацию таких организационно-технических мероприятий и технологических процессов, которые обеспечивают исключение всех видов опасности для людей и окружающей среды или снижение ее уровня до допустимого значения с возможным использованием опасных объектов и отходов в технологических процессах получения полезных продуктов.

Дезинфекция опасных объектов и отходов является одним из видов обезвреживания и заключается в уничтожении или ослаблении действия вредных микроорганизмов, содержащихся в отходе (объекте), и осуществляется путем соответствующей их физической и/или химической обработки.

Разложение отходов представляет собой их деструкцию и связано с выполнением биохимических, биологических, физико-химических и термических

операций над ними, приводящих к возможности обезвреживания их опасных компонентов и утилизации.

Только в пяти самых крупных городах ЮФО (Волгоград, Волжский, Новороссийск, Новочеркасск, Ростов-на-Дону) образовалось отходов производства и потребления 14,0 млн. т. [5]

Более 40% количества отходов производства и потребления, образовавшихся на территории ЮФО в 2004 г., приходится на Краснодарский край (в первую очередь, отходы многочисленных сахарных заводов), еще более трети — на две области: Ростовскую (угольная промышленность и энергетика) и Волгоградскую (химическая и металлургическая отрасли) (рис. 1.1) [5].

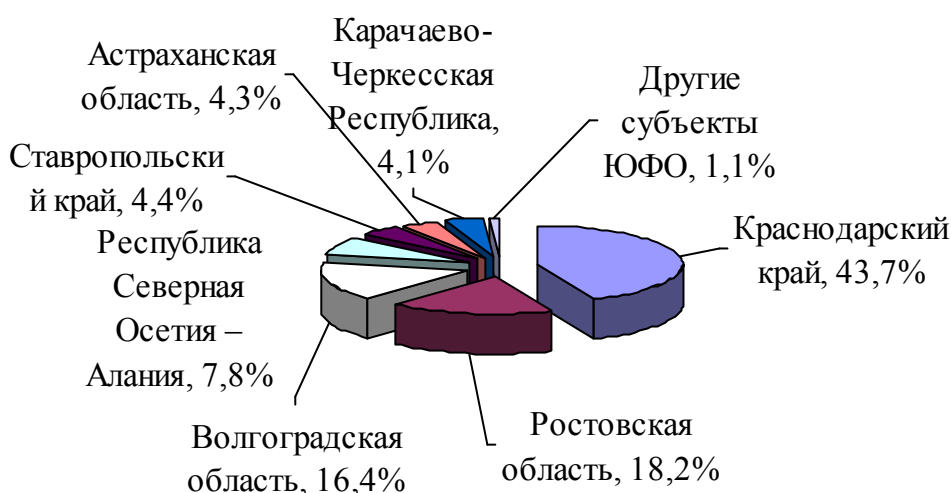


Рис 1.1 Доля субъектов РФ в суммарном объеме образования отходов производства и потребления Южного федерального округа

В Ростовской области на начало 2006 года, накопилось 244,88 млн. т, в течение года образовалось 2,55 млн. т, использовано и обезврежено 0,42 млн. т. Размещено на объектах хранения и захоронения 3,72 млн. т. Степень использования и обезвреживания отходов всех классов опасности, от общего количества образовавшихся за год — 16 % [5].

Самыми крупные источники образования отходов в Ростовской области являются:

- ОАО «Гуковуголь», г. Гуково (744,7 тыс. т);
- ОАО «Новочеркасская ГРЭС», г. Новочеркасск (571,8 тыс. т);
- ОАО «Шахтоуправление «Обуховская», г. Зверево (428,2 тыс. т);
- ОАО «Потаповский карьер» (ОАО «Поток»), хутор Верхнепотапов (125,4 тыс. т);
- ОАО «НЭЗ», г. Новочеркасск (114,5 тыс. т);
- ОАО «Таганрогский металлургический завод», г. Таганрог (89,1 тыс. т) [5]

Только от муниципальных объектов и жителей г. Ростова-на-Дону в 2008 году на полигон было вывезено 540139,4 тонны твердых отходов согласно приложения 2 [18]. Состав отходов представлен в таблице 1.3 [18].

Таблица 1.3.

Качественный и количественный (%) состав бытовых отходов
в г. Ростове-на-Дону

Компоненты	1991 год, Северная свалка	1997 год, полигон ТОПП в СЗПЗ
Гниющие материалы	45,3	45,9
Бумага	22,1	24,4
Картон	Не опр.	0,9
Пластик	4,3	11,6
Текстиль	4,4	2,3
Стекло коричневое	Не опр.	0,1
Стекло зеленое	Не опр.	2,4
Стекло бесцветное	Не опр.	3,3
Все стекло	3,8	5,8
Железо	Не опр.	2,0
Медь	Не опр.	0,1
Алюминий	Не опр.	0,1
Металл всего	3,2	2,2
Дерево	3,0	0,4
Кости	2,3	Не опр.
Камни	1,7	Не опр.
Кожа и резина	0,9	1,0
Мелкий мусор	9,0	5,2
Дренажные жидкости	Не опр.	0,3

1.2 Опасные свойства отходов

Федеральным законом РФ «Об отходах производства и потребления» [1] опасные отходы определены как отходы, которые содержат вредные вещества, обладают опасными свойствами (токсичностью, взрывоопасностью, пожароопасностью, высокой реакционной способностью) или содержат возбудителей инфекционных болезней, либо которые могут представлять непосредственную или потенциальную опасность для окружающей природной среды и здоровья человека самостоятельно или при вступлении в контакт с другими веществами. Это определение закреплено в ГОСТ 30772 — 2001 «Ресурсосбережение. Обращение с отходами. Термины и определения» [4].

Опасные свойства отхода устанавливаются в соответствии с требованиями приложения III к Базельской конвенции о контроле за трансграничной перевозкой опасных отходов и их удалением, ратифицированной Федеральным законом от 25 ноября 1994 года № 49-ФЗ «О ратификации Базельской конвенции о контроле за трансграничной перевозкой опасных отходов и их удалением» и вступившей в силу для Российской Федерации с 1 мая 1995 года.

Токсичность определяется как способность вызвать серьезные, затяжные или хронические заболевания людей, включая раковые заболевания, при попадании внутрь организма через органы дыхания, пищеварения или через кожу.

Под токсичностью, по Н.Ф. Реймерсу, понимается ядовитость, способность некоторых химических элементов, соединений и биогенных веществ оказывать вредное действие на организмы (человека, животных, растения, грибы, микроорганизмы). Токсичность отходов определить значительно сложнее, чем воздуха или воды, поскольку отходы действуют на организмы, как правило, опосредствованно - через почву. Основным параметр, определяющий вредность того или иного химического вещества в почве, — предельно допустимая концентрация его в почве (ПДК_п). Под этим понимается такое максимальное количество данного вещества в миллиграммах на килограмм пахотного слоя сухой почвы, которое гарантирует отсутствие прямого или опосредованного отрицательного воздействия на здоровье человека, его потомство и санитарные условия жизни населения. При установлении ПДК, создаются экстремальные почвенно-климатические условия, способствующие действию вредного вещества; учитывается действие этого вещества на другие живые организмы, эффект суммарного воздействия. При обосновании величины ПДК_п учитываются шесть лимитирующих показателей (признаков) вредности: органолептический (изменение запаха, привкуса, пищевой ценности, фитотест растений и т. п.); общесанитарный (влияние на самоочищение почвы); фито-аккумуляционный (передающееся растениям количество); водно-миграционный, воздушно-миграционный; санитарно-токсикологический. Если же для данного вредного вещества не установлена величина ПДК_п (имеется ориентировочно безопасный уровень воздействия (ОБУВ) или другие приближенные оценочные критерии), то расчёты ведут по концентрации компонентов, вызывающей летальный исход у 50 % теплокровных особей т. е. по величине ЛД. Величины ЛД берутся на основании специальных опытов, по данным НИИ коммунальной и бытовой гигиены АН РФ [4].

Пожароопасность определяется по соответствующим ГОСТ, устанавливающим требования по пожарной безопасности и (или) наличием хотя бы одного из следующих свойств:

- способностью жидких отходов выделять огнеопасные пары при температуре не выше 60 °С в закрытом сосуде или не выше 65,5 °С в открытом сосуде;
- способностью твердых отходов, кроме классифицированных как взрывоопасные, легко загораться либо вызывать или усиливать пожар при трении;
- способностью отходов самопроизвольно нагреваться при нормальных условиях или нагреваться при соприкосновении с воздухом, а затем самовозгораться;
- способностью отходов самовозгораться при взаимодействии с водой или выделять легковоспламеняющиеся газы в опасных количествах.

Взрывоопасность определяется как способность твердых или жидких отходов (либо смеси отходов) к химической реакции с выделением газов таких температуры и давления и с такой скоростью, что вызывает повреждение окружающих предметов, либо по соответствующим ГОСТ, устанавливающим требования по взрывоопасности.

Высокая реакционная способность определяется как содержание органических веществ (органических пероксидов), которые имеют двухвалентную структуру - О - О - и могут рассматриваться в качестве производных перекиси водорода, в котором один или оба атома водорода замещены органическими радикалами.

Содержание возбудителей инфекционных болезней определяется как наличие живых микроорганизмов или их токсинов, способных вызвать заболевания у людей или животных.

Помимо токсичности и токсичных веществ в Базельской конвенции по перемещению опасных отходов [3] введено определение **экоотоксичных веществ (отходов)** как веществ или отходов, которые при попадании в окружающую среду оказывают или могут оказать немедленное или отложенное во времени неблагоприятное воздействие на окружающую среду посредством биоаккумуляции и (или) токсического влияния на биотические системы.

Экоотоксичность зависит не только от токсичности компонентов отхода, но и от степени их подвижности в окружающей среде.

Основным механизмом попадания компонентов отхода в окружающую среду является испарение летучих компонентов и выщелачивание их водой. Возможно также загрязнение почв, но оно скорее всего будет происходить через предварительное растворение в водной среде. Таким образом, любой тест на экоотоксичность должен включать выщелачивание.

В странах ЕС и США приняты разные подходы в определении экоотоксичности, однако все эти подходы сводятся к проведению выщелачивания отходов (т.е. извлечения подвижных компонентов) и последующего сравнения полученных данных с принятыми нормами (в США) или прямого исследования этого раствора на биологических объектах - рыбах, беспозвоночных и водорослях (в странах ЕС).

Конечно, при таком подходе вряд ли можно учесть более сложное воздействие отходов на другие биологические системы и организмы. Но следует принять во внимание, что основное воздействие складированных отходов приходится на водные системы, а низшие водные организмы находятся на первых звеньях пищевых цепей. Следовательно, определив влияние отходов на низшие водные организмы, мы определим их влияние и на высшие организмы, и экосистему в целом.

Единственным смоделированным в лабораторных условиях путем попадания веществ в окружающую среду является выщелачивание отходов водой. В большинстве случаев в результате лабораторных исследований можно получить качественную информацию и определить выщелачивающиеся вещества. Выбор метода выщелачивания и состав раствора для выщелачивания в любом случае будет имитировать реальную ситуацию достаточно грубо. В качестве компромиссного варианта в большинстве методов исследования используется вода с водородным показателем pH равным 7 или 5,6 (уравновешенная с атмосферным CO₂). Вода берется в соотношении 10:1 к массе отхода [4].

Существуют два различных подхода к определению экоотоксичности полученного экстракта выщелачивания. Экстракт либо подвергается химическому анализу для определения наличия и количества токсичных компонентов, либо исследуется на биологических тест-объектах. В первом случае требуется установить перечень токсичных веществ и их концентрации в экстракте выщелачивания. Во втором случае не требуется идентификации компонентов, так как биоисследование с использованием водных организмов обеспечивает простой

путь оценки экстракта выщелачивания на токсичность для окружающей среды даже в случае неизвестных или непредвиденных токсинов.

В качестве тест-объектов используются дафнии и одноклеточные водоросли. Применение в качестве тест-объектов позвоночных (рыб) ограничено как по этическим причинам (директивы ЕС, ограничивающие применение позвоночных животных при научных исследованиях), так и из-за высоких расходов на их содержание.

Представляется целесообразным совместное использование двух подходов определения экотоксичности экстракта выщелачивания, так как химический анализ в сочетании с биологическим даст полную картину состава экстракта и причин его воздействия на биологические объекты [4].

В качестве критерия токсичности экстракта выщелачивания применяются ПДК для водоемов рыбохозяйственного значения. Помимо этого критерия в РФ в соответствии с Приказом МПР РФ № 511 от 15.06.01 введено еще 18 первичных показателей опасности компонентов отхода, которые рассматриваются ниже и приведенных в таблице 1.4 [6]

Таблица 1.4

Перечень первичных показателей опасности компонентов отхода

ПДК _п (мг/кг)	предельно-допустимая концентрация вещества в почве
ОДК	ориентировочно-допустимая концентрация
ПДК _{пп}	предельно-допустимая концентрация вещества в продуктах питания
ПДК _в (мг/л)	предельно- допустимая концентрация вещества в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования
ОДУ	ориентировочно-допустимый уровень
ОБУВ	ориентировочный безопасный уровень воздействия
ПДК _{р.х.} (мг/л)	предельно-допустимая концентрация вещества в воде водных объектов рыбохозяйственного назначения
ПДК _{с.с.} (мг/м ³)	предельно-допустимая концентрация вещества среднесуточная в атмосферном воздухе населенных мест
ПДК _{м.р.} (мг/м ³)	предельно-допустимая концентрация вещества максимально разовая в воздухе населенных мест
ПДК _{р.з.} (мг/м ³)	предельно-допустимая концентрация вещества в воздухе рабочей зоны
МДС	максимально допустимое содержание
МДУ	максимально допустимый уровень
S (мг/л)	растворимость компонента отхода (вещества) в воде при 20°C
C _{нас} (мг/м ³)	насыщающая концентрация вещества в воздухе при 20 °С и нормальном давлении
K _{ow}	коэффициент распределения в системе октанол/вода при 20 °С
LD50 (мг/кг)	средняя смертельная доза компонента в миллиграммах действующего вещества на 1 кг живого веса, вызывающая гибель 50% подопытных животных при однократном пероральном введении в унифицированных условиях
LD ^{кожи} 50(мг/кг)	средняя смертельная доза компонента в (мг/кг) миллиграммах действующего вещества на 1 кг живого веса, вызывающая гибель 50% подопытных животных при однократном нанесении на кожу в унифицированных условиях
LC50 (мг/м ³)	средняя смертельная концентрация вещества вызывающая гибель 50% подопытных животных при ингаляционном поступлении в унифицированных условиях
БД	биологическая диссимиляция

К особым видам отходов относятся отходы медицинских учреждений. Они представляют инфекционную опасность для пациентов, обслуживающего персонала лечебно-профилактических учреждений и окружающей среды. Такие отходы отличаются большим разнообразием морфологического состава. Кроме того, для сохранения в контейнере культуры, которая может вызвать заболевание, требуются ничтожно малые количества органического материала, а культура может сохраняться и на медицинском инструменте. Легкомысленное выбрасывание использованных ножниц в мусорные корзины приводило часто к заражению санитаров, когда они руками очищали контейнер.

Болезнетворные бактерии присутствуют в очень больших концентрациях в твердых отходах больниц. Доказано, что наибольшее число коли-формов встречается в отходах педиатрического и психиатрического отделений, а также отделения интенсивной терапии. Особенно важно использование закрытых пластмассовых мешков, а для удаления наименьших твердых частиц, которые могут проникать в дыхательные пути, необходима система вентиляции и очистки воздуха.

Как правило, потенциальная опасность отходов, а также метод обращения с ними приводятся для целого класса или группы отходов; возможны исключения или особые условия, которые выявляются при более конкретном определении вида отходов. Такая более высокая степень определения необходима, когда природа химических веществ сложна или какая-либо часть отходов имеет газообразную или жидкую форму.

1.3 Классы опасности отходов

1.3.1 Факторы, учитываемые при определении класса опасности отходов для окружающей среды, достаточно разнообразны. Ранее (до 2001 года) эти факторы оценивались по коэффициенту токсичности, который из всех параметров, перечисленных в приложении 1 учитывал лишь предельно допустимую концентрацию в почве ПДК_п, растворимость S и концентрацию вещества в отходах C . Коэффициентом токсичности определялась и степень опасности отходов. При этом, чем меньше был коэффициент токсичности, тем опаснее считалось вещество.

Класс опасности отходов устанавливается по степени возможного вредного воздействия на окружающую среду (ОС) при непосредственном или опосредованном воздействии опасного отхода на нее — табл. 1.5 [4, 6].

При этом сохранены пять классов опасности — от I (чрезвычайно опасные) до IV (малоопасные) и V (практически не опасные). Но способы отнесения к тому или иному классу изменились.

Для 640 наиболее распространенных наименований отходов класс опасности установлен Федеральным классификационным каталогом отходов (ФККО) (Приказ МПР РФ от 30.07.03 № 663 «О внесении дополнений в ФККО», утвержденный Приказом МПР РФ от 02.12.02 № 786 «Об утверждении ФККО»).

Установление класса опасности отходов, не вошедших в ФККО, может осуществляться расчетным или экспериментальными методами в соответствии с Критериями [6].

В случае отнесения производителями отходов отхода расчетным методом к 5-му классу опасности, необходимо его подтверждение экспериментальным методом. При отсутствии подтверждения 5-го класса опасности экспериментальным методом отход может быть отнесен к 4-му классу опасности.

Таблица 1.5

Критерии отнесения опасных отходов к классу опасности для окружающей природной среды

Степень вредного воздействия опасных отходов на ОС	Критерии отнесения опасных отходов к классу опасности для ОС	Класс опасности отхода для ОС
Очень высокая	Экологическая система необратимо нарушена. Период восстановления отсутствует	I Класс. Чрезвычайно опасные
Высокая	Экологическая система сильно нарушена. Период восстановления не менее 30 лет после полного устранения источника вредного воздействия	II Класс. Высокоопасные
Средняя	Экологическая система нарушена. Период восстановления не менее 10 лет после снижения вредного воздействия от существующего источника	III Класс. Умеренно опасные
Низкая	Экологическая система нарушена. Период самовосстановления не менее 3-х лет	IV Класс. Малоопасные
Очень низкая	Экологическая система практически не нарушена	V Класс. Практически неопасные

1.3.2 *Отнесение опасных отходов к классу опасности для окружающей среды расчетным методом* осуществляется на основании показателя (K_{Σ}), характеризующего степень опасности отхода при его воздействии на ОПС, рассчитанного по сумме показателей опасности веществ (K_i), составляющих отход (далее компоненты отхода), для ОПС.

Перечень компонентов отхода и их количественное содержание устанавливаются по составу исходного сырья и технологическим процессам его переработки или по результатам количественного химического анализа.

Показатель степени опасности компонента отхода (K_i) рассчитывается как соотношение концентраций компонентов отхода (C_i) с коэффициентом его степени опасности для ОС (W_i); коэффициентом степени опасности компонента отхода для ОС является условный показатель, численно равный количеству компонента отхода, ниже значения которого он не оказывает негативного воздействия на ОС. Размерность коэффициента степени опасности для ОС условно принимается как мг/кг [6].

Для определения коэффициента степени опасности компонента отхода для ОС по каждому компоненту отхода устанавливаются степени их опасности для ОС для различных природных сред в соответствии с таблицей приложе-

ния 1. При анализе этой таблицы легко заметить, что в качестве первичных показателей опасности отхода учитываются практически все факторы влияния на ОС — через воду, воздух и пищевые продукты, а не только через почву. Кроме того, в перечень показателей, используемых для расчета W_i , включается показатель информационного обеспечения для учета недостатка информации по первичным показателям степени опасности компонентов отхода для ОС [6].

Показатель информационного обеспечения рассчитывается путем деления числа установленных показателей (n) на 12 ($N=12$ — количество наиболее значимых первичных показателей опасности компонентов отхода для ОС).

Баллы присваиваются следующим диапазонам изменения показателя информационного обеспечения:

Диапазоны изменения показателя информационного обеспечения (n / N)	БАЛЛ
$< 0,5$ ($n < 6$)	1
$0,5 — 0,7$ ($n = 6 - 8$)	2
$0,71 — 0,9$ ($n = 9 - 10$)	3
$> 0,9$ ($n > 11$)	4

По установленным степеням опасности компонентов отхода для ОПС в различных природных средах рассчитывается относительный параметр опасности компонента отхода для ОС (X_i) делением суммы баллов по всем параметрам на число этих параметров.

Коэффициент степени опасности отходов W_i рассчитывается по одной из следующих формул:

$$\begin{aligned} \lg W_i &= 4 - \frac{4}{Z_i} \text{ для } 1 \leq Z_i < 2, \\ \lg W_i &= Z_i \text{ для } 2 \leq Z_i < 4, \\ \lg W_i &= 2 + \frac{4}{6 - Z_i} \text{ для } 4 \leq Z_i \leq 5, \end{aligned}$$

где $Z_i = 4X_i/3 - 1/3$.

Коэффициенты (W_i) для наиболее распространенных компонентов опасных отходов приведены в Приложении к пособию. Заметим, что чем опаснее вещество, тем меньше коэффициент W_i . Так, для бенз(а)пирена W_i составляет 59,97 единиц, диоксинов (ПХДД) — 24,6; фуранов (ПХДФ) — 359, ртути — 10.

Показатель степени опасности (индекс токсичности) компонента отхода для ОПС K_i рассчитывается по формуле:

$$K_i = \frac{C_i}{W_i}, \quad (1.1)$$

где C_i — концентрация i -го компонента в опасном отходе (мг/кг отхода);

W_i — коэффициент степени опасности i -го компонента опасного отхода для ОС.

Общий индекс токсичности отхода K_Σ определяют по сумме индексов токсичности всех компонентов отходов.

$$K_{\Sigma} = K_1 + K_2 + \dots + K_n, \quad (1.2)$$

где K_{Σ} - показатель степени опасности отхода для ОПС, мг/кг;

$K_1, K_2, \dots K_n$ - показатели степени опасности отдельных компонентов отхода для ОС, мг/кг.

По значению K_{Σ} определяют класс токсичности отходов.

Компоненты отходов, состоящие из таких химических элементов как кислород, азот, углерод, фосфор, сера, кремний, алюминий, железо, натрий, калий, кальций, магний, титан в концентрациях, не превышающих их содержание в основных типах почв, относятся к практически неопасным компонентам со средним баллом (X_i), равным 4, и, следовательно, коэффициентом степени опасности для ОПС (W_i), равным 10^6 [6].

Компоненты отходов природного органического происхождения, состоящие из таких соединений как углеводы (клетчатка, крахмал и иное), белки, азотсодержащие органические соединения (аминокислоты, амиды и иное), то есть веществ, встречающихся в живой природе, относятся к классу практически неопасных компонентов со средним баллом (X_i) равным 4, и, следовательно, коэффициентом степени опасности для ОПС (W_i) равным 10^6 .

Для остальных компонентов отходов показатель степени опасности для ОПС рассчитывается по выше установленному порядку.

Отнесение отходов к классу опасности расчетным методом по показателю степени опасности отхода для ОС осуществляется в соответствии с таблицей 1.6.

Например, для ртути, как отхода, концентрация C составляет 10^6 мг в килограмме. Разделив на $W_i = 10$, получим $K_{pm} = 10^5$ мг/кг. Согласно таблице 3.4 ртуть относится к первому классу опасности [4].

Таблица 1.6

Отнесение отхода к классу опасности по степени опасности

Класс опасности отхода	Степень опасности отхода для ОС (K_{Σ})
I	$10^6 \geq K_{\Sigma} > 10^4$
II	$10^4 \geq K_{\Sigma} > 10^3$
III	$10^3 \geq K_{\Sigma} > 10^2$
IV	$10^2 \geq K_{\Sigma} > 10$
V	$K_{\Sigma} \leq 10$

2 ЗАХОРОНЕНИЕ ТВЕРДЫХ ОТХОДОВ НА ПОЛИГОНАХ

2.1 Полигоны для захоронения бытовых отходов

Наиболее распространенными в настоящее время сооружениями по обезвреживанию удаляемых из населенных пунктов твердых бытовых отходов (ТБО) являются полигоны.

Полигоны - комплексы природоохранных сооружений, предназначенные для складирования, изоляции и обезвреживания ТБО, обеспечивающие защиту от загрязнения атмосферы, почвы, поверхностных и грунтовых вод, препятствующие распространению грызунов, насекомых и болезнетворных микроорганизмов [7, 12].

Основными элементами полигона (рис. 2.1) являются: подъездная дорога, участок складирования ТБО, хозяйственная зона, инженерные сооружения и коммуникации [7].

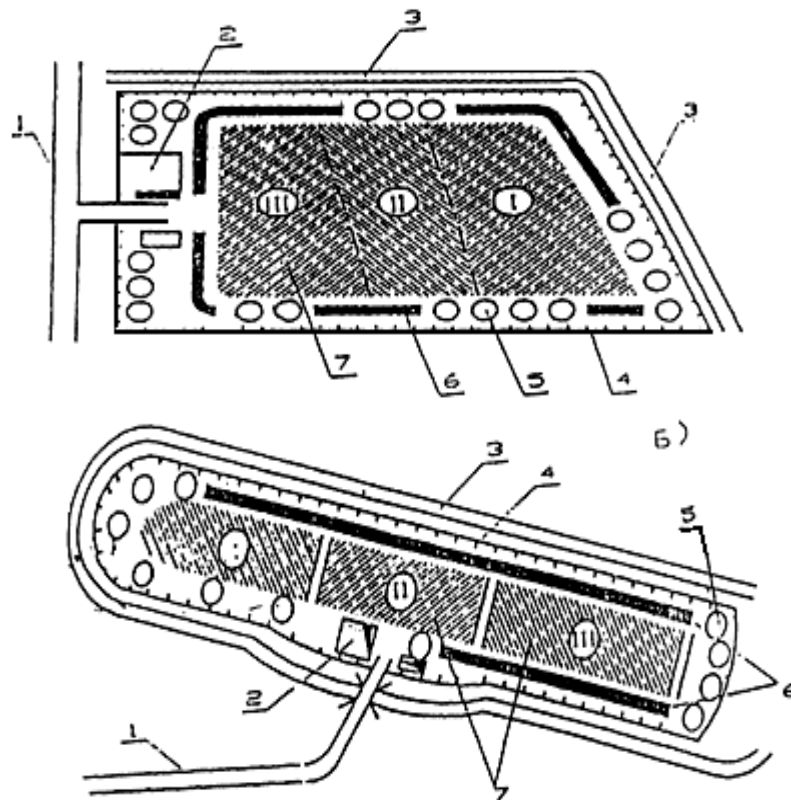


Рис. 2.1 Схема размещения основных сооружений полигона:

а — при соотношении длины и ширины полигона менее 1:2; б — то же, при соотношении более 1:3; 1 — подъездная дорога; 2 — хозяйственная зона; 3 — нагорная канава; 4 — забор; 5 — зеленая зона; 6 — грунт для изолирующих слоев; 7 — площадки складирования отходов I, II и III очереди эксплуатации

Подъездная дорога соединяет существующую транспортную магистраль с участком складирования ТБО. Подъездная дорога рассчитывается на двустороннее движение. Категория и основные параметры подъездной автодороги оп-

ределяются в соответствии с расчетной интенсивностью движения, автомобиль/сутки [7].

Основное сооружение полигона – участок складирования ТБО. Он занимает основную (до 95%) площадь полигона, в зависимости от объема принимаемых ТБО. Участок складирования разбивается на очереди эксплуатации с учетом обеспечения приема отходов в течение 3 — 5 лет, в составе первой очереди выделяется пусковой комплекс на первые 1 — 2 года. В первую, вторую и если позволяет площадь участка, в третью очередь складирования отходов ведется на высоту в 2 — 3 яруса (высота яруса принимается 2,0 — 2,5 м) [7].

Последующая очередь эксплуатации заключается в увеличении насыпи ТБО до проектируемой отметки. Разбивка участка складирования на очереди выполняется с учетом рельефа местности.

Участки складирования защищаются от стоков поверхностных вод с вышерасположенных земельных массивов. Для перехвата дождевых и паводковых вод по границе участка проектируется водоотводная канава.

На расстоянии 1 — 2 м от водоотводной канавы размещается ограждение вокруг полигона. По периметру на полосе шириной 5 — 8 м проектируется посадка деревьев, прокладываются инженерные коммуникации (водопровод, канализация), устанавливаются мачты электроосвещения; при отсутствии инженерных сооружений на этой полосе отсыпается кавальеры грунта для использования его на изоляцию ТБО [7].

Основание котлована имеет слой связанного грунта, к таким относятся глины в естественном состоянии с коэффициентом фильтрации воды не более 10^{-5} см/с (0,0086 м/сут.) и толщиной не менее 0,5 м [7].

Для грунтов, характеризующихся коэффициентом фильтрации более 10^{-5} см/с, необходимо предусматривать устройство искусственных непроницаемых экранов. Экраны могут быть выполнены из различных материалов.

Глиняный экран однослойный, толщиной не менее 0,5 м. Исходная глина ненарушенной структуры должна иметь коэффициент фильтрации не ниже 0,001 м/сут. Поверх экрана укладывается защитный слой из местного грунта толщиной 0,2 - 0,3 м [7].

Грунтобитумный экран, обработанный органическими вяжущими веществами или отходами нефтеперерабатывающей промышленности, толщиной от 0,2 м до 0,4 м, с одной стороны или двойной пропиткой битума, в зависимости от состава отходов и климатических условий.

Экран двухслойный из латекса. Экран состоит из планировочного подстилающего слоя толщиной 0,3 м, слоя латекса, промежуточного слоя из песчаного грунта 0,4 м, второго слоя латекса и защитного слоя из мелкозернистого грунта толщиной 0,5 м [7].

Экран из полиэтиленовой пленки, стабилизированной сажей, двухслойный. Двухслойный экран состоит из подстилающего слоя - песчаного грунта толщиной 0,2 м, двух слоев полиэтиленовой пленки, стабилизированной сажей, толщиной 0,2 мм. Между слоями пленок устраивается дренажный слой из крупнозернистого песка, толщиной 0,4 м. На верхний слой пленки укладывает-

ся защитный слой ($h = 0,5$ м) песчаного грунта с частицами максимальной крупности до 5 мм. Допускается применение однослойных искусственных экранов без дренажа фильтрата при благоприятных гидрогеологических условиях участка складирования: уровень грунтовых вод не менее 6 м от поверхности основания рабочих карт; наличие в основании карт суглинков с коэффициентом фильтрации не более 10^{-3} см/с и мощностью не менее 6 м [7].

Дренажный слой предусматривается для аварийных ситуаций и контроля выхода фильтрата.

При экономическом обосновании возможно создание искусственного противифльтрационного экрана из слоя глины с коэффициентом фильтрации 10^{-8} — 10^{-7} см/с толщиной 0,3 - 0,4 м.

Хозяйственная зона проектируется на пересечении подъездной дороги с границей полигона, что обеспечивает возможность эксплуатации зоны на любой стадии заполнения полигона ТБО. В хозяйственной зоне размещаются бытовые и производственные сооружения. На участках с конфигурацией, близкой к квадрату, зона проектируется у последней очереди складирования ТБО. На участках вытянутой формы зона размещается посередине длинной стороны. Хозяйственная зона занимает, в зависимости от количества принимаемых полигоном ТБО и специальных требований заказчика, площадь — 5 - 15% от всей площади [7].

2.1.1 Организация работ на полигоне заключается в осуществлении основных видов работ: прием, складирование и изоляция ТБО.

Учет принимаемых ТБО ведется по объему в неуплотненном состоянии. Отметка о принятом количестве ТБО делается в «Журнале приема твердых бытовых отходов».

Для захоронения на полигоне не принимаются отходы, пригодных к использованию на производстве в качестве вторичных ресурсов, а также токсичных, радиоактивных и биологически опасных отходов.

Организация работ на полигоне определяется технологической схемой эксплуатации полигона, разрабатываемой в составе проекта. Технологическая схема представляет собой генплан полигона, определяющий с учетом сезонов года последовательность выполнения работ, размещения площадей для складирования ТБО и разработки изолирующего грунта.

Основным документом планирования работ является график эксплуатации, составляемый на год. Планируется ежемесячно: количество принимаемых ТБО с указанием номера карт, на которые складировются отходы, разработка грунта для изоляции ТБО.

На полигоне организуется бесперебойная разгрузка мусоровозов. Прибывающие на полигон мусоровозы разгружаются у рабочей карты. Площадка разгрузки мусоровозов перед рабочей картой разбивается на два участка (рис. 2.2). На одном участке разгружаются мусоровозы, на другом работают бульдозеры или катки-уплотнители.

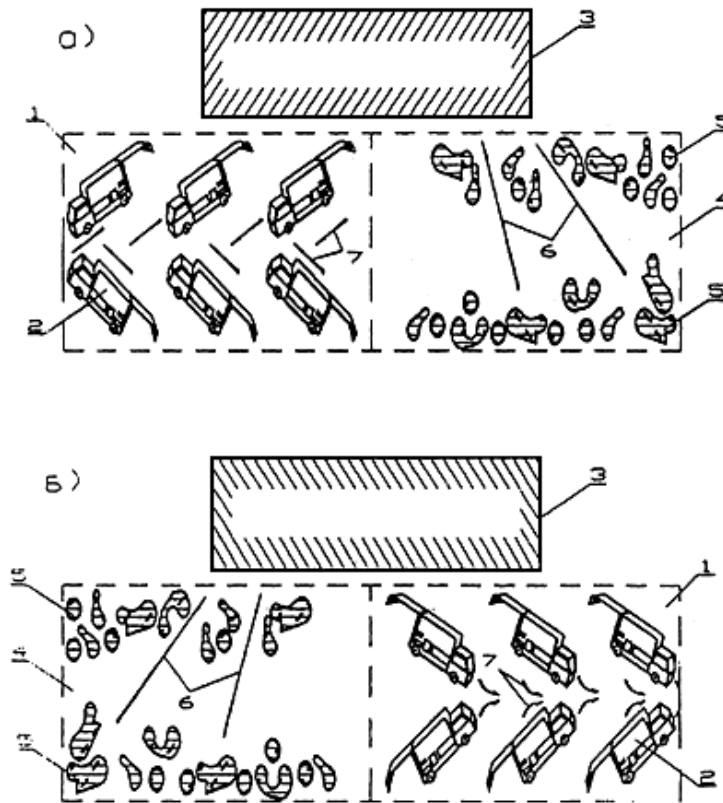


Рис. 2.2 Схема разгрузки мусоровозов на полигоне ТБО:

а — первая и третья разгрузки ТБО (8-10, 12-14 ч); б — вторая и четвертая разгрузки ТБО (10-12, 14-16 ч); 1 — площадка разгрузки мусоровозов (в соответствии со сменностью); 2 — мусоровозы; 3 — рабочая карта (или траншея складирования); 4 — площадка разгруженных ТБО; 5 — ТБО; 6 — направление работы бульдозеров по сдвиганию ТБО к рабочей карте (траншее); 7 — направление выезда мусоровозов с площадки после разгрузки

Размещение мусоровозов на площадке разгрузки должно обеспечивать беспрепятственный выезд каждой разгрузившейся машины.

Продолжительность приема мусоровозов под разгрузку на одном участке площадки принимается равной 1 — 2 ч. Минимальная площадь перед рабочей картой с учетом разбивки ее на две части должна обеспечивать одновременно не менее 12% разгрузки мусоровозов, прибывающих в течение рабочего дня [7].

2.1.2 Складирование отходов на рабочей карте. Выгруженные из машин ТБО складироваться на рабочей карте. Не допускается беспорядочное складирование ТБО по всей площади полигона, за пределами площадки, отведенной на данные сутки (рабочие карты). Устанавливаются следующие размеры рабочей карты: ширина 5 м (для траншейных карт — 12 м), длина 30 — 150 м. Бульдозеры сдвигают ТБО на рабочую карту, создавая слои высотой до 0,5 м. За счет 12 — 20 уплотненных слоев создается вал с пологим откосом высотой 2 м над уровнем площадки разгрузки мусоровозов. Вал следующей рабочей карты «надвигают» к предыдущему (складированием по методу «надвиг»). При этом методе отходы укладывают снизу вверх (рис. 2.3). Уплотненный слой ТБО высотой 2 м изолируется слоем грунта 0,25 м (при обеспечении уплотнения в 3,5 раза и более допускается изолирующий слой толщиной 0,15 м) [7].

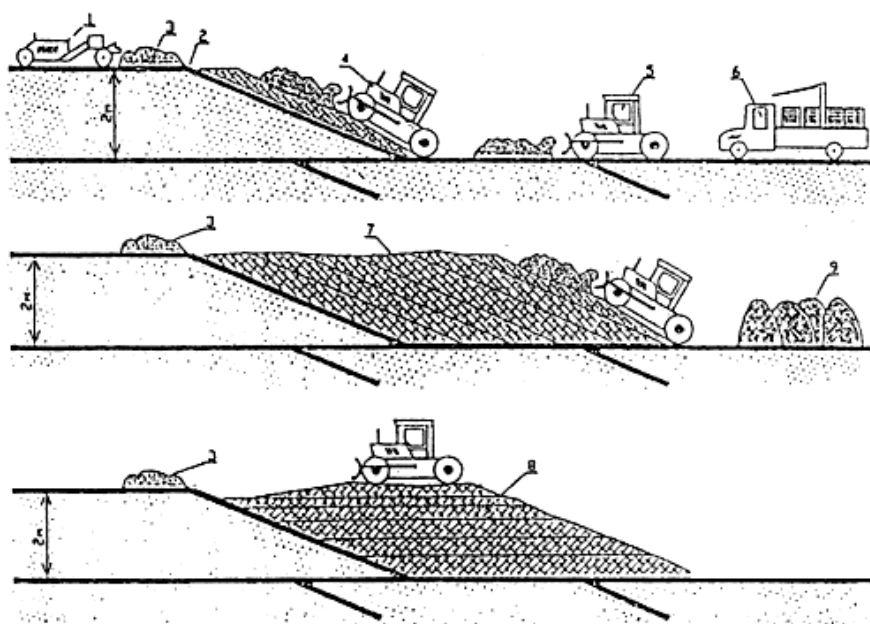


Рис. 2.3 Укладка отходов методом «надвига» (снизу вверх):

1 — скрепер, доставляющий грунт; 2 — изолирующий слой; 3 — грунт для изоляции; 4 — бульдозер, уплотняющий ТБО; 5 — бульдозер, транспортирующий ТБО от места выгрузки из мусоровоза к рабочей карте; 6 — мусоровоз на месте выгрузки; 7 — укладка наклонных слоев; 8 — укладка тонких горизонтальных слоев; 9 — выгруженные ТБО

Разгрузка мусоровозов перед рабочей картой должна осуществляться на слое ТБО, со времени укладки и изоляции которого прошло более 3 мес. (по мере заполнения карт фронт работ отступает от ТБО, уложенных в предыдущие сутки) (рис. 2.4).

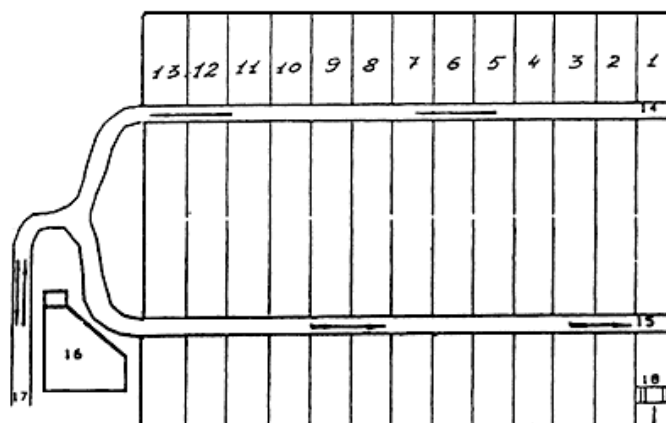


Рис. 2.4 Очередность заполнения карт при работе методом «надвига»:

1–13 — нумерация карт с учетом очередности заполнения их ТБО; 14 — временная дорога для выезда разгрузившихся мусоровозов; 15 — временная дорога для прибывающих мусоровозов с ТБО; 16 — хозяйственная зона; 17 — постоянная подъездная дорога к полигону; 18 — поперечная полоса карты с условным показом следа от двух гусениц и направления движения уплотняющего бульдозера

Складирование ТБО методом «сталкивания» осуществляется сверху вниз. Высота откоса должна быть не более 2,3 м. При методе «сталкивания» в отличие от метода «надвига» мусоровозный транспорт разгружается на верхней изолированной поверхности рабочей карты, образованной в предыдущий день (рис. 2.5). По мере заполнения карт фронт работ движется вперед по уложенным в предыдущие сутки ТБО (рис. 2.6) [7].

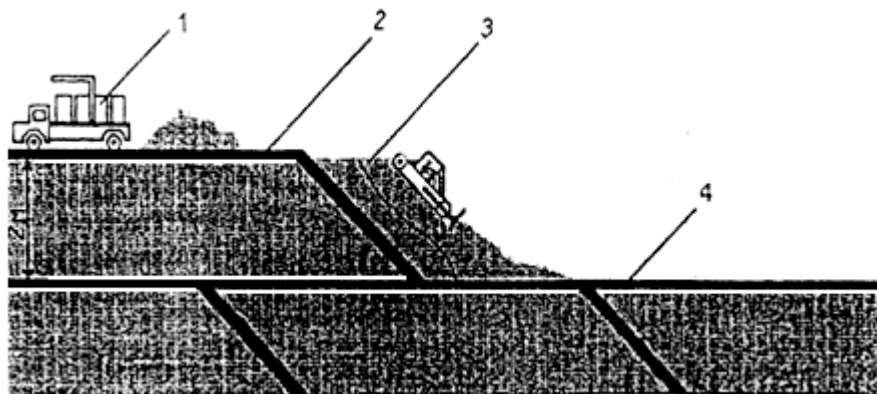


Рис. 2.5 Укладка отходов методом «сталкивания» (сверху вниз):

1 — мусоровоз на месте разгрузки; 2 — изоляция, нанесенная в предыдущий день; 3 — уплотнение отходов на рабочей карте; 4 — изоляция, нанесенная 0,5 - 1 год назад; 5 — переносное сетчатое ограждение

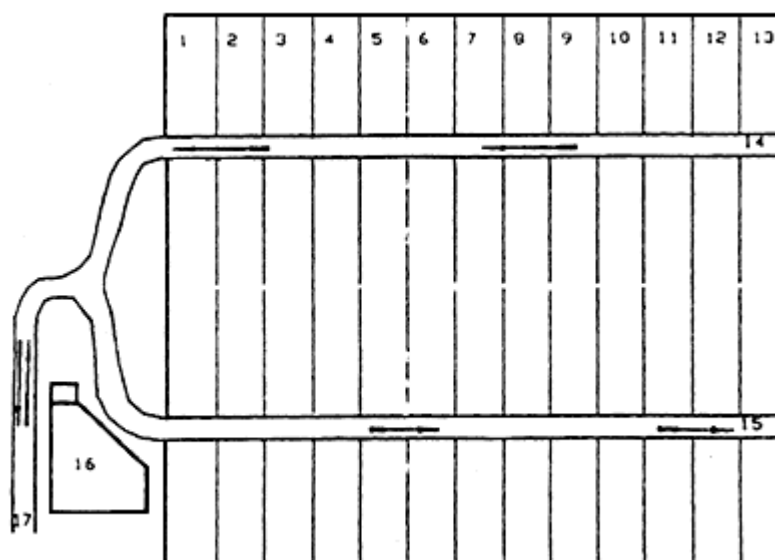


Рис. 2.6 Очередность заполнения карт при работе методом «сталкивания»:

1-13 — нумерация карт с учетом очередности их заполнения; 14 — временная дорога для выезда разгрузившихся мусоровозов; 15 — временная дорога для прибывающих мусоровозов; 16 — хозяйственная зона; 17 — постоянная подъездная дорога

Сдвигание разгруженных мусоровозами ТБО на рабочую карту осуществляется бульдозерами всех типов. Для повышения производительности бульдозеров (на 30-40%) необходимо применять отвалы, имеющие большую ширину и высоту (документация на изменение конструкции отвалов может быть получена в отделе санитарной очистки городов и утилизации отходов Академии коммунального хозяйства). Пример расчета дан в прил.2.

Уплотнение уложенных на рабочей карте ТБО слоями до 0,5 м осуществляется тяжелыми бульдозерами массой 14 т и на базе тракторов мощностью 75 - 100 кВт (100 - 130 л.с.) или катками-уплотнителями КМ-305 и др. Уплотнение слоями более 0,5 м не допускается. Уплотнение осуществляется 2-4 кратным проходом бульдозера (катка) по одному месту. Бульдозеры (катки), уплотняющие ТБО, должны двигаться вдоль длинной стороны карты. При 2-кратном проходе бульдозера уплотнение ТБ составляет 570 - 670 кг/м³, при 4-кратном проходе — 670 - 800 кг/м³. Каток КМ-305 за четыре прохода уплотняет слой ТБО 0,5 м до 850 кг/м³ [7].

Для обеспечения равномерной просадки тела полигона необходимо два раза в год делать контрольное определение степени уплотняемости ТБО.

Увлажнение ТБО летом необходимо осуществлять в пожароопасные периоды. Расход воды на полив принимается 10 л на 1 м³ ТБО [7].

Промежуточная и окончательная изоляция уплотненного слоя ТБО осуществляется грунтом. При складировании ТБО на открытых, незаглубленных картах промежуточная изоляция в теплое время года осуществляется ежедневно, в холодное время года - с интервалом не более трех суток. Слой промежуточной изоляции составляет 0,25 м, при уплотнении ТБ катками КМ-305 - 0,15 м. Разработка грунта и доставка его на рабочую карту производится скреперами. Схема организации работ показана на рис. 2.7 [7].

В зимний период в качестве изолирующего материала разрешается использовать строительные отходы, отходы производства (отходы извести, мела, соды, гипса, графита и т.д.).

В виде исключения в зимний период допускается применять для изоляции снег, подаваемый бульдозерами с ближайших участков.

В весенний период, с установлением температуры выше 5 °С, площадки, где была применена изоляция снегом, покрываются слоем грунта.

Укладка следующего яруса ТБО на изолирующий слой из снега недопустима.

2.1.3 Сдвигание, уплотнение и изоляция ТБО при траншейной схеме. Загрузка ТБО в траншею осуществляется с послойным уплотнением бульдозерами или катками-уплотнителями, перемещающимися вдоль траншеи. Участок складирования заполняется с превышением над отметкой участка на 1/3 глубины траншеи из-за последующего уплотнения отходов. В траншеях ТБО изолированы в процессе складирования по всему периметру. Изоляцию ТБО сверху для полигонов этого типа допускается производить один раз в 5 суток [7].

По истечении 5 лет (как исключение 3 года) необходимо устройство траншей 2-го яруса по высотной траншейной схеме при условии получения разрешения службами санэпиднадзора, что материал в траншее не привлекает мух и грызунов, а также в подразделениях пожарной охраны о его пожарной

безопасности. Для получения указанных разрешений в 2 — 3 местах делается пробное разрытие.

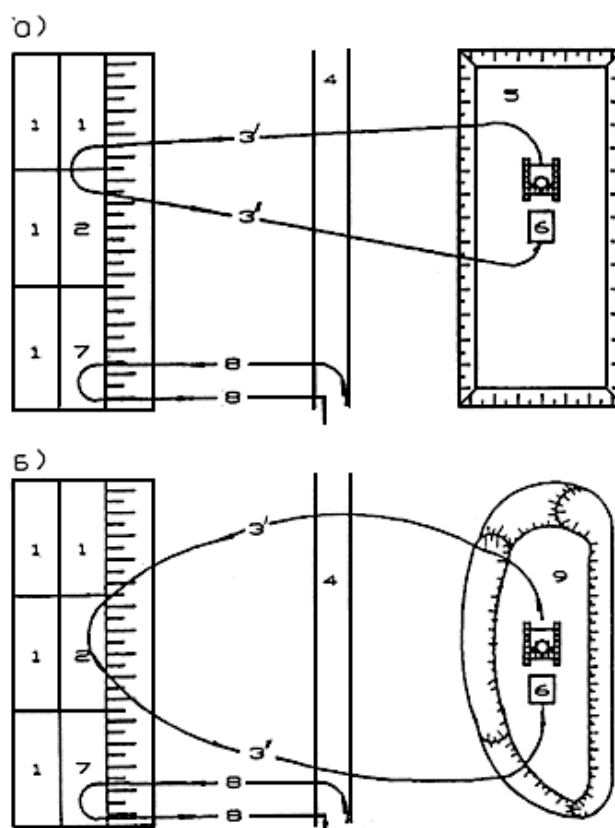


Рис.2.7 Схема подачи грунта для изоляции ТБО на рабочих картах с помощью скрепера:

а — при разработке котлованов на второй очереди полигона; б — при разработке кавальеров или холмов; 1 — изолированные карты; 2 — изолируемая карта; 3 — траССа скрепера с грунтом; 4 — временная дорога для мусоровозов; 5 — котлован второй очереди полигона; 6 — скрепер; 7 — карта, заполняемая ТБО; 8 — траССа движения мусоровозов; 9 — кавальер или холм грунта

Переносные сетчатые ограждения устанавливаются как можно ближе к месту разгрузки и складирования ТБО, перпендикулярно направлению господствующих ветров для задержания легких фракций отходов. Высота ограждений 4 — 4,5 м. Рама щитов выполняется из легких металлических профилей, обтягивается сеткой с размерами ячеек 40 — 50 мм. Ширина щитов принимается 1 — 1,5 м [7].

Регулярно, не реже одного раза в смену, щиты очищаются от частиц отходов. Размеры участка, защищаемого переносным сетчатым ограждением, должны обеспечивать работу без перестановки щитов не менее недели.

Мерный столб (репер) устанавливается на карте для контроля высоты отсыпаемого 2-метрового слоя ТБО. Соблюдение заданной высоты слоя отсыпки обеспечивает равномерность осадки толщи полигона. С помощью репера контролируется степень уплотнения твердых бытовых отходов [7].

Реперы выполняются в виде деревянного столба или отрезка металлической трубы, швеллера, двутавра. Деления наносятся яркой краской через каждые 0,25 м. На высоте 2 м на бульдозере делается белая черта, являющаяся подвижным репером [7].

2.1.4 Закрытие полигона и передача участка под дальнейшее использование. Закрытие полигона для приема ТБО осуществляется после отсыпки его на проектную отметку, установленную заданием; на высоконагружаемых полигонах со сроком эксплуатации не менее 5 лет допускается превышение проектной отметки на 10% [7].

Последний слой отходов перед закрытием полигона засыпается слоем грунта с учетом дальнейшей рекультивации.

При планировке изолирующего слоя необходимо обеспечивать уклон к краям полигона.

Устройство изолирующего слоя полигона определяется заданием по его рекультивации.

Укрепление наружных откосов полигона должно проводиться с начала эксплуатации полигона по мере увеличения высоты складирования. Материалом для засыпки наружных откосов полигона служит предварительно снятый при его строительстве растительный грунт.

Для защиты от выветривания или смыва грунта с откосов полигона необходимо производить их озеленение непосредственно после укладки изолирующего слоя. По склонам высаживаются защитные насаждения и устраиваются террасы. Выбор видов деревьев и кустарников определяется местными условиями.

На участках, используемых в последующем под открытые склады тары непищевого назначения, толщина верхнего изолирующего слоя должна составлять не менее 1,5 м. При использовании рекультивированной территории полигона под выращивание сельскохозяйственной продукции, садово-ягодных растений, лесопосадок толщина верхнего изолирующего слоя может быть изменена в зависимости от вида выращиваемых культур растений. Верхний слой отходов до их укрытия изоляцией должен быть тщательно уплотнен до плотности не менее 750 кг/м³ [7].

2.2 Полигоны для захоронения промышленных отходов

Полигоны для токсичных отходов размещаются по территориальному принципу. Для размещения полигонов подходят участки, расположенные:

- на площадках, где возможно осуществление мероприятий и инженерных решений, исключающих загрязнение окружающей среды;
- с подветренной стороны (для ветров преобладающего направления) по отношению к населенным пунктам и зонам отдыха;
- ниже мест водозаборов питьевой воды, рыбоводных хозяйств, мест нереста, массового нагула и зимовальных ям рыбы;
- на землях несельскохозяйственного назначения или непригодных для сельского хозяйства либо на сельскохозяйственных землях худшего качества;

– в соответствии с гидрогеологическими условиями, как правило, на участках со слабофильтрующими грунтами (глиной, суглинками, сланцами), с залеганием грунтовых вод при их наибольшем подъеме, с учетом подъема воды при эксплуатации полигона не менее 2 м от нижнего уровня захороняемых отходов [8, 9].

При неблагоприятных гидрогеологических условиях на выбранной площадке проводятся инженерные мероприятия, обеспечивающие требуемое снижение уровня грунтовых вод.

Устройство полигонов на просадочных грунтах допускается при условии полного устранения просадочных свойств грунтов.

Материалы инженерных изысканий содержат согласно [8, 9]:

– топографические планы района строительства полигона в отведенных границах и масштабах, устанавливаемых проектной организацией;

– инженерно-геологическую характеристику грунтов (в основании карт захоронения) до водоупора с заглублением в него на 3 м. При залегании водоупора на глубине более 25 м глубина геологических выработок должна быть не менее чем на 6 м ниже дна карт, а при необходимости устройства дренажа глубина выработок уточняется согласно прилагаемой схеме дренажа;

– данные о карьерах глин или наличии глин с рекомендациями по их обработке с целью доведения до требуемой водонепроницаемости, а также данные о карьерах других материалов (песка, гравия, камня);

– гидрогеологическую характеристику, включающую описание режима уровней грунтовых вод, коэффициенты фильтрации грунтов, области питания и области разгрузки грунтового потока, прогноз повышения уровня грунтового потока и его химический состав;

– метеорологическую характеристику в объеме климатического очерка с указанием температурного и ветрового режимов, снегового покрова, промерзания почвы, испаряемости с водной поверхности и обеспеченности осадков. При наличии оврагов, проходящих через площадку, устанавливается их водосборная площадь, определяются максимальные расходы дождевых и талых вод [8, 9].

Размер участка захоронения токсичных промышленных отходов устанавливается исходя из срока накопления отходов в течение 20 — 25 лет.

Объекты полигона по обезвреживанию и захоронению токсичных промышленных отходов, согласно рекомендациям [8] размещают:

– завод по обезвреживанию токсичных промышленных отходов - на возможно кратчайшем расстоянии от предприятия - основного поставщика отходов;

– участок захоронения отходов - в соответствии с требованиями разд. 2;

– гараж специализированного автотранспорта, - как правило, рядом с заводом по обезвреживанию токсичных промышленных отходов [8, 9].

2.2.1 Планировочные и конструктивные требования к полигонам. Участок захоронения отходов по периметру обязательно ограждается забором из колючей проволоки высотой 2,4 м с устройством автоматической охранной сигнализации.

На участке захоронения токсичных промышленных отходов по его периметру, начиная от ограждения, последовательно размещаются:

- кольцевой канал;
- кольцевое обвалование высотой 1,5 м и шириной поверху 3 м;
- кольцевая автодорога с усовершенствованным капитальным покрытием и въездами на карты;
- ливнеотводные лотки вдоль дороги или кюветы с облицовкой бетонными плитами [8, 9].

Внешний кольцевой канал рассчитывается на расход 1 % обеспеченности паводка с прилегающей водосборной площади. Отвод воды предусматривается в ближайший водоток.

При необходимости отвода от площадки полигона русла водостока расчетный расход воды обводного канала следует принимать с 0,1 %-ной обеспеченностью.

Участок захоронения токсичных промышленных отходов разделяется на производственную и вспомогательную зоны. Расстояние между зданиями и сооружениями зон должно быть не менее 25 м [8, 9].

В производственной зоне участка размещаются карты с учетом отдельного захоронения отходов различных классов опасности, контрольно-регулирующие пруды дождевых и дренажных вод, а при необходимости - и пруды-испарители.

В состав вспомогательной зоны входят: административно-бытовые помещения, лаборатория; площадка с навесом для стоянки спецмашин и механизмов; мастерская для текущего ремонта спецмашин и механизмов; склад топливно-смазочных материалов; склад для хранения материалов, предназначенных для устройства водонепроницаемых покрытий при консервации карт; котельная со складом топлива; сооружение для чистки, мойки и обезвреживания спецмашин и контейнеров; автомобильные весы; контрольно-пропускной пункт [8, 9].

Отвод внутренних дождевых и талых вод предусматривается в контрольно-регулирующие пруды, состоящие из двух секций. Вместимость каждой секции пруда рассчитывается на объем максимального суточного дождя повторяемостью раз в 10 лет. Осветленные воды после контроля направляют: чистые – на производственные нужды, при отсутствии потребителя – в кольцевой канал; загрязненные – в пруд-испаритель, при невозможности его устройства – на завод по обезвреживанию токсичных промышленных отходов [8, 9].

Площадь пруда-испарителя определяется исходя из возможного загрязнения 10 % среднегодового расчетного стока дождевых и талых вод с территории участка захоронения [8, 9].

Если по климатическим условиям устройство естественного испарителя невозможно, то в проекте предусматривается регулирующий водоем для обеспечения равномерной подачи стоков на завод по обезвреживанию токсичных промышленных отходов.

Пруды-испарители, контрольно-регулирующие пруды и регулирующие водоемы обязательно имеют противофильтрационные экраны или завесы в соответствии с классом опасности стоков.

При необходимости размещения участка захоронения отходов на территории с высоким стоянием уровня грунтовых вод (менее 2 м от дна карт с учетом ожидаемого повышения уровня при эксплуатации) с коэффициентом фильтрации грунта не менее 10^{-3} см/с следует предусматривать дренаж с отводом воды в контрольно-регулирующие пруды дренажных вод [8, 9].

При водопитоке дренажных вод более $0,1 \text{ м}^3/\text{с}$ и наличии водоупора от поверхности земли на расстоянии до 25 м по контуру участка под кольцевым обвалованием следует предусматривать противофильтрационную завесу - глиняную диафрагму толщиной не менее 0,6 м с градиентом напора не более 15 [8, 9].

Допускается предусматривать головную диафрагму с трех сторон, когда необходимо изолировать зону питания, при этом может быть обеспечено снижение уровня грунтовых вод без дополнительного дренажа, что должно быть обосновано гидрогеологическими расчетами.

При грунтах основания с коэффициентом фильтрации менее 10^{-3} см/с и переслаивающемся литологическом строении (суглинках, супесях, мелких песках), когда горизонтальный или вертикальный трубчатые дренажи неэффективны, под экранами у дна карт следует предусматривать пластовый дренаж с отводом воды из него в контрольно-регулирующие пруды дренажных вод [8, 9].

В проектах контрольно-регулирующих прудов дождевых и талых вод предусматривается возможность переключения приема загрязненного стока в одну из секций.

Сооружения для чистки, мойки и обезвреживания спецмашин и контейнеров располагают на выезде из производственной зоны полигона на расстоянии не менее 50 м от административно-бытовых зданий.

Подъездные пути и производственная зона участка захоронения отходов имеют искусственное освещение. Освещенность рабочих карт и подъездных путей составляет 5 лк [8, 9].

2.2.2 Краткое описание материалов и конструкций противофильтрационных экранов, завес и пластового дренажа.

Экран глиняный однослойный — наиболее простые, надежные и долговечные противофильтрационные устройства.

При наличии местных глин их применение является наиболее экономичным и целесообразным.

Исходная глина ненарушенной структуры должна иметь коэффициент фильтрации K_f не ниже $0,001 \text{ м/сут.}$ При использовании ее в экранах глина превращается в пасту путем перемешивания и достижения необходимого коэффициента фильтрации. Толщина экрана в испарителях обосновывается расчетами исходя из допустимого градиента напора $l = 10$, но не менее 0,5 м [9].

Экран глиняный двухслойный состоит из двух слоев глины, каждый толщиной не менее 0,5 м. Между слоями глины устраивается дренажный слой из крупнозернистого песка толщиной 40 — 60 см, уточняемый расчетами. Поверхность экрана планируется таким образом, чтобы дренажные воды между слоями глины поступали в трубчатые дрены и с помощью насосной станции вновь закачивались в емкость. Эффект двухслойного экрана заключается в том, что на нижний слой действует напор воды, равный глубине ее в дренажном слое [9].

Грунтобитумный экран назначается, как правило, как основание для других типов экранов и представляет собой минеральный естественный грунт, обработанный на глубину 10 — 15 см жидким битумом или нефтью с добавлением цемента и уплотненный гладкими катками. Перед внесением добавок грунт протравливается гербицидами на глубину до 20 см [9].

Экран из железобетонных плит. В чистом виде бетон или железобетон в экранах применяется редко, так как этот материал имеет сравнительно высокий коэффициент фильтрации ($K_f=0,01$ м/сут) и слабую трещиностойкость. Снижение коэффициента фильтрации до $K_f=0,00001$ м/сут достигают путем торкретирования или силикатизации. Процесс этот дорогостоящий, поэтому железобетон применяется в небольших емкостных сооружениях типа резервуаров и отстойников. По фильтрационным и прочностным соображениям толщина монолитных или сборных железобетонных плит принимается не менее 10 — 15 см, бетон марки не ниже Б, В30, F100, W8 в соответствии [9].

Экран из полимербетона. Полимербетоны отличаются от обычного бетона тем, что в качестве связующего вместо цемента используются фурановые и эпоксидные смолы или их смесь ФАЭД-20 (ФАМ), состоящие на 80 % из более дешевого продукта — фурана и на 20 % из эпоксидной смолы с добавкой отвердителя — полиэтиленполиамин [9].

Экран бетонопленочный. Значительное распространение получили бетонопленочные экраны, в которых бетон выполняет защитные функции, а пленка - противofiltrационные.

Монолитные или сборные железобетонные плиты толщиной 8 — 15 см укладываются на защищенную от повреждений пленку. Основание под пленку устраивается как для пленочного экрана. При укладке сборных железобетонных плит на пленку следует соблюдать повышенную осторожность.

Экран асфальтобетонный однослойный с битумным покрытием. Асфальтобетонные экраны выполняются из гидротехнического мелкозернистого асфальта.

Основанием однослойного экрана могут быть практически любые грунты, поддающиеся обработке грейдером, с модулем деформации после уплотнения не менее 10 МПа (100 кгс/см^2). После планировки грунты подвергаются обработке (протравливанию) гербицидами на глубину 20 см. Затем производится поверхностная обработка грунта на глубину 10 — 15 см с внесением битума или сырой нефти из расчета $1,5 — 2,0 \text{ кг/м}^2$. После чего основание уплотняется 5-тонными катками до полного устранения деформации. При сравнительно слабых пылеватых супесях и суглинках перед розливом нефти или битума рекомендуется вносить активные добавки — цемент или известь. На подготовленное основание укладывается мелкозернистый асфальтобетон слоем 40 — 60 мм. Поверхность асфальтобетона покрывается слоем жидкого битума толщиной 2 — 4 мм с последующей посыпкой слоем песка толщиной 5 — 10 мм [9].

При напорах до 5 — 10 м экран считается нефилтующим. На откосах при необходимости устраивается дополнительное крепление, обоснованное волновыми расчетами.

Экран асфальтобетонный двухслойный с дренажной прослойкой.

При двухслойном экране промежуточный слой устраивается из сортированного гравия или щебня слоем 15 — 20 см с крупностью фракции 10 — 40 мм, покрытых битумом (черный гравий). Обработка верхнего и нижнего слоев асфальтобетона такая же, как для однослойного экрана.

При двухслойном экране для сбора и отвода дренажной воды из межслойного пространства дно емкостных сооружений должно быть с уклоном 10 — 20% к трубчатым дренам. Расстояние между дренами следует принимать 100 — 200 м. Продольный уклон трубчатых дрена — 2 — 5 % [9].

Экран асфальтобетонный с покрытием битумно-латексной эмульсией. В отличие от асфальтобетонного экрана в рассматриваемом экране вместо розлива по асфальту чистого битума слоем 2 — 4 мм производится розлив битумно-латексной эмульсии слоем 4 — 6 мм, состоящей из 20 % латекса и 80 % битума по массе. Битумно-латексная эмульсия наносится на горизонтальную поверхность 1 — 2 слоями, а на откосы — 2 — 3 слоями толщиной 2 мм [9].

Ввиду чувствительности экрана к свету поверхность его засыпается защитным слоем из однородного грунта или промышленных отходов фракцией не более 3 мм. Толщина защитного слоя не менее 0,5 м. Откосы при необходимости дополнительно крепятся на случай волновых воздействий. Работы выполняются при температуре не ниже 10 °С. Битумно-латексная эмульсия готовится в специальном битумном котле, где битум разогревается до 140 — 150 °С. При непрерывном перемешивании в него вводится латекс. Время приготовления 5 — 10 ч (уточняется в процессе испытания перед началом работ). Охлажденная до 120 °С битумно-латексная эмульсия наносится на асфальт автогудронатором с гладилкой или с помощью распылителя набрызгом [9].

Экран асфальтополимербетонный. Конструктивно асфальтополимербетонные экраны ничем не отличаются от обычных асфальтобетонных экранов; выполняются они однослойными и двухслойными. Различие заключается в том, что асфальтобетоны выполняются на вяжущем из битума, а асфальтополимербетоны — на модифицированном вяжущем, состоящем из битума с добавлением каучука или других полимеров в количестве 10 — 20 % массы битума. Это придает асфальтополимербетону повышенную морозостойкость и эластичность и снижает его водопроницаемость, что обуславливает целесообразность его применения при строительстве противофильтрационных экранов.

Ввиду повышенной гибкости и прочности асфальтополимербетонные экраны могут выполняться монолитными и сборно-монолитными.

Для сборно-монолитного варианта экраны изготавливаются в виде армированных металлической сеткой лент шириной 2 м, толщиной 4 — 6 см. Ленты наматываются на барабан диаметром 1,5 м. Арматура диаметром 6 — 7 мм с ячейками 100 × 100 мм. При длине намотанной ленты 35 м общая масса барабана составляет не более 10 т. Стыки между лентами (зазоры) шириной 5 — 10 см заделываются свежеприготовленным асфальтополимербетоном с температурой 130 — 150 °С, который оплавляет края сборных плит [9].

После укатки образуются качественно монолитные стыки. В местах плохого качества стыка последний снова разогревается, паяльными лампами до получения монолитного состояния.

Экран из полиэтиленовой пленки, стабилизированной сажей, однослойный. Конструктивно однослойный экран состоит из спланированного и протравленного гербицидами основания из однородного грунта на глубину 15 — 20 см с фракциями не крупнее 3 мм, уплотненного гладкими катками. При наличии в грунтах более крупных фракций в основании устраивается песчаная подготовка слоем не менее 10 см. На пленку укладывается защитный слой из мелкозернистого грунта толщиной 0,5 м по дну и 0,8 м на откосах [9].

Заложение откосов должно быть не круче 1:3,5. Защитный слой устраивается сразу на полную толщину пионерным способом бульдозером. Необходимость крепления пригрузки на откосах устанавливается расчетами в зависимости от волновых воздействий

Экран из полиэтиленовой пленки двухслойный, с дренажной прослойкой. При двухслойном экране промежуточный (дренажный) слой устраивается из качественного песка слоем 0,5 м. Нижний и верхний защитные слои выполняются как для однослойного экрана.

Сопряжение полиэтиленового экрана с сооружениями и коммуникациями является одним из наиболее ответственных мест противофильтрационного устройства. Пленка в районе бетонных опор и труб приклеивается к ним горячей битумной мастикой, которую одновременно наносят на тщательно очищенный бетон или металл и края пленки. Ширина полосы наносимой мастики не менее 15 — 20 см. Места соединения пленки тщательно прокатывают деревянным валиком [9].

Для приклеивания пленки применяют мастику, приготовляемую следующим образом: битум марки БН-4 разогревают до жидкого состояния, добавляют в него 5 % (по массе) резиновой крошки и варят эту смесь в течение часа, тщательно перемешивая. После охлаждения до 120-110 °С в смесь малыми дозами, во избежание воспламенения, добавляют, тщательно перемешивая, 5 % солярного масла. Затем мастику следует несколько охладить и проверить, не прожигает ли она пленку. После чего мастика готова к употреблению [9].

2.2.3 Обезвреживание токсичных промышленных отходов. Жидкие негорючие отходы, поступающие на полигон, перед захоронением сначала обезвреживают (рис. 2.8) и при технической возможности обезвреживают (понижение валентности некоторых металлов, перевод в нерастворимые соединения).

Жидкие, твердые и пастообразные горючие отходы, поступающие на полигон, следует сжигать в печах по возможности с утилизацией физического тепла продуктов сгорания, с последующей очисткой отходящих газов от вторичных вредных веществ.

Твердые и пастообразные негорючие отходы, содержащие растворимые вещества I класса опасности, как правило, при технической возможности перед захоронением подлежат частичному обезвреживанию, заключающемуся в переводе токсичных веществ в нерастворимые соединения.

Переработка отходов, поступающих на полигон, осуществляется на заводе по обезвреживанию токсичных промышленных отходов.



Рис. 2.8 Комплекс емкостных аппаратов для накопления, усреднения и выдачи на дальнейшую переработку жидких органических отходов.

В составе завода по обезвреживанию токсичных промышленных отходов согласно [8, 9, 10] предусматривают: административно-бытовые помещения, лабораторию, центральный диспетчерский щит управления и контроля за технологическими процессами, медпункт и столовую; цех термического обезвреживания твердых и пастообразных горючих отходов; цех термического обезвреживания сточных вод и жидких хлорорганических отходов; цех физико-химического обезвреживания твердых и жидких негорючих отходов; цех обезвреживания испорченных и немаркированных баллонов; цех обезвреживания ртутных и люминесцентных ламп; цех приготовления известкового молока; склад легковоспламеняющихся и горючих жидкостей с насосной; открытый склад под навесом для отходов в таре; склад химикатов и реактивов; склад огнеупорных изделий; автомобильные весы; спецпрачечную (при отсутствии возможности кооперирования); механизированную мойку спецмашин, тары и контейнеров; ремонтно-механический цех; контрольно-пропускной пункт; общезаводские объекты в соответствии с потребностями завода.

В цехе термического обезвреживания твердых и пастообразных горючих отходов предусматривают: бункера для приема и промежуточного хранения твердых горючих отходов с мостовым грейферным краном; печи для сжигания отходов; котлы-утилизаторы для выработки водяного пара; систему очистки дымовых газов от пыли; систему физико-химической очистки дымовых газов (от хлористого и фтористого водорода, оксидов серы и других примесей); систему удаления и складирования золы и шлака.

Перед сжиганием крупные фракции твердых отходов измельчают, до размера приемного штуцера дозирующего устройства печи.

Конструкция печей выбирается из соображения обеспечения сжигания твердых, жидких и пастообразных (как правило, в таре) отходов. При разработ-

ке конструкций печей следует учитывать возможность в будущем полного изменения состава отходов.

Загрузочные устройства печей проектируются таким образом, чтобы различные отходы могли поступать в печь непрерывно и равномерно по количеству и тепловой нагрузке печи для достижения относительно равномерного сгорания отходов и количества получаемого пара в котле-утилизаторе.

Температура сжигания отходов в печи должна быть не ниже 1000 °С, при наличии галогенсодержащих соединений - не ниже 1200 °С [9].

Галогенсодержащие отходы дозируют в печь в таких количествах, чтобы выбросы в атмосферу хлористого и фтористого водорода в каждом конкретном случае не превышали ПДВ с учетом фоновых загрязнений и содержание хлористого и фтористого водорода в дымовых газах не превышало 0,1 % по объему.

После печи сжигания промышленных отходов обязательно предусматривают камеру дожигания, в которой при соответствующей дополнительной подаче топлива и воздуха при соответствующей высокой температуре и продолжительном (не менее 2,0 с) времени пребывания достигается полное окисление продуктов неполного сгорания [9].

Конструкцию камеры дожигания и расположение горелок обеспечивают полное перемешивание дымовых газов, поступающих из печи, с образующимися дымовыми газами в камере дожигания.

Температура дымовых газов на выходе из камеры дожигания не ниже 1000 °С, а при наличии галогенсодержащих соединений - от 1200 до 1450 °С [8].

Визуальный контроль пламени в печи для сжигания промышленных отходов предусматривается с помощью телевизионной камеры.

При наличии в промышленных отходах, поступающих на сжигание, веществ, имеющих высокое давление паров при температуре от 150 до 300 °С (окисей мышьяка, селена, фосфора, а также хлоридов сурьмы, мышьяка, железа, свинца, кадмия, висмута и др.), применяется мокрая ступень очистки. Система мокрой очистки должна обеспечить снижение содержания указанных загрязнений в дымовых газах, сбрасываемых в атмосферу, до значений ниже предельно допустимых выбросов [9].

В цехе термического обезвреживания сточных вод и жидких хлорорганических отходов устанавливаются: печи для термического обезвреживания сточных вод и жидких горючих отходов с системой очистки дымовых газов от уноса минеральных солей и системой вывода смеси минеральных солей в сухом виде; печи для термического обезвреживания жидких хлорорганических отходов с системой утилизации хлористого водорода из дымовых газов с получением хлористого кальция или товарной соляной кислоты и системой санитарной очистки отходящих газов.

При термическом обезвреживании сточных вод и жидких органических отходов соблюдаются следующие условия:

- температура отходящих газов в циклонных печах или печах других видов находится в пределах 950 — 1050 °С;
- нейтрализацию образующихся в результате окисления органических веществ хлористого водорода, оксидов серы и фосфора осуществляют в объеме

печи едким натром или карбонатом натрия. Подачу едкого натра (карбоната натрия) в объем печи осуществляют с 10 %-ным избытком совместно со сточными водами;

- образующийся в циклонной топке плав смеси минеральных солей выводится в кубовую часть скруббера-охладителя;

- охлажденные газы очищают от минеральных солей в скоростных турбулентных газопромывателях, откуда слабый раствор солей возвращают в скруббер-охладитель для концентрирования посредством упаривания за счет физического тепла высокотемпературных газов, выходящих из печи. Концентрированный раствор солей непрерывно выводят из скруббера-охладителя с подачей в систему выделения смеси минеральных солей в сухом виде (сушка, центрифугирование и т.д.) [8, 9].

При термическом обезвреживании жидких хлорорганических отходов соблюдаются следующие условия:

- термическое обезвреживание осуществляется в циклонной печи при температуре от 1200 до 1500 °С;

- образующийся при сгорании отходов хлористый водород утилизируется с получением соляной кислоты или других хлорсодержащих продуктов;

- при тепловой нагрузке печи свыше $7 \cdot 10^6$ Вт (в случае получения соляной кислоты) для охлаждения газообразных продуктов сгорания отходов перед стадией абсорбции хлористого водорода предусматривается применение котла-утилизатора, в котором осуществляется утилизация тепла с выработкой насыщенного пара давлением от 1,3 до 4,0 МПа;

- при сжигании хлорорганических отходов с содержанием органически связанного хлора свыше 70 % по массе предусматривается предварительное смешивание отходов с жидким топливом (отходами) в соотношении, обеспечивающем устойчивое горение смеси;

- для подачи в печи отходов, как правило, применяются форсунки пневматического типа со спрямленными каналами по ходу отходов с целью уменьшения вероятности забивки форсунки, а также обеспечения возможности быстрой механической чистки ее без остановки печи;

- воздух на горение отходов подается с избытком не менее 20 %. Верхняя граница избытка воздуха лимитируется содержанием в газообразных продуктах сгорания непрореагировавшего кислорода, количество которого во избежание образования большого количества хлора не превышает 3,5 % по объему. При необходимости для поддержания температуры горения отходов в пределах 1200 - 1500 °С в объем печи могут впрыскиваться вода, соляная кислота или вдуваться водяной пар;

- абсорбцию хлористого водорода из газообразных продуктов сгорания отходов при получении соляной кислоты производится в изотермических абсорберах;

- для санитарной очистки газов перед выбросом их в атмосферу обязательна щелочная промывка с использованием водного раствора едкого натра или карбоната натрия. Концентрация поступающего на промывку газов раствора ис-

ходя из условия предотвращения кристаллизации промежуточного продукта щелочной промывки – бикарбоната натрия должна быть не выше 5 % по массе;

– после щелочной промывки следует предусматривать локальный узел разрушения гипохлорита натрия, образующегося при щелочной промывке газов и содержащегося в отработанном растворе [8, 9].

В цехе физико-химического обезвреживания твердых и жидких негорючих отходов предусматривается:

а) установка по обезвреживанию твердых цианосодержащих отходов, включающая системы: приема и измельчения отходов; приготовления суспензии и перевода цианидов в цианаты; фильтрации суспензии;

б) установка по обезвреживанию отходов гальванических производств, включающая: емкостный парк для приема отходов; систему восстановления Cr^{+6} и Mn^{+7} раствором серной кислоты и железного купороса; систему осаждения ионов тяжелых металлов известковым молоком; систему фильтрации осадка;

в) установка обезвреживания мышьяксодержащих отходов, включающая: емкостный парк для приема отходов; систему перевода соединений трехвалентного и треххлористого мышьяка в мышьяковую кислоту, арсенат натрия и нитрооксифенил-арсоновую кислоту; систему осаждения мышьяксодержащих соединений известковым молоком в виде арсената кальция; систему фильтрации осадка; систему отпарки фильтрата [8, 9].

В корпусе обезвреживания испорченных и немаркированных баллонов предусматривают: броню для подрыва баллонов; систему промывки и обезвреживания броней и отходящих газов; погребок для хранения взрывчатых веществ.

В корпусе обезвреживания ртутных и люминесцентных ламп предусматривают: складское помещение для приема ламп; агрегаты для обезвреживания люминесцентных и ртутных ламп; систему очистки технологических газов от ртути; систему очистки промывных вод от ртути; складское помещение для хранения контейнеров со ртутьсодержащими отходами, направляемыми на переработку.

2.2.4 Захоронение токсичных отходов. Захоронению на участке подлежат твердые токсичные отходы. Способ захоронения отходов зависит от их токсичности (класса опасности) и водорастворимости. Пастообразные отходы, содержащие водорастворимые вещества I класса опасности, должны поступать на захоронение в металлических контейнерах.

Захоронение отходов различного класса опасности осуществляется раздельно в специальные карты, расположенные на участке.

Размеры карт и их количество определяются в зависимости от количества поступающих отходов и расчетного срока действия участка. Захоронение в одной карте разноименных отходов допускается, если при совместном захоронении они не образуют более токсичных, взрывопожароопасных веществ, а также в том случае, если при этом не происходит газообразование.

Размеры карт для захоронения отходов не регламентируются. Объем карты обеспечивает прием отходов на захоронение в течение не более 2 лет.

При размещении карт для захоронения отходов IV класса опасности в грунте, характеризующемся коэффициентом фильтрации не более 10^{-5} см/с, никаких специальных мероприятий по устройству противofильтрационных экранов не проводится. На более проницаемых грунтах предусматривают изоляцию дна и откосов уплотненным слоем глины толщиной не менее 0,5 м. Коэффициент фильтрации слоя глины при этом составляет не более 10^{-7} см/с [8, 9].

При размещении карт для захоронения нерастворимых в воде отходов II и III классов опасности в грунте, характеризующемся коэффициентом фильтрации не более 10^{-7} см/с, противofильтрационные экраны не устраиваются. На более проницаемых грунтах предусматривают экран из уплотненной глины с коэффициентом фильтрации не более 10^{-7} см/с по дну и откосам слоем не менее 1 м.

При размещении карт для захоронения нерастворимых в воде отходов I класса опасности и растворимых в воде отходов II и III классов опасности в грунте, характеризующемся коэффициентом фильтрации не более 10^{-8} см/с, дополнительных мероприятий по устройству противofильтрационных экранов выполняется. На более проницаемых грунтах изготавливаются экраны из мятой глины с коэффициентом фильтрации не более 10^{-8} см/с по дну и откосам слоем не менее 1 м [8, 9].

Коэффициенты фильтрации грунтов, в которых следует осуществлять захоронение токсичных отходов различных классов опасности без специальных мероприятий по устройству противofильтрационных экранов, приведены в таблице 2.1 [8, 9].

Таблица 2.1

Коэффициенты фильтрации грунтов, в которых следует осуществлять захоронение токсичных отходов различных классов опасности

Степень токсичности отходов	Коэффициент фильтрации грунта, не более	
	см/с	м/сут
1. Нерастворимые вещества I класса и растворимые II и III классов опасности	10^{-8}	0,0000086 (0,00001)
2. Нерастворимые вещества II и III классов опасности	10^{-7}	0,000086 (0,0001)
3. IV класс опасности	10^{-5}	0,0086 (0,01)

При отсутствии глин с необходимыми коэффициентами фильтрации или их нестойкости к отходам допускаются другие конструкции противofильтрационных экранов карт при соответствующем технико-экономическом обосновании и при условии их долговечности и стойкости против агрессивного воздействия отходов.

Отсыпку отходов IV класса опасности производится послойно с разравниванием и уплотнением каждого слоя. Уровень отходов в центре карты вы-

полняется выше гребня дамб обвалования, а по периметру – на 0,5 м ниже гребней дамб. Уклон поверхностей от середины к периметру при этом не более 10%. Заполненную отходами карту изолируют уплотненным слоем местного грунта толщиной 0,5 м с добавлением 10 % растительного грунта в верхнем слое толщиной 0,2 м [8].

Отсыпку нерастворимых в воде отходов I, II и III классов опасности в карты необходимо предусматривать по принципу «от себя» сразу на полную высоту. При этом засыпанный до проектной поверхности участок котлована сразу покрывается защитным слоем грунта толщиной не менее 0,5 м, по которому осуществляется дальнейший подвоз отходов. Проезд автотранспорта организуется по временному настилу, размещаемому на защитном слое грунта. Наивысший уровень указанных отходов в центре карты должен быть ниже гребня ограждающей дамбы не менее чем на 0,5 м, а в местах сопряжения с откосами карты по периметру должен быть ниже гребня не менее чем на 2 м [8].

При захоронении пылевидных отходов предусматриваются мероприятия, гарантирующие исключение разноса этих отходов ветром в момент выгрузки из транспорта и при захоронении.

Заполненные нерастворимыми в воде отходами I, II и III классов опасности карты изолируют слоем местного грунта с последующей обработкой верхней части этого слоя.

Толщина изолирующего слоя принимается в каждом конкретном случае в зависимости от свойств загрязняющих веществ на основании результатов опытно-промышленных испытаний, но не менее 2 м, включая первоначальный защитный слой.

Засыпка имеет выпуклую поверхность. На середине карты верх засыпки возвышается не менее чем на 1,5 м над гребнями дамб, а по контуру - стыкуется с ними. При этом предусматривается обработка верхнего слоя засыпки толщиной не менее 0,15 м нефтью или битумом с одновременным добавлением и перемешиванием цемента и уплотнение его гладкими катками. Количество нефти или битума, а также количество активных добавок принимается по таблице 2.2. Изолирующий слой (экран) выходит за габариты карт (на гребни дамб) не менее чем на 2 м по всему контуру, включая ливнеотводные лотки, устраиваемые после консервации карты. При отсутствии между картами постоянного проезда изолирующий слой между соседними картами предусматривается единым [8, 9].

Захоронение твердых и пастообразных негорючих водорастворимых отходов I класса опасности выполняется в специальных герметичных металлических контейнерах. Стенки контейнера имеют толщину не менее 10 мм. Контейнеры подвергают двойному контролю на герметичность — до и после заполнения отходами. Размеры контейнеров не регламентируются, масса заполненного контейнера не более 2 т [8].

Материал из которого изготовлен контейнер обладает коррозионной стойкостью по отношению к отходам, скорость коррозии не превышает 0,1 мм/год.

После заполнения контейнеры с отходами захоранивают в железобетонных бункерах со стенками толщиной не менее 0,4 м из тяжелого бетона класса по прочности на сжатие B15, марки по водонепроницаемости W6 с наружным

торкретированием цементным раствором и затиркой толщиной не менее 20 мм. Предусматривается деление бункеров на отсеки. Объем каждого отсека обеспечивает прием контейнеров с отходами в течение до 2 лет [8, 9].

Таблица 2.2

Расход нефти или битума для обработка верхнего слоя засыпки

Вид грунтов	Число пластичности	Расход нефти или битума, %/ кг/м ²		Количество активных добавок, %/ кг/м ²	
		без активных добавок	с активными добавками	цемента	извести активной (CaO)
Супеси тяжелые пылеватые	3-7	<u>5-8</u> 1,0-1,6	<u>4-5</u> 0,8-1,0	<u>3-4</u> 0,6-0,8	<u>2-3</u> 0,4-0,6
Суглинки:					
легкие и легкие пылеватые	7-12	<u>6-8</u> 1,2-1,6	<u>4-6</u> 0,8-1,2	<u>3-4</u> 0,6-0,8	<u>2-3</u> 0,4-0,6
тяжелые и тяжелые пылеватые	12-17	<u>8-10</u> 1,6-2,0	<u>6-8</u> 1,2-1,6	<u>4-5</u> 0,8-1,0	<u>3-4</u> 0,6-0,8

В бункере предусматривается не менее пяти отсеков. Кроме этого, предусматривается гидроизоляция всей поверхности бункера, соприкасающейся с грунтом. Подтопление бункера грунтовыми водами не допускается.

Для защиты отсеков от попадания дождевых вод выполняется навес с боковым ограждением над всем бункером.

Наивысший уровень складирования контейнеров с отходами в отсеках бункеров находится ниже не менее чем на 2 м верхней кромки этих бункеров. Предусматривается перекрытие заполненных отсеков бункеров железобетонными плитами, последующая засыпка слоем уплотненного грунта толщиной 2 м, после чего выполняют водонепроницаемые покрытия, которые возвышаются над прилегающей территорией и выходят за габариты бункера не менее чем на 2 м с каждой стороны.

Объем готовых карт и бункеров при сдаче полигона в эксплуатацию и дальнейший их задел обеспечивает прием отходов на захоронение в картах в течение 2 лет, а в железобетонных бункерах – в течение 5 лет.

На полигонах допускается захоронение пестицидов в количестве до 300 т. Захоронение пестицидов осуществляется в зависимости от их класса опасности вместе с другими отходами [8, 9].

2.3 Устройство полигона для переработки и захоронения промышленных отходов «Красный Бор»

Первый в СССР опыт по строительству полигонов для захоронения промышленных отходов проведен в Ленинграде, где был сооружен на тщательно

выбранной территории полигон для переработки и захоронения промышленных отходов «Красный Бор» [10].

Бурное развитие промышленности во второй половине прошлого века, привело к образованию на территории Ленинграда и Ленинградской области большого количества предприятий, в результате деятельности которых возникают токсичные отходы.

В результате уже в 60-х годах создание предприятия по централизованной переработке и захоронению промышленных токсичных отходов было необходимым условием для поддержания экологического баланса региона. Такая мера позволила бы локализовать источники загрязнения окружающей среды в одном, специально обустроенном месте, вынести мощности по переработке за пределы городской черты и организовать комплексный подход к переработке [10].

В 1967 г. Ленинградским городским исполнительным комитетом было принято решение о создании экспериментального предприятия - Полигона «Красный Бор». С этой целью в междуречье рек Тосны и Ижоры, на территории Тосненского района, в 6,5 км к юго-востоку от г. Колпино и в 30 км. от Ленинграда был выделен участок площадью 68,7 гектар. Рельеф участка равнинный, с незначительным понижением в северном направлении. Лесные массивы подходят вплотную с восточной, северной и западной сторон. Ближайшие населенные пункты п. Никольское (2,5 км.), п. Красный Бор (1,5 км.) и деревни Феклистово и Мышкино (1,2 км.). На расстоянии 1,2 км. к западу находится карьер кирпичных глин [10].

Выбору места предшествовали многолетние изыскания в Ломоносовском, Пушкинском, Всеволожском, Волховском и Тосненском районах. Однако именно выбранное место максимально ответило предъявленным требованиям:

- благоприятные геологические условия, такие как наличие мощного пласта водоупорных и химически стойких к воздействию отходов кембрийских глин, исключающего проникновение токсичных веществ в подземные воды;
- отсутствие водоносных горизонтов, используемых для водоснабжения;
- отсутствие сезонных затоплений территории паводковыми методами;
- оптимальная удаленность от населенных пунктов и промышленных предприятий — источников отходов.

Геологическая структура пород включает четвертичные и нижнекембрийские отложения. Четвертичные отложения представлены пылеватыми, мелкими и средними песками с редкими включениями гравия и валунов. Мощность слоя – 0,1 – 2,3 м. Этот горизонт содержит небольшое количество грунтовых вод. Нижним слоем четвертичных отложений являются неводоносные, плотные моренные суглинки, от твердой до тугопластичной консистенции. Мощность этих отложений – 0,6 – 3,7 м. Нижнекембрийские отложения, подстилающие четвертичные породы, представлены твердыми и полутвердыми практически водоупорными «синими» глинами. Естественная влажность их – 20 – 24,3 %, пористость – 24,3 %. В пределах полигона глубина залегания глин составляет 1,8 – 4 м, мощность пласта около 70 м. Глины подстилаются песками и песчаниками с прослоями глин Ломоносовской свиты нижнего кембрия мощностью около 20 м [10].

Этот горизонт слабоводоносен, содержит солоноватые воды. Пресных межпластовых вод в пределах полигона нет.

Под полигон была отведена территория площадью 50 га, которая для предотвращения неорганизованного поверхностного стока обвалована. Вал после снятия четвертичных отложений сооружен из утрамбованной кембрийской глины. Для перехвата стока с окружающей территории по внешнему контуру полигона сделан кольцевой канал.

В составе полигона (рис. 2.9) имеются контрольно-пропускной пункт, лаборатория, административное здание и ремонтные мастерские, участки приема и обезвреживания отходов гальванических производств, приема и захоронения органических отходов, захоронения особо вредных отходов, приема и сжигания жидких горючих отходов.

На участке для отходов гальванических производств поступающие материалы, которые имеют влажность до 95 – 98 % и содержат кислые или щелочные растворы солей и гидроокисей тяжелых металлов в концентрации 2 – 2,5 %, сливаются в котлованы глубиной 11 – 12 м и подвергаются нейтрализации и концентрированию упариванием. Накопленный осадок гидроокисей и механических примесей после заполнения котлована засыпается слоем кембрийской глины толщиной 2 – 2,5 м, затем растительным грунтом, после чего производится посев трав, посадка деревьев и декоративного кустарника [10].

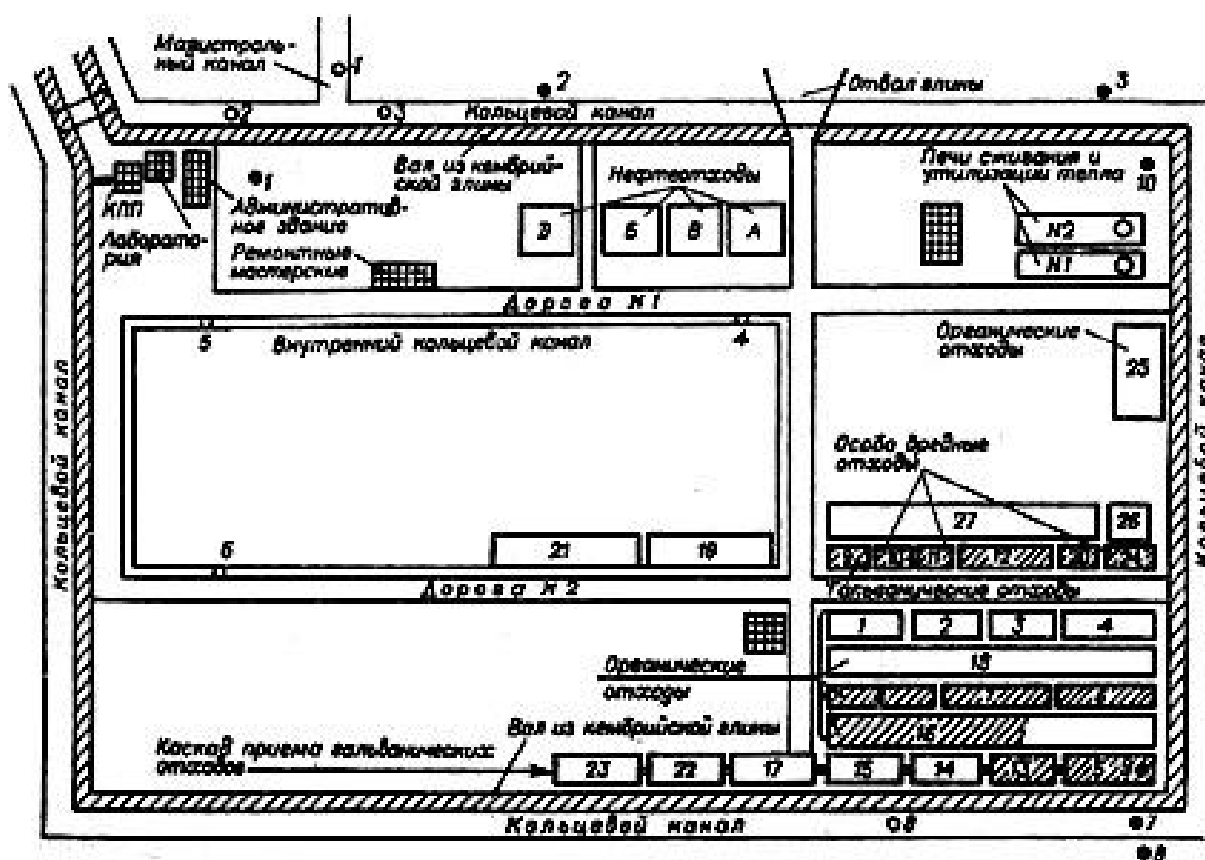


Рис. 2.9 Схема полигона для переработки и захоронения промотходов «Красный Бор»

Органические жидкие отходы (кубовые остатки ректификационных колонн, эмульсия и эмульсолы, отходы красок и лаков, фенольные воды, четыреххлористый углерод с примесями и т. д.) и твердые материалы (эпоксидные, акриловые, полиэфирные смолы, обрезки полиэтиленовой пленки и клеенки, мешки из-под сажи, отходы производства и обработки пластмасс и т. д.) принимаются в котлованы глубиной 15 м. После заполнения котлована загущенным материалом до верхней отметки слоя кембрийской глины отходы покрывают слоем глины толщиной 2 – 2,5 м, поверх которого укладывается растительный грунт, после чего производится посев трав и посадка декоративных деревьев и кустарника [10].

Особо вредные отходы (соединения ртути, фтора, мышьяка, синильной кислоты, желтый фосфор, сероуглерод и др.), поступающие на полигон в герметичной бетонной и металлической упаковке, укладываются в этой таре в котлован. Пространство между контейнерами заполняется кембрийской глиной. После заполнения котлована укладывается слой глины (2 – 2,5 м), растительный грунт, а затем производится посадка растений.

Горючие промышленные отходы, регенерация и утилизация которых не представляются возможными, поступают в емкости и после отделения воды направляются для сжигания в горизонтальные цилиндрические печи оригинальной конструкции. Распыляемые форсунками горючие материалы сжигаются при активной подаче воздуха, температура в камере сжигания достигает 1300 °С. Конструкция установки обеспечивает высокую степень полноты сжигания. Отходящее тепло этих печей используется для упаривания нейтрализованных и осветленных вод отходов гальванического производства.

Территория полигона имеет благоустроенные дороги для подъезда ко всем перечисленным участкам. Годовое количество отходов, поступающих на полигон, достигает 48 тыс. т, в том числе особо токсичных около 50 т [10].

3 ТЕРМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ОБЕЗВРЕЖИВАНИЯ И ПЕРЕРАБОТКИ ОТХОДОВ

3.1 Жидкофазное окисление

Метод жидкофазного окисления («мокрое» сжигание, метод Циммермана) используют для обезвреживания жидких отходов и осадков сточных вод. Суть метода состоит в окислении кислородом воздуха органических и элементоорганических примесей сточной воды при температурах 150 — 350 °С и давлениях 2 — 28 МПа [11].

Одна из принципиальных схем установки жидкофазного окисления приведена на рис. 3.1. Сточную воду из сборника 1 насосом 2 подают через теплообменники 3 и 4 в реактор 7. Сжатый воздух от компрессора 9 поступает в трубопровод сточной воды перед теплообменником 3, поэтому процесс окисления примесей начинается в трубопроводах, теплообменниках, реакторе и завершается в сепараторе 5. Смесь сточной воды и воздуха в теплообменнике 3 нагревается теплом очищенной воды, выходящей из сепаратора 5, а в теплообменнике 4 — теплом водяного пара. Смесь воды, газов и пара из реактора 7 поступает в сепаратор 5, где газы и пар отделяются от жидкости. Парогазовая смесь из сепаратора 5 направляется в блок утилизации энергии: в паровой котел 6, а затем в установку, состоящую из мотора-генератора 8, компрессора 9 и парогазовой турбины 10. Выхлопные газы из турбины выбрасываются в атмосферу. Очищенная от органических примесей, но содержащая минеральные вещества сточная вода из теплообменника 3 направляется в канализацию [11].

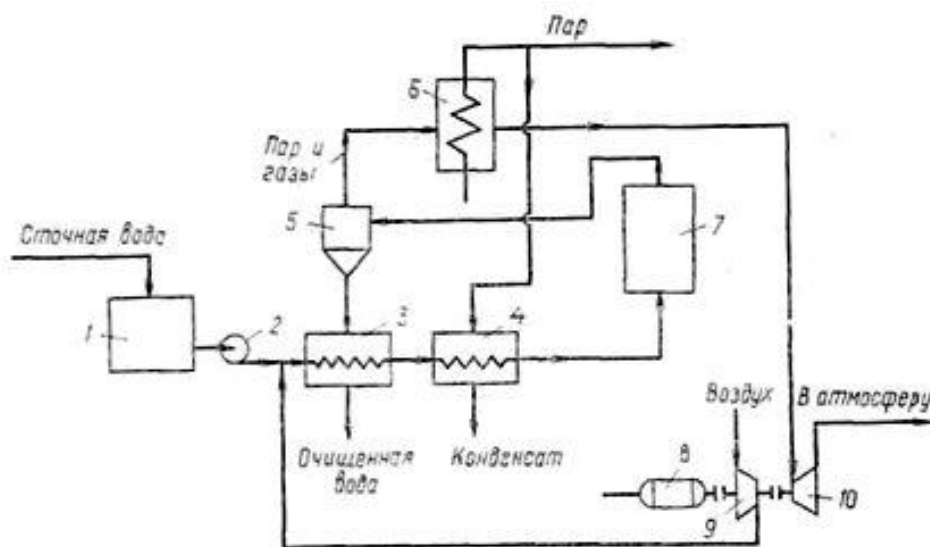


Рис. 3.1 Схема установки жидкофазного окисления:

- 1 — сборник сточной воды; 2 — насос высокого давления; 3, 4 — теплообменники; 5 — сепаратор; 6 — паровой котел; 7 — реактор; 8 — мотор-генератор; 9 — компрессор; 10 — парогазовая турбина

При низкой концентрации окисляющихся примесей в сточной воде (менее 3%), соответствующей теплоте сгорания менее 0,84 МДж/кг, тепловыделение недостаточно для покрытия потребностей установки в тепловой и механической энергии. В этом случае паровой котел из схемы исключают, а мотор-генератор наряду с парогазовой турбиной используют в качестве электрического привода компрессора.

В диапазоне теплот сгорания сточной воды 0,84 – 1,68 МДж/кг (концентрация окисляющихся примесей 3 – 6%) процесс самообеспечен тепловой и частично механической энергией. При теплоте сгорания выше 1,68 МДж/кг (т. е. концентрации примесей более 6%) значительная часть воды превращается в пар; при этом энергия парогазовой смеси полностью покрывает потребности установки в тепловой и механической энергии, а часть энергии может быть использована для выработки электроэнергии и пара [11].

Интенсивному окислению в жидкой фазе способствует высокая концентрация растворенного в воде кислорода, значительно возрастающая при высоких давлениях. В зависимости от температуры, давления, концентрации примесей, количества окислителя и продолжительности контактирования, органические примеси окисляются либо с образованием органических кислот (в основном уксусной и муравьиной) и других промежуточных продуктов [11], либо полностью, с образованием CO_2 , H_2O и N_2 . Элементоорганические соединения в щелочной среде окисляются с образованием водных растворов солей (хлоридов, бромидов, фосфатов, нитратов и др.) и оксидов металлов. При окислении соединений, содержащих азот, помимо нитратов образуется значительное количество аммонийного азота [11]. Такие сточные воды нуждаются в доочистке концентрированием, сушкой или другими методами.

Основное преимущество жидкофазного окисления перед другими термическими методами состоит в меньших затратах энергии на процесс, поскольку сточная вода подвергается лишь частичному испарению, а пары не перегреваются до высоких температур (как, например, при огневом методе). Однако этому методу присущ и ряд недостатков: высокая стоимость и сильная коррозия оборудования; образование накипи на поверхностях нагрева теплообменников, усложняющее эксплуатацию установок; неполное окисление некоторых химических веществ; невозможность обезвреживания сточных вод с высокой теплотой сгорания; необходимость доочистки сильно минерализованных сточных вод; высокие требования к эксплуатации установок и квалификации обслуживающего персонала.

3.2 Гетерогенный катализ

Метод гетерогенного катализа применяют для обезвреживания газообразных отходов (термокаталитическое окисление, термокаталитическое восстановление) и жидких отходов (парофазное каталитическое окисление).

Термокаталитическое окисление используют для обезвреживания газообразных отходов с низкой концентрацией горючих примесей, когда применение других термических методов связано с большими расходами топлива. Процесс

окисления на катализаторах осуществляют при температурах ниже температур самовоспламенения горючих составляющих отхода. При использовании активных катализаторов процесс окисления идет при 250 — 400 °С. Температура начала реакции окисления зависит в основном от природы окисляющихся примесей и активности катализатора. Наиболее низкие температуры начала реакции окисления характерны для катализаторов из металлов платиновой группы, а наиболее высокие — для оксидов металлов (алюминия, меди, хрома, марганца, кобальта и др.) и некоторых природных руд (боксит, пиролюзит). Применение дешевых катализаторов с высокой температурой начала реакции окисления (менее активных) приводит к увеличению габаритов установок и повышенному расходу топлива, необходимого для поддержания более высокого температурного режима окисления [11].

В термокаталитических реакторах успешно окисляются оксид углерода, водород, углеводороды, аммиак, фенолы, альдегиды, кетоны, пары смол, канцерогенные и другие соединения с образованием CO_2 , H_2O , N_2 . Степень окисления этих веществ может быть очень высокой — до 98 — 99,9%. Катализаторы используют в виде сеток, листов и таблеток различной формы. Для увеличения удельной поверхности катализаторов и экономии дорогих металлов применяют керамические пористые носители из оксида алюминия и других материалов, также обладающих каталитической активностью. Металл наносят также на сетки и перфорированные листы из жаростойкой стали. Средний срок службы катализаторов обычно составляет 1 — 3 года [11].

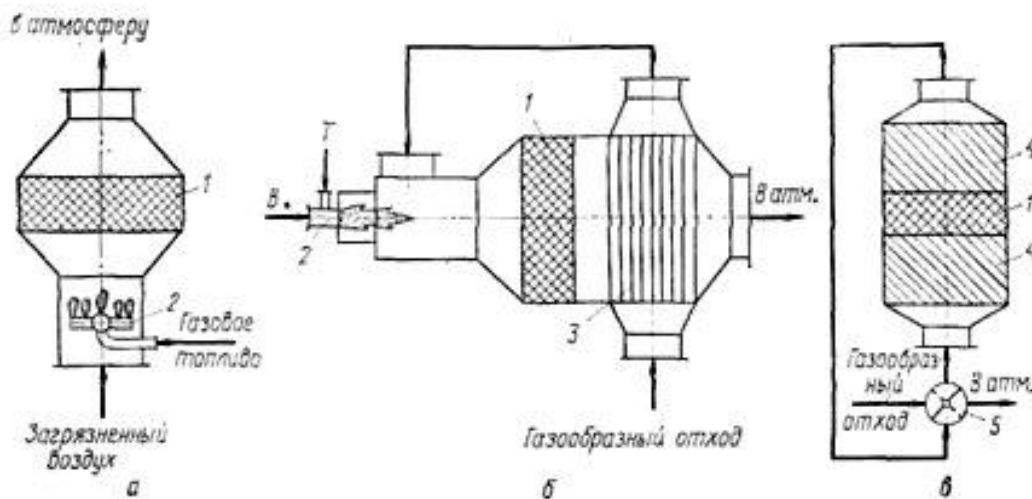


Рис. 3.2 Схемы термокаталитических реакторов:

а — без теплообменника (для обезвреживания вентиляционных выбросов); б — с рекуперативным теплообменником (для обезвреживания инертных газов); в — с регенеративным теплообменником; 1 — слой катализатора; 2 — горелочное устройство; 3 — рекуперативный теплообменник; 4 — слой инертного материала; 5 — перекидной клапан; Т — топливо; В — воздух

Газообразные отходы подогревают в теплообменниках за счет тепла отходящих из реактора газов. При малом адиабатическом разогреве газообразных отходов в реакторе (при низкой концентрации горючих компонентов в отходе)

температурный напор в теплообменнике мал, и для требуемого подогрева газообразного отхода необходимы очень большие поверхности нагрева рекуперативных теплообменников. В этих случаях целесообразно либо повышать концентрацию горючих компонентов в отходах, добавляя к ним некоторое количество газообразного топлива, либо догревать газообразный отход после теплообменника (при умеренном его подогреве в теплообменнике) до необходимой температуры, подмешивая к нему продукты сгорания топлива (рис. 3.2, а, б).

Современные промышленные катализаторы глубокого окисления (алюмоокисномедные, алюмомеднохромовые, алюмомед-нооксидные) устойчивы при температурах до 600 – 800 °С. При более высоких температурах катализаторы дезактивируются и механически разрушаются. Поэтому применение термokatалитического метода для обезвреживания газообразных отходов с высокой концентрацией горючих компонентов нецелесообразно. Разбавление газообразных отходов воздухом или дымовыми газами с целью снижения адиабатического разогрева приводит к увеличению расхода катализаторов и других затрат на обезвреживание. Отвод избыточного тепла из слоя катализатора существенно усложняет конструкцию и эксплуатацию термokatалитических реакторов [11].

Термokatалитические реакторы не следует применять при большом содержании пыли и водяных паров в газообразных отходах ввиду дезактивации катализаторов. Каталитическое окисление неприменимо для отходов, содержащих высококипящие или высокомолекулярные соединения, вследствие неполного их окисления и забивания поверхности катализатора. Нельзя применять каталитическое окисление и при наличии в газообразных отходах катализаторных ядов. Многие вредные вещества даже в очень малых концентрациях (фосфор, свинец, мышьяк, ртуть, сера, галогены и их соединения и др.) могут вызывать отравление катализаторов.

Термokatалитическое восстановление используют при обезвреживании некоторых типов газообразных отходов, например нитрозных газов, содержащих оксиды азота.

Парофазное каталитическое окисление заключается в переводе органических примесей сточной воды в парогазовую фазу с последующим их каталитическим окислением кислородом воздуха. При содержании в сточных водах неорганических и нелетучих соединений этот метод дополняют огневым или другими видами обезвреживания кубовых остатков, т. е. он является составной частью комбинированных методов обезвреживания сточных вод [11].

Для перевода летучих органических веществ сточной воды в парогазовую фазу применяют выпарные аппараты, насадочные и безнасадочные скрубберы-испарители, работающие на подогретом воздухе или топочных газах. Для окисления органических веществ парогазовой фазы используют те же катализаторы, что и при каталитическом обезвреживании газообразных отходов.

Термokatалитические реакторы могут найти применение в комбинированных установках для обезвреживания сточных вод сложного состава, содержащих летучие и нелетучие органические и неорганические примеси.

К основным достоинствам парофазового каталитического окисления относятся большая производительность установок, высокая полнота окисления примесей – до 99,8% [11], низкие удельные затраты энергии. Методу присущи все перечисленные выше недостатки и ограничения, которые характерны для термокаталитического обезвреживания газообразных отходов. Серьезным недостатком метода является быстрая дезактивация катализатора при наличии в парогазовой смеси капельной влаги, содержащей растворенные минеральные соединения.

Ввиду ограниченных возможностей метод парофазного каталитического окисления пока не нашел широкого применения для обезвреживания промышленных сточных вод.

Ряд недостатков метода парофазного каталитического окисления примесей сточных вод можно устранить, используя реакторы с псевдооживленным слоем катализатора и регулируемым отводом тепла с помощью помещенного в слой поверхностного теплообменника [11]. При этом отпадает необходимость в предварительном испарении сточной воды и перегреве парогазовой фазы. Сточную воду вводят непосредственно в псевдооживленный слой катализатора, что существенно упрощает установку обезвреживания, снижает ее металлоемкость и затраты энергии на процесс, а также предотвращает дезактивацию катализатора при обезвреживании слабо минерализованных сточных вод. Наличие теплообменника в слое катализатора позволяет обезвреживать сточные воды с высокой концентрацией окисляющихся примесей.

Использование термокаталитических реакторов с псевдооживленным слоем катализатора расширяет область применения парофазного каталитического окисления и позволяет улучшить его технико-экономические показатели. Однако эти реакторы имеют следующие недостатки: повышенное истирание катализатора, необходимость очистки газов от катализаторной пыли, применение высоконапорных дутьевых средств.

3.3 Газификация отходов

Газификация предназначена для переработки твердых, жидких и пастообразных отходов с получением горючего газа, смолы и шлака. Газификацию осуществляют на воздушном, паровоздушном и парокислородном дутье в механизированных шахтных газогенераторах с вращающимися колосниковыми решетками и твердым шлакоудалением; в газогенераторах с псевдооживленным слоем; в шахтных газогенераторах с фурменной подачей дутья и жидким шлакоудалением (горновой метод) [11].

Переработка отходов газификацией имеет следующие преимущества по сравнению с методом сжигания: получаемые горючие газы могут быть использованы в качестве энергетического и технологического топлива, в то время как при сжигании практически возможно только энергетическое использование теплоты отходов (получение водяного пара или горячей воды); получаемая смола может быть использована как жидкое топливо и как химическое сырье; сокращаются выбросы золы и сернистых соединений в атмосферу.

При газификации на воздушном и паровоздушном дутье получают генераторный газ с низкой теплотой сгорания – $3,5 — 6 \text{ МДж/м}^3$. Такой газ непригоден для транспортировки и может быть использован на месте производства в низкотемпературных огнетехнических установках. При парокислородной газификации получают генераторный газ с повышенной теплотой сгорания – до 16 МДж/м^3 [53]. Его можно транспортировать потребителям, расположенным на значительных расстояниях от газогенераторной станции. Парокислородный генераторный газ имеет высокую адиабатическую температуру горения, поэтому может быть использован для отопления высокотемпературных печей. Он является также ценным химическим сырьем (содержание H_2 и CO доходит до 70%) [11].

Газификацию отходов подразделяют на прямую и обратную – соответственно с противоточным и прямоточным движением отходов и дутья.

Процесс прямой газификации связан с образованием значительного количества смолопродуктов. Для их выделения применяют сложную и дорогостоящую технологию очистки, в процессе которой появляются загрязненные различными соединениями сточные воды, подлежащие очистке или термическому обезвреживанию. Все это усложняет и удорожает газификацию, а при получении низкосортной смолы прямая газификация становится нерентабельной.

Для получения бессмольного генераторного газа применяют обратный процесс газификации. В этом случае пары смолы проходят через высокотемпературную кислородную зону газогенератора, а затем через восстановительную зону, где подвергаются термическому разложению и частичному окислению. При этом увеличиваются выход горючего газа и его теплота сгорания, отпадает необходимость в очистке газа от смолы. Обратный метод газификации позволяет без увеличения уноса интенсифицировать процесс путем форсирования дутья, однако условия сушки и разложения отходов неблагоприятны. Тепло в зоны передается в основном теплопроводностью и частично излучением, поэтому для газификации по обратной схеме пригодны отходы с повышенной теплопроводностью, предварительно подсушенные [11].

При повышенном содержании серы в отходе газификация позволяет перевести серу в газовую фазу в основном в виде сероводорода, от которого генераторный газ можно очистить, предотвратив выброс сернистых соединений в атмосферу. Газификация содержащих серу отходов в псевдоожиженном слое извести позволяет уловить до 90% серы [11].

Газификация отходов, содержащих легкоплавкую золу, в газогенераторах с твердым шлакоудалением вызывает серьезные затруднения при эксплуатации последних (нарушение газопроницаемости слоя, образование прогаров и т. п.). При шлаковании снижается производительность газогенератора, ухудшается качество газа; для налаживания нормального режима работы требуются значительные затраты тяжелого ручного труда. Отходы, содержащие легкоплавкую золу, целесообразно газифицировать в газогенераторах с жидким шлакоудалением, работающих при повышенных температурах. Для проведения такого процесса к отходам добавляют уголь, воздух подогревают до 1000°C , воздушное дутье обогащают кислородом; все это существенно усложняет и удорожает процесс газификации [11].

При жидком шлакоудалении шлак абсолютно стерилен и после гранулирования может быть использован для строительства дорог и для других целей. Однако наблюдается повышенный вынос с генераторным газом тяжелых металлов, загрязняющих атмосферный воздух или воду. При твердом шлакоудалении тяжелые металлы фиксируются в шлаке.

Процесс газификации пригоден для переработки ограниченного числа отходов, причем только дробленых, сыпучих, газопроницаемых. Пастообразные, крупногабаритные твердые отходы, плавящиеся при низких температурах (банки, бидоны с засохшими красками и другими продуктами и т. п.) и подобные отходы трудно перерабатывать методом газификации.

3.4 Пиролиз отходов

Существуют следующие разновидности метода: окислительный пиролиз с последующим сжиганием пиролизных газов; сухой пиролиз.

Окислительный пиролиз – это процесс термического разложения отходов при их частичном сжигании или непосредственном контакте с продуктами сгорания топлива. Окислительный пиролиз является одной из стадий процесса газификации. Газообразные продукты разложения отходов смешиваются с продуктами сгорания топлива или части отходов, поэтому на выходе из реактора они имеют низкую теплоту сгорания, но повышенную температуру. Затем смесь газов сжигают в обычных топочных устройствах. В процессе окислительного пиролиза образуется твердый углеродистый остаток (кокс), в то время как твердый остаток процесса газификации является минеральным продуктом (зола и шлак). В дальнейшем кокс можно использовать в качестве твердого топлива или в других целях [11, 12, 13].

Метод окислительного пиролиза с последующим сжиганием пиролизных газов универсален в отношении фракционного состава и фазового состояния отходов, их влажности и зольности. Окислительному пиролизу могут быть подвергнуты многие производственные отходы, «неудобные» для сжигания или газификации. Этим методом можно ликвидировать вязкие, пастообразные отходы; влажные осадки; пластмассы; шламы с большим содержанием золы; загрязненную мазутом, маслами и другими соединениями землю; сильно пылящие отходы с легко увлекаемыми газом частицами; отходы, содержащие соли и металлы, которые плавятся и возгораются при нормальных температурах сжигания; отработанные шины, кабели в измельченном состоянии; автомобильный скрап и т. п. Обычно окислительный пиролиз проводят при 600 – 900 °С (температура нагрева отходов) [11, 12, 13].

При сжигании газов пиролиза дымовые газы меньше загрязнены летучей золой и сажой, чем при прямом сжигании отходов, что позволяет использовать их без дополнительной очистки для выработки водяного пара и в других целях. Имеются сведения, что тяжелые металлы, содержащиеся в отходах, фиксируются в коксовом остатке; кроме того, при пиролизе шестивалентный токсичный хром превращается в нетоксичный трехвалентный [11, 12].

Окислительный пиролиз отходов осуществляют во вращающихся барабанных реакторах, в шахтных реакторах с вращающимся подом (по типу карусельных печей металлообрабатывающей промышленности), в многоподовых реакторах, в реакторах с псевдоожиженным слоем [11].

Сухая перегонка (сухой пиролиз)—это метод термической переработки отходов, обеспечивающий их высокоэффективное обезвреживание и использование в качестве топлива и химического сырья, что способствует созданию безотходных и малоотходных технологий и рациональному использованию природных ресурсов.

Под сухим пиролизом понимают процесс термического разложения отходов, твердого и жидкого топлива без доступа кислорода. В результате сухого пиролиза отходов образуются пиролизный газ с высокой теплотой сгорания, жидкие продукты и твердый углеродистый остаток. Количество и качество продуктов сухого пиролиза зависят от состава отходов и температуры процесса. В зависимости от температуры различают три вида сухого пиролиза:

- низкотемпературный пиролиз, или полукоксование ($450 - 550^{\circ}\text{C}$), при котором максимален выход жидких продуктов и твердого остатка (полукокса) и минимален выход пиролизного газа с максимальной теплотой сгорания;
- среднетемпературный пиролиз, или среднетемпературное коксование (до 800°C), при котором выход газа увеличивается при уменьшении его теплоты сгорания, а выход жидких продуктов и коксового остатка уменьшается;
- высокотемпературный пиролиз, или коксование ($900 - 1050^{\circ}\text{C}$), при котором минимален выход жидких продуктов и твердого остатка и максимален выход пиролизных газов с минимальной теплотой сгорания.

Низкотемпературный пиролиз отходов осуществляют с целью получения первичной смолы – наиболее ценного источника жидкого топлива и различных химических продуктов. Сухой пиролиз некондиционных каучуков позволяет получать мономеры, которые могут быть вновь использованы в производстве синтетических каучуков. Полукокс содержит некоторое количество летучих и может быть использован в качестве энергетического и бытового топлива [11, 12].

Основной целью высокотемпературного сухого пиролиза отходов является получение высококачественного горючего газа. При высокотемпературном сухом пиролизе первичные пары смолы и пиролизный газ, двигаясь через слой отходов и соприкасаясь с раскаленными стенками реактора и поверхностью уже образовавшегося кокса, подвергаются вторичным изменениям. Первичная легкая смола термически разлагается с выделением горючих газов, тяжелой смолы и смоляного кокса. Подвергается термическому разложению и первичный пиролизный газ. В результате этих процессов уменьшается выход смолы и содержание в ней легких ценных фракций. За счет разложения первичной смолы увеличивается выход пиролизного газа. Снижение теплоты его сгорания происходит вследствие разложения углеводородных компонентов первичного пиролизного газа. Обычно теплота сгорания пиролизного газа

$Q = 12 — 15 \text{ МДж/м}^3$; такой газ можно транспортировать на значительные расстояния [11].

Кокс, получаемый при сухом пиролизе отходов, можно использовать в различных целях, в зависимости от его состава и физических свойств. При пиролизе твердых отходов нефтеперерабатывающих производств кокс с зольностью до 50% после небольшой дополнительной обработки может быть применен в качестве заменителя природных и синтетических углеродсодержащих материалов [69]. Коксовый остаток после пиролиза осадков сточных вод можно использовать в качестве сорбента на станциях водоподготовки и очистки сточных вод [70, 71]. При пиролизе изношенных автомобильных покрышек получают газовую сажу, широко используемую в производстве резиновых технических изделий, пластмасс, типографских красок, пигментов [11]. Возможны и другие направления использования твердого углеродистого остатка.

Сухой пиролиз отходов можно осуществлять в реакторах с внешним и внутренним обогревом. Внешний обогрев применяют в реакторах в виде вертикальных реторт [11, 12], во вращающихся барабанных реакторах [11]. В этих аппаратах пиролизные газы не подвергаются какому-либо разбавлению газовыми теплоносителями, поэтому характеризуются высокой теплотой сгорания. Ввиду отсутствия фильтрации через слой отходов газовых теплоносителей пиролизный газ этих реакторов содержит минимальное количество пыли.

На рисунке 3.3 в качестве примера приведена конструктивная схема реактора для сухого пиролиза твердых отходов. Реактор представляет собой вертикальную кирпичную шахту 1 с помещенной внутри нее ретортой 2. Предварительно измельченные отходы загружают в реторту, обогреваемую снаружи дымовыми газами. Газовые горелки 3 для отопления реактора расположены в нижней его части; выход дымовых газов предусмотрен в верхней части. Отходы движутся сверху вниз под действием силы тяжести; скорость их движения регулируется скоростью удаления твердого остатка из узла гашения 4. Процесс пиролиза непрерывен [11].

Летучие вещества, образующиеся в процессе термического разложения отходов, движутся в реторте прямооток с отходами. Поэтому вещества, выделившиеся в верхней части реторты, в нижней высокотемпературной части подвергаются вторичному пиролизу. При высоких температурах в нижней части реторты (до 1000°C) возможно получение практически бессмольного газа. Поддерживая нагрев отходов на уровне $500 — 550^\circ\text{C}$, можно получить максимальный выход первичной смолы. Пиролизный газ из реактора обычно направляют на очистку от пыли, летучих солей и смолы. Часть очищенного пиролизного газа (до 40 — 50%) возвращают в реактор для отопления [11].

Твердый остаток гасят водой и выводят из реактора через гидравлический затвор, что исключает подсос воздуха к пиролизному газу на выходе из реактора.

Исследования процессов сжигания, окислительного и сухого пиролиза различных осадков сточных вод позволили установить, что сухой пиролиз наиболее экономически эффективен и оказывает наименьшее влияние на окружающую среду [11]. Наиболее эффективным способом утилизации твердых органических отходов на современном уровне развития техники также признан

пиролиз [11]. Наиболее перспективным считают пиролиз специальных промышленных отходов, прямое сжигание которых затруднено, а также осадков сточных вод.

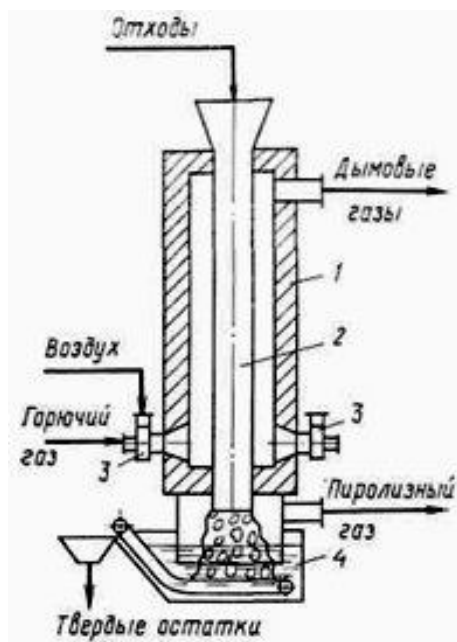


Рис. 3.3 Схема реактора для сухого пиролиза твердых отходов:

- 1 — кирпичная шахта; 2 — металлическая реторта; 3 — газовые горелки;
4 — узел гашения и удаления твердого остатка

3.5 Плазменный метод

Плазменный метод применяют для обезвреживания жидких и газообразных отходов двумя путями: плазмохимической ликвидацией особо опасных высокотоксичных отходов; плазмохимической переработкой отходов с целью получения товарных продуктов [11].

Особо токсичные, канцерогенные и другие опасные отходы, на которые установлены жесткие нормы ПДК в воздухе, воде и почве, могут подвергаться обезвреживанию в плазме [11]. При температурах выше 4000 °С за счет энергии электрической дуги в плазмотроне молекулы кислорода и отходов расщепляются на атомы, радикалы, электроны и положительные ионы. При остывании в плазме протекают реакции с образованием простых соединений CO_2 , H_2O , HCl , HBr , P_4O_{10} и др. Степень разложения полихлорбифенилов, метилбромидов, фенилртуть-ацетата, хлор- и фосфорсодержащих пестицидов, полиароматических красителей достигает 99,9998%. Испытания, включающие деструкцию смесей ССЦ с метилэтилкетон и водой и деструкцию трансформаторного масла, содержащего 13 – 18% полихлорированных бифенилов и столько же трихлорбензола, показали, что эффективность уничтожения хлорсодержащих компонентов превысила 99,99995% [11]. Отходящие из плазмо-химического реактора газы перед выбросом в атмосферу очищают от кислот и ангидридов известными способами.

Более перспективно применение плазменного метода для переработки отходов в восстановительной среде с целью получения ценных товарных продуктов.

Имеются опытно-промышленные установки пиролиза жидких хлорорганических отходов в низкотемпературной восстановительной плазме, позволяющий получать ацетилен, этилен, хлороводород и продукты на их основе [11]. Получение этилена и ацетилена из жидких органических отходов возможно и без применения плазменной технологии – путем пиролиза отходов в потоке продуктов неполного сгорания топлива в кислороде при температурах до 1800 °С [11].

Принципиальная схема плазменного агрегата для переработки жидких хлорорганических отходов представлена на рисунке 3.4. Плазмообразующий газ (водород, азотоводородная смесь и др.) нагревается электрической дугой в плазмотроне 1 до 4000 — 5000 °К. Образующаяся низкотемпературная плазма из сопла плазмотрона поступает в плазмохимический реактор 2, куда форсунками впрыскиваются хлорорганические отходы. При смешении отходов с плазмой происходит их испарение, термическое разложение (пиролиз) с получением олефиновых углеводородов, хлороводорода и технического углерода (сажи). Пиролизный газ подвергают скоростной закалке в закалочном устройстве 3, а затем охлаждают, очищают от сажи, осуществляют селективную очистку от гомологов ацетилена и углеводородов C₃ и C₄. Очищенный газ направляют на синтез хлорорганических продуктов [11]. Процесс является замкнутым, безотходным, рентабельным. Экономический эффект заключается в снижении себестоимости получаемых продуктов за счет использования не утилизируемых отходов.

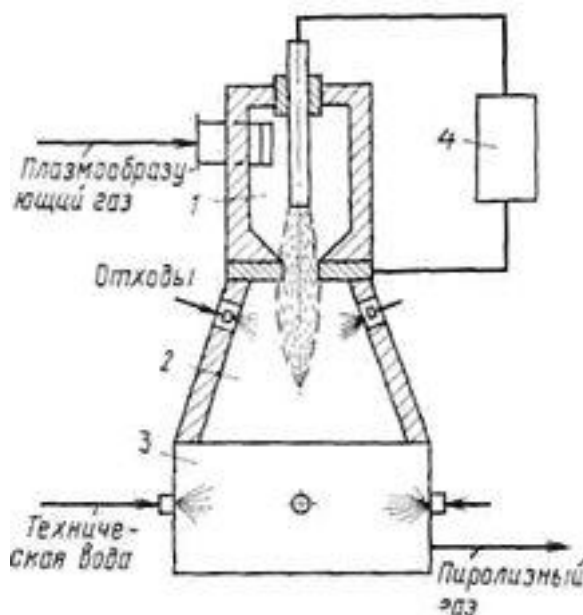


Рис. 3.4 Схема плазменного агрегата:

- 1 — плазмотрон; 2 — плазмохимический реактор; 3 — закалочное устройство;
4 — источник электропитания

При использовании водородного плазмотрона для переработки фторхлорорганических отходов удается получать газы, содержащие до 95 – 98% (масс.) HCl и HF , что обеспечивает получение кислот любой концентрации [11].

3.6 Огневой метод

Метод огневого обезвреживания и переработки жидких, твердых, пастообразных и газообразных отходов наиболее универсален, надежен и эффективен по сравнению с другими термическими методами. Сущность его заключается в сжигании горючих отходов или огневой обработке негорючих отходов высокотемпературными (более 1000 °C) продуктами сгорания топлива. Токсичные компоненты подвергаются окислению, термическому разложению и другим химическим превращениям с образованием безвредных газов (CO_2 , H_2O , N_2) и твердых остатков (оксидов металлов, солей) [11].

Возможность полного превращения органических и окисляющихся неорганических примесей при высоких температурах в безвредные продукты полного горения обуславливает высокую санитарно-гигиеническую эффективность огневого метода обезвреживания. Указанная возможность реализуется при обеспечении определенных режимных параметров процесса — температуры в огневом реакторе, удельной нагрузки рабочего объема реактора, дисперсности распыливания, аэродинамической структуры и степени турбулентности газового потока в реакторе и др.

3.6.1 Классификация огневого метода. В зависимости от типа отхода и способа обезвреживания огневой метод подразделяют на три типа: сжигание, огневой окислительный метод, огневой восстановительный метод.

Сжигание отходов, способных гореть самостоятельно (горючих отходов) — наиболее простой и надежный метод их обезвреживания. Для обеспечения устойчивого процесса горения сжигание отходов осуществляют при температуре отходящих газов не ниже 1200 — 1300 °C [8, 9, 11].

Негорючие отходы можно перевести в горючие. Например, негорючие газообразные отходы с высокой концентрацией горючих компонентов можно превратить в горючие и обезвредить их сжиганием, проведя специальные мероприятия для повышения их адиабатической температуры горения до 1400 °C. К таким мероприятиям относятся подмешивание к газообразным отходам горючих газов с высокой теплотой сгорания; использование в качестве дутья технического кислорода или воздуха, обогащенного кислородом; предварительный подогрев газообразного отхода и окислителя.

Наиболее целесообразным способом повышения адиабатической температуры горения отходов является их предварительный подогрев за счет теплоты отходящих из камеры сжигания дымовых газов. Иногда целесообразен и подогрев дутьевого воздуха. В этом случае можно обезвредить газообразные отходы автотермическим способом. При этом топливо потребуется только для запуска установки.

Огневой окислительный метод обезвреживания негорючих отходов заключается в следующем. Отход вводят в поток высокотемпературных продук-

тов сгорания топлива. При смешении газообразного отхода с дымовыми газами происходит его нагрев и окисление горючих компонентов за счет кислорода дымовых газов или кислорода, содержащегося в отходе. Процесс окисления обычно протекает как гомогенная объемная реакция, без формирования фронта пламени. Метод применяют для обезвреживания негорючих газообразных отходов с достаточно высокой концентрацией горючих примесей, а также во всех тех случаях, когда невозможно каталитическое окисление (наличие в отходах большого количества пыли и водяных паров, трудно окисляющихся компонентов, каталитических ядов и др.).

Огневое окислительное обезвреживание жидких отходов — сложный физико-химический процесс, состоящий из различных физических и химических стадий. В рабочей камере реактора огневого обезвреживания протекает процесс горения топлива, происходит распыливание и испарение движущихся капель жидких отходов, смешение паров с дымовыми газами, химическое взаимодействие компонентов отхода. Последнее включает следующие процессы: окисление органических и минеральных веществ с образованием нетоксичных газообразных продуктов (CO_2 , H_2O , N_2); окисление органических соединений металлов и взаимодействие образующихся окислов металлов с дымовыми газами с образованием минеральных солей и других соединений (карбонизация, сульфатизация и т. п.); окисление органических соединений серы, фосфора и галогенов с образованием газообразных кислот, их ангидридов и других соединений (оксидов серы, хлорида и фторида водорода, фосфорных кислот, элементарного иода и др.); термическое разложение веществ с высокой упругостью диссоциации; высокотемпературный гидролиз солей (например, гидролиз MgCl_2 с образованием MgO и HCl); реакции между щелочами (содержащимися в отходе и образующимися в процессе огневого обезвреживания) и газообразными кислотами и их ангидридами с образованием различных минеральных солей [11].

При наличии в отходе минеральных примесей процесс осложняется образованием твердых или расплавленных минеральных частиц, уносимых из рабочей камеры реактора с дымовыми газами или улавливаемых на стенках реактора и удаляемых из него. Испарение капель жидких отходов может сопровождаться такими явлениями, как вторичное дробление капель в газовом потоке и на стенках реактора, микровзрывы капель.

Огневое окислительное обезвреживание твердых и пастообразных отходов включает следующие стадии: нагрев и сушку отходов, нагрев с термическим разложением и выделением летучих, зажигание и горение летучих, горение коксового остатка. Процесс сопровождается образованием золы и шлака, дожиганием горючих компонентов в отходящих газах и дожиганием кокса в крупных очаговых остатках.

Отдельные стадии рабочего процесса могут совмещаться во времени и в значительной степени — в пространстве (например, испарение капель и химическое реагирование примесей). Иногда стадии процесса разделены во времени и пространстве (например, сушка, выделение и горение летучих и горение

коксового остатка при сжигании твердых кусковых отходов на слоевой решетке).

Огневой восстановительный метод отличается от огневого окислительного проведением процесса обезвреживания (или только стадии огневой обработки) в восстановительной среде (при отсутствии свободного кислорода в печной атмосфере). Метод используют, например, при обезвреживании газообразных отходов, содержащих оксиды азота.

В зависимости от целевого назначения возможны три разновидности огневого обезвреживания производственных отходов: огневая ликвидация; огневая переработка; огневая регенерация [11].

Огневая ликвидация отходов — уничтожение отходов без получения каких-либо побочных продуктов, пригодных для дальнейшего использования в качестве сырья или товарных продуктов. При этом токсичный отход превращается в безвредные дымовые газы и стерильный шлак, сбрасываемый в отвал. Таким способом обезвреживают многие газообразные выбросы, твердые производственные и бытовые отходы, значительную часть промышленных сточных вод и жидких горючих отходов.

Газообразные выбросы подвергают огневой ликвидации в тех случаях, когда они горючи или по составу близки к горючему газу. Загрязненные вентиляционные выбросы подвергают огневой ликвидации в тех случаях, когда они могут быть использованы в качестве дутья в огнетехнических установках (в паровых и водогрейных котлах, печах, сушилках и т. п.). Иногда вентиляционный воздух, загрязненный дурно пахнущими веществами, а также инертные газообразные выбросы с низкой концентрацией горючих компонентов можно подвергать огневому обезвреживанию, если нет других более эффективных и экономичных методов их очистки.

Огневую ликвидацию (сжигание) твердых бытовых и производственных отходов осуществляют ввиду простоты и надежности этого метода.

Жидкие производственные отходы подвергают огневой ликвидации, когда они горючи, а извлечение из них каких-либо ценных побочных продуктов нецелесообразно ввиду малых количеств отхода, отсутствия разработанной технологии извлечения или вследствие экономической невыгодности этих технологий. Эти отходы следует использовать прежде всего вместо энергетического и технологического топлива в огнетехнических установках. В ряде случаев сжигание этих отходов сопровождается появлением в дымовых газах соединений, приводящих к нежелательным последствиям (коррозия и занос поверхностей нагрева, ухудшение качества продукции в печах и сушилках и др.), что препятствует использованию их в огнетехнических установках. В таких случаях следует проводить огневую ликвидацию отходов в специальных установках.

Огневой ликвидации обычно подвергают и негорючие жидкие отходы (сточные воды) с высокой концентрацией и большим набором примесей, в том числе высокотоксичных, когда другие методы их переработки или очистки не разработаны или слишком сложны и дороги. Обычно выход таких сточных вод относительно невелик, и огневая ликвидация их не связана со слиш-

ком большими затратами топлива. В ряде случаев возможна огневая ликвидация этих сточных вод в промышленных парогенераторах без затрат дополнительного топлива. Иногда приходится подвергать огневой ликвидации и сточные воды с низкой концентрацией и малым числом примесей. К этому способу прибегают как к временной мере, когда для новых видов сточных вод еще не разработаны эффективные способы очистки.

Огневая переработка отходов предназначена в первую очередь для обезвреживания жидких отходов, шламов и некоторых твердых отходов с целью их ликвидации и получения одного или нескольких побочных продуктов. Примерами огневой переработки отходов являются обезвреживание щелочного стока производства капролактама в циклонных реакторах с получением товарной кальцинированной соды [11]; переработка некоторых металлосодержащих шламов и катализаторов с получением чистых металлов или концентратов (например, переработка железосодержащих шламов с получением железного порошка и железокоса, никельсодержащих — с получением никелевого концентрата), которые могут быть использованы в качестве сырья в различных отраслях промышленности [11]; переработка не утилизируемой части бытовых отходов, когда из очаговых остатков извлекают черные металлы, а сами остатки перерабатывают на щебень и гравий.

Огневая переработка наиболее перспективна для высокоминерализованных жидких отходов, когда при большом наборе органических примесей в отходе содержится практически только одно минеральное или металлоорганическое соединение. В этом случае возможно получение продукта в виде расплава или пыли с высоким содержанием минерального соединения, пригодного для использования в качестве сырья в различных производствах. Таким способом можно получать хлорид натрия из сточных вод отбельных цехов производства целлюлозы, сульфат натрия из сточных вод, образующихся при очистке газов от соединений серы, и др.

Огневая регенерация отходов предназначена для извлечения из отходов какого-либо производства реагентов, используемых в этом производстве, или восстановления свойств отработанных реагентов или материалов. Например, огневая обработка некоторых отработанных катализаторов с целью их повторного использования; огневое обезвреживание отработанных растворов из ванн солянокислотного травления металла с получением газообразного HCl и последующим получением товарной соляной кислоты, возвращаемой на травление металла; огневое обезвреживание отработанных растворов из ванн обезжиривания металла с получением фосфатов натрия, возвращаемых в технологический процесс, и др [11].

3.6. 1 Аппараты огневого обезвреживания и переработки отходов.

Слоевые топki. Твердые отходы (бумажные мешки, ветошь, деревянная тара и другие отходы, пропитанные органическими веществами) могут сжигаться в печи, изображенной на рисунке 3.5 [11, 12, 13]. Это двухкамерная печь с перевальной стенкой; в первой камере осуществляется сжигание твердых отходов в слое на неподвижной колосниковой решетке, во второй — дожигание газообразных горючих компонентов. Печь футерована ша-

мотным кирпичом и заключена в металлический каркас. Отходы загружают в печь через бункер, расположенный над ней. Бункер снабжен заслонкой типа мигалки, которая автоматически закрывает его после загрузки. Печь оборудована горелкой для сжигания дополнительного топлива. Агрегатная нагрузка печи — до 100 кг/ч.

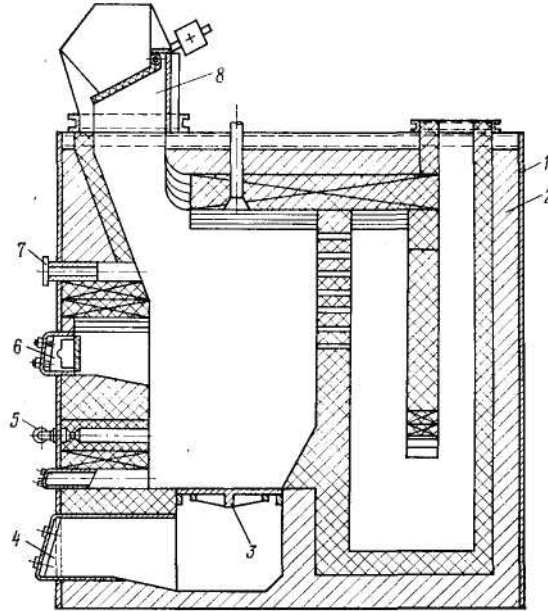


Рис. 3.5 Печь для сжигания твердых отходов:

1 — каркас; 2 — футеровка; 3 — колосниковая решетка; 4 — люк для выгрузки золы; 5 — горелка; 6 — люк для загрузки сырья; 7 — гляделка; 8 — бункер

На рисунке 3.6 представлена схема печи с неподвижной ступенчатой колосниковой решеткой для сжигания твердых отходов [11]. Отходы из бункера 1 через шахту 2 попадают на наклонную или ступенчатую колосниковую решетку 8. Слой отходов 9 под действием собственного веса медленно сползает по решетке к месту выгрузки золы. Органические составляющие отходов сгорают частично в слое, а частично над слоем 5, куда дополнительно подается вторичный воздух через сопло 3. Основное количество воздуха 7 поступает под решетку. Несгоревшие органические вещества вместе с дымовыми газами проходят огнеупорную насадку 4, предназначенную для турбулизации газового потока, и дожигаются в камере 6. Золу удаляют из печи вручную. Агрегатная нагрузка печи — до 300 кг/ч.

Слоевые топочные устройства с колосниковой решеткой нашли ограниченное применение для сжигания осадков сточных вод, в основном в смеси с твердыми бытовыми отходами или твердым топливом. Содержание в отходах компонентов в пластическом состоянии и легкоплавких минеральных веществ приводит к замазыванию и зашлаковыванию колосников.

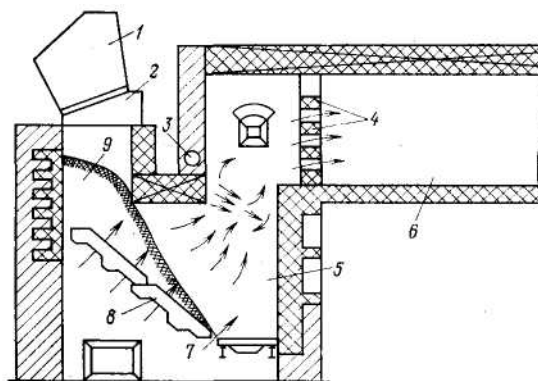


Рис. 3.6 Схема печи с неподвижной колосниковой решеткой:

1 — бункер; 2 — шахта 3 — сопло для подачи вторичного воздуха; 4 — огнеупорная насадка; 5 — первая ступень топки; 6 — камера дожигания (вторая ступень топки); 7 — подача воздуха; 8 — наклонная колосниковая решетка; 9 — слой отходов

Низкие удельные нагрузки по обезвреживаемым отходам, сложность организации топочного процесса, громоздкость и металлоемкость, наличие дорогостоящей решетки, повышенные требования к механизации топочных устройств, высокие капитальные и эксплуатационные расходы, а также другие недостатки слоевых топок не позволяют широко использовать их для сжигания твердых отходов и осадков сточных вод.

Барабанные вращающиеся печи широко применяют за рубежом для огневого обезвреживания твердых отходов и обезвоженных осадков сточных вод.

Печь (рис. 3.7) представляет собой стальной барабан, футерованный огнеупорными материалами, вращающийся с частотой 0,8 — 2 мин. Подлежащие сжиганию твердые отходы (упаковочный материал, пластмассы и др.) с помощью грейфера подают в печь через загрузочную воронку и лоток. Обычно поверхность футеровки гладкая, сжигаемый материал скользит по ней, не переворачиваясь, поэтому для эффективного выгорания органических веществ требуется барабан значительной длины, в ряде случаев 15 — 25 м. Тем не менее наблюдается повышенный недожог органических веществ в дымовых газах, поэтому на выходе из печи устанавливают камеру дожигания, служащую камерой осаждения золы [11].

Температуру в барабанной печи в зависимости от вида отходов поддерживают в интервале 900 — 1400 °С за счет сжигания горючих жидких отходов (отработанных масел, растворителей и др.) или дополнительного топлива.

Уже эксплуатируются централизованные установки с барабанными печами для совместного огневого обезвреживания твердых, пастообразных и жидких отходов с агрегатной нагрузкой от 2 до 6 т/ч (до 50 000 т/год). Установка включает устройства для подготовки и подачи отходов в печь, барабанную печь с камерой дожигания, котел-утилизатор, распылительную сушилку-абсорбер и электрофильтр (тканевый фильтр). Внутренний диаметр вращающейся барабанной печи с агрегатной нагрузкой до 4 т/ч равен 3,6 м [11].

Часть пастообразных, жидких и твердых отходов поступает на установку в металлических и пластмассовых бочках. Бочки, заполненные отходами, подают по рольгангу, с которого бочки поштучно сбрасываются через забор в питательную воронку барабанной печи (до 12 — 15 бочек в час). Остальные твердые отходы поднимают грейферным краном и подают в питательную воронку. Жидкие и текучие пастообразные отходы перекачивают насосами или передавливают азотом и распыливают в печи с помощью пневматических (паровых) форсунок [11].

В России барабанные печи применяют в производстве цемента, для сушки и обжига различных материалов. В практике огневого обезвреживания отходов эти печи не нашли широкого применения.

На рисунке 3.7 приведена схема установки с барабанной печью для сжигания твердых отходов химических производств, разработанная Ростовским-на-Дону институтом Госпластпроект [11].

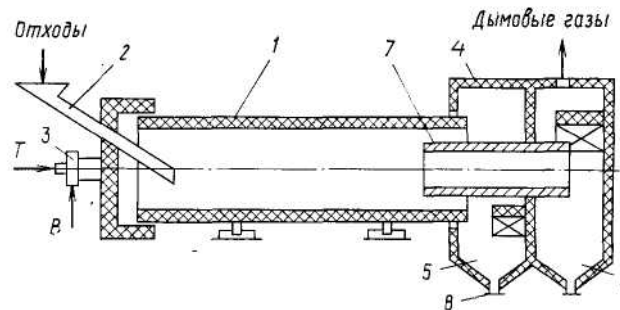


Рис. 3.7 Схема барабанной вращающейся печи для сжигания твердых отходов: 1 — корпус печи; 2 — загрузочное устройство; 3 — горелка; 4 — двухсекционная разгрузочная камера; 5, 6 — золовая и газовая секции; 7 — газоход; 8 — мигалки для удаления золы; Т — топливо; В — воздух

Разделение газового и золового потоков осуществляется непосредственно в топочном устройстве. Узел выгрузки состоит из двух секций, что исключает захват золы, осаждающейся в золовой секции, газовым потоком при дополнительной очистке его в газовой секции (за счет резкого поворота и снижения скорости потока). Основные конструктивные и технологические параметры установки: агрегатная нагрузка — 0,5 т/ч; диаметр корпуса печи — 2,2 м; диаметр газохода — 1,0 м; габариты золовой и газовой секций — 1,5 × 3,8 × 4,8 м [11].

Имеется опыт огневого обезвреживания в барабанных печах механически обезвоженных осадков сточных вод и нефтяных шламов [11].

В Сибирском филиале НПО «Техэнергохимпром» разработаны вращающиеся барабанные печи для сжигания твердых отходов с агрегатной нагрузкой от 200 до 4000 кг/ч, оснащенные вихревыми дожигателями [11]. Дожигатель — это цилиндрическая камера с пережимом, имеющая тангенциальные каналы для ввода отходящих из барабанной печи газов и воздуха. В дожигателе предусмотрены горелочные устройства для сжигания дополнительного топлива с целью поддержания необходимой температуры процесса.

Для огневого обезвреживания сухих твердых отходов и обводненных твердых или пастообразных отходов в одном агрегате разработана вращающаяся печь (рис. 3.8), снабженная камерой предварительной термической обработки насыщенных влагой отходов [11]. Камера предварительной термической обработки снабжена внутренним винтовым гребнем, обеспечивающим движение отходов в камере в направлении, обратном движению их в барабане.

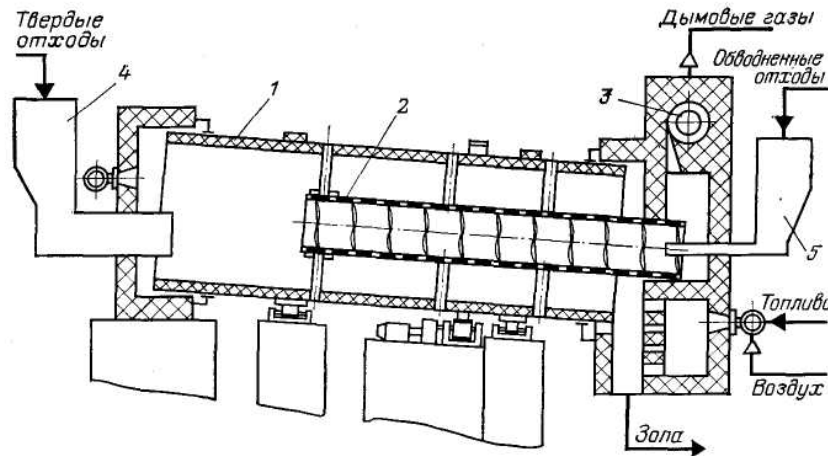


Рис. 3.8 Вращающаяся барабанная печь для обезвреживания насыщенных влагой отходов:

- 1 — барабан; 2 — камера термической обработки; 3 — камера дожигания;
4,5 — устройства для загрузки отходов

Недостатками вращающихся барабанных печей являются низкая удельная тепловая и массовая нагрузка топочного объема, высокие капитальные и эксплуатационные расходы. Футеровка печи при вращении находится в условиях частой смены температуры, что вызывает образование в ней трещин и быстрый выход из строя. Кроме того, с целью уменьшения массы барабана выполняют футеровку небольшой толщины, что вызывает увеличение теплопотерь и перерасход дополнительного топлива на процесс обезвреживания.

В технологическом отношении барабанные вращающиеся печи являются наиболее универсальными аппаратами для сжигания крупнодисперсных отходов переменного состава и различной консистенции. Перспективно применение их на централизованных установках (станциях) совместного обезвреживания твердых и пастообразных отходов с одновременным использованием получаемой теплоты для теплофикации, производства пара, выработки электроэнергии.

Многоподовая печь предложена в 1889 г. Херешофом для обжига пирита в производстве серной кислоты. В дальнейшем она нашла применение в схемах сушки и сжигания обезвоженных осадков сточных вод в США, ФРГ, Японии и других странах.

Типовая схема многоподовой печи приведена на рисунке 3.9. Печь представляет собой вертикальную цилиндрическую стальную камеру, футерованную огнеупорными материалами и имеющую несколько горизонтальных ог-

неупорных подов, размещенных друг над другом. Обычно используют многоподовые печи диаметром от 1,5 до 9,0 м с числом подов от 4 до 14 [11]. К проходящему через всю печь центральному валу над каждым подом прикреплены радиальные мешалки — от двух до четырех на под. Каждая мешалка имеет несколько зубьев или плугов, сгребающих осадок при вращении мешалки. Осадок загружается у периферии верхнего пода, сгребается к центру и опускается во второй под. Здесь он сгребается к отверстиям на периферии, через которые попадает на следующий под. Чередующиеся (центральные и периферийные) отверстия подов и встречное движение восходящего газового потока и опускающегося осадка обеспечивают контакт между горячими дымовыми газами и загружаемым осадком, что способствует полному сжиганию отхода.

Центральный вал чаще всего изготавливают из чугуна, внутри вала размещена труба подачи холодного воздуха. Нагретый воздух из верхней части центрального вала обычно направляется к самому нижнему поду, где используется в качестве дутья.

В многоподовой печи можно выделить четыре зоны: первая (верхние поды) — зона высушивания, где испаряется большая часть влаги; вторая (средние поды) — зона горения; в третьей зоне происходит дожигание органических веществ в шлаке; четвертая (нижние поды) — зона охлаждения шлака воздухом. Последовательность зон всегда неизменна, но число подов в каждой зоне зависит от качества загружаемого отхода, конструкции печи и условий процесса обезвреживания [11].

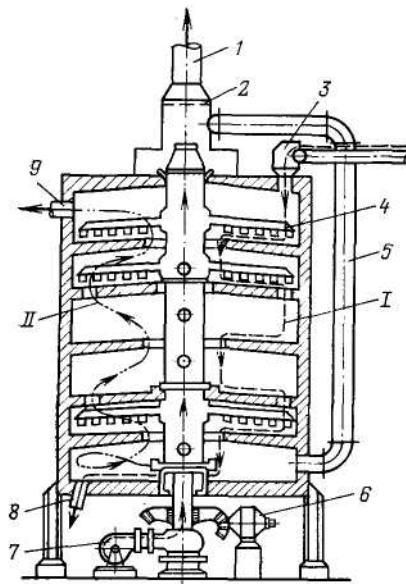


Рис. 3.9. Схема многоподовой печи для сжигания осадков сточных вод:

- 1 — вывод охлаждающего воздуха; 2 — заслонка; 3 — ввод сжигаемого осадка;
 4 — скребковая мешалка; 5 — рециркуляционная труба; 6 — привод мешалки;
 7 — воздуходувка подачи охлаждающего воздуха; 8 — выход золы;
 9 — выход отработанных газов; I — сжигаемый осадок; II — газы

Когда теплота сгорания загружаемого осадка недостаточна для протекания автотермического процесса, в печь (ко всем подам или некоторым из них) вводят дополнительное топливо.

Температура отходящих из печи газов изменяется в пределах 300 — 650 °С и зависит от влажности осадков и содержания в них горючих веществ. Коэффициент избытка воздуха в печи поддерживается равным 1,5 [11].

К недостаткам многоподовых печей следует отнести низкие удельные тепловые и массовые нагрузки топочного объема, приводящие к увеличению габаритов установки; плохой контакт окислителя с частицами осадков (поскольку отработанные газы проходят не через горящий слой отходов, а только над медленно перемешивающимся слоем); наличие вращающихся элементов в зоне высоких температур газов; необходимость применения дорогостоящих жаростойких материалов для изготовления полого вала и скребковых мешалок, подвергающихся воздействию высоких температур и коррозионной среды; необходимость частой замены скребковых зубьев вследствие прогорания их в местах погружения в горящий слой осадков и механической поломки; высокие капитальные и эксплуатационные затраты.

Камерные печи. Простейшим аппаратом для огневого обезвреживания газообразных и жидких отходов является камерная печь, оборудованная горелочными устройствами для сжигания жидкого или газообразного топлива, форсунками для распыливания жидких отходов и соплами для подачи газовых выбросов [11]. Печь представляет собой разделенную двумя перевальными стенками прямоугольную камеру из шамотного кирпича с тепловой изоляцией.

На рис. 3.10 приведена схема камерной печи для огневого обезвреживания жидких отходов, оборудованной дожигательной решеткой [11].

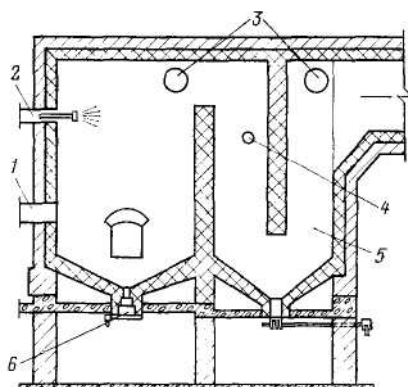


Рис. 3.10 Схема камерной печи для огневого обезвреживания сточных вод:
1 — форсунка для подачи мазута; 2 — форсунка для распыливания стоков; 3 — взрывной клапан; 4 — люк для термопары; 5 — камера для осаждения летучей золы; 6 — затвор для удаления жидкой золы

Принципиальные схемы камерных печей для огневого обезвреживания газообразных отходов приведены на рис. 3.11.

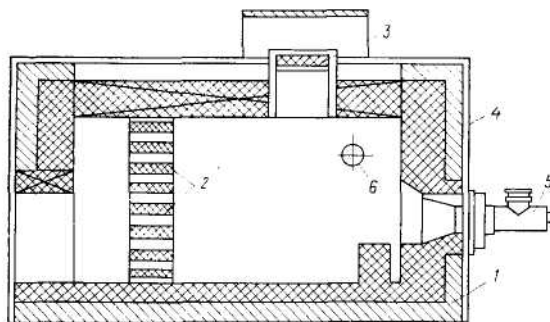


Рис. 3.11 Схема камерной печи для огневого обезвреживания жидких отходов:

- 1 — футеровка; 2 — газораспределительная решетка; 3 — взрывной клапан;
4 — кожух; 5 — горелка; 6 — форсунка для распыливания жидких отходов

Камерные печи без теплообменников для подогрева компонентов горения требуют повышенных расходов топлива. Применение их оправдано только при обезвреживании малых количеств газообразных отходов с высокой концентрацией горючих компонентов. Такие печи дешевы, просты в изготовлении, надежны в эксплуатации.

При больших объемах обезвреживаемых газообразных отходов необходимо использовать теплоту отходящих газов для подогрева отходов и дутьевого воздуха. Для этой цели применяют чаще всего рекуперативные теплообменники, в которых передача теплоты происходит непрерывно через разделительную стенку. С повышением температуры подогрева газообразных отходов и дутьевого воздуха сокращается расход топлива на процесс, но возрастают затраты на сооружение теплообменников вследствие увеличения их поверхности нагрева. Кроме того с повышением температуры подогрева сокращается срок службы теплообменников и для их изготовления требуются дорогие и дефицитные жаростойкие стали. Поэтому оптимальную температуру подогрева отходов и дутьевого воздуха определяют в каждом конкретном случае путем технико-экономических расчетов [11].

Рекуперативные теплообменники, работающие на запыленных и содержащих агрессивные компоненты дымовых газах, подвергаются загрязнению и коррозии что сдерживает их широкое применение в огнетехнических установках. Температура подогрева газов в этих теплообменниках ограничена условиями эксплуатации металлических поверхностей нагрева. Указанные недостатки устранимы при использовании регенеративных теплообменников, в которых теплообмен осуществляется в нестационарном режиме, при чередующихся нагреве и охлаждении теплоаккумулирующей насадки.

Камерные печи для огневого обезвреживания газовых выбросов нашли достаточно широкое применение.

Камерные печи характеризуются низкими удельными нагрузками рабочего объема по жидким отходам — не более $100 \text{ кг} / (\text{м}^3 \times \text{ч})$. Несмотря на это большинство камерных печей не обеспечивает достаточно полного окисления токсичных веществ.

Недостатки камерных печей связаны, главным образом, с неудовлетворительными условиями тепло- и массообмена между продуктами горения топлива и каплями жидких отходов и плохим перемешиванием газообразных продуктов в рабочей камере (низкие скорости и отсутствие в большинстве печей закрутки газового потока, трудность равномерного распределения капельной смеси в продуктах сгорания). При обезвреживании в камерных печах жидких отходов, содержащих наряду с органическими легкоплавкие минеральные вещества, происходит быстрый износ огнеупорной футеровки [88]. Перевод печей с низкими удельными нагрузками на водоохлаждаемую гарниссажную футеровку приведет к большим перерасходам топлива и охлаждающей воды.

Камерные печи характеризуются весьма низким коэффициентом улавливания минеральных веществ в пределах рабочего пространства, что обусловлено прямоточным движением газов. Опыт эксплуатации печей с золоосадительными камерами показал, что минеральные вещества практически не улавливаются в них и в основном выносятся с отходящими дымовыми газами, что усложняет условия работы теплоиспользующей аппаратуры и очистку газов перед выбросом в атмосферу.

Реакторы с псевдоожиженным слоем. Для огневого обезвреживания жидких, твердых и пастообразных отходов применяют реакторы с псевдоожиженным слоем [11]. Основой для разработки конструкций реакторов этого типа явились соответствующие аппараты, применяемые в химической технологии. Принцип работы реакторов с псевдоожиженным слоем состоит в подаче горючих газов (воздуха) через слой инертного материала (песок с размером частиц 1 — 5 мм), поддерживаемого колосниковой решеткой. При критической скорости потока газа инертный слой переходит во взвешенное состояние, напоминающее кипящую жидкость. Поступивший в реактор отход интенсивно перемешивается с инертным слоем, при этом существенно интенсифицируется теплообмен.

Псевдоожижение слоя материала может быть осуществлено в реакторах различных конструкций с горизонтальными перфорированными перегородками, предназначенными для поддержания материала до и после псевдоожижения, а также для равномерного распределения оживающего агента по сечению аппарата (рис. 3.12). Реактор с псевдоожиженным слоем для сжигания осадков изготовляют диаметром от 2,7 до 9 м. Осадки подают в реактор либо над слоем инертного носителя (песка), либо непосредственно в слой. Обычно осадки бытовых сточных вод подают в слой носителя [11].

Процессы в псевдоожиженном слое проводят при температурах, не приводящих к расплавлению или спеканию реагирующих материалов. В псевдоожиженном слое можно сжигать битуминозные сланцы, бурые угли с высоким содержанием золы, углесодержащие остатки после сгорания и т. п. Интенсивное перемешивание частиц при сжигании топлива в таких реакторах обеспечивает высокую теплопередачу между слоем и поверхностями нагрева, погруженными в слой, что приводит к уменьшению габаритов котлоагрегата. Для связывания оксидов серы в псевдоожиженный слой добавляют

известняк или доломит, в результате чего образуется нейтральный сульфат кальция [11].

Начиная с 60-х годов, реакторы с псевдоожиженным слоем получили широкое распространение для сжигания обезвоженных осадков сточных вод [11]. Такие реакторы используют в США, ФРГ, Японии, Франции, Швейцарии и других странах.

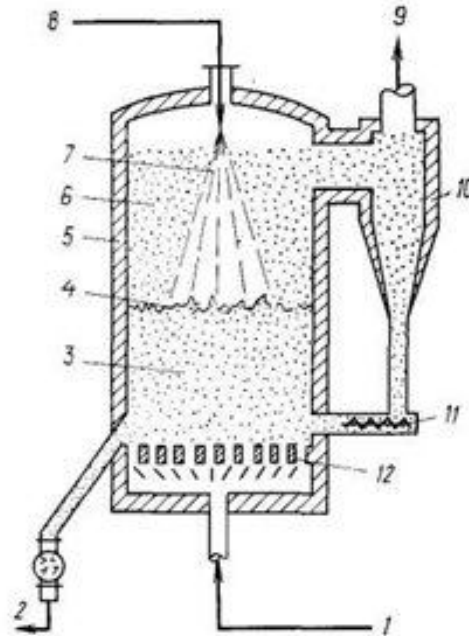


Рис. 3.12. Схема реактора с псевдоожиженным слоем:

1 — воздух для псевдоожижения; 2 — твердый продукт; 3 — слой инертного носителя (песок) в твердой фазе; 4 — граница псевдоожиженного слоя; 5 — корпус; 6 — унос золы; 7 — поток загружаемых отходов; 8 — загрузка отходов; 9 — отходящие газы; 10 — сепаратор; 11 — возврат пыли; 12 — решетка

Дожигание газов над псевдоожиженным слоем позволяет устранить продукты неполного горения в дымовых газах. В то же время практически на всех действующих установках наблюдается повышенный механический недожог в золе [11].

К основным достоинствам метода относятся: интенсивное перемешивание твердой фазы, приводящее практически к полному выравниванию температур, концентрации и других параметров по объему псевдоожиженного слоя; благоприятные гидродинамические условия, определяемые повышенной относительной скоростью газа; развитая поверхность частиц осадков, обеспечивающая достаточно высокую удельную производительность слоя; небольшое гидравлическое сопротивление слоя; возможность использования довольно крупных частиц осадков; отсутствие движущихся и вращающихся частей; сравнительно простое устройство реактора и возможность автоматизации процесса обезвреживания.

К наиболее существенным недостаткам метода псевдоожижения осадков относятся: неравномерность времени пребывания в слое обрабатываемых частиц твердой фазы (например, в равной степени возможны проскок частиц и их нахождение в слое дольше среднестатистического времени пребывания); возможность слипания и спекания твердых частиц; необходимость установки мощных пылеулавливающих устройств на выходе дымовых газов из слоя, особенно при разнообразном гранулометрическом составе твердой фазы; необходимость во многих случаях подогрева оживающего агента и установки рекуператоров из легированных сталей; ограниченность рабочих скоростей оживающего агента пределами, соответствующими началу псевдоожижения твердой фазы и ее уносу из слоя [11].

Реакторы с псевдоожиженным слоем используют и для обезвреживания жидких отходов. Жидкий отход подают форсунками в верхнюю часть реактора; в восходящем потоке воздуха частицы золы размером 1 мм образуют псевдоожиженный слой, в котором при температуре ниже температуры плавления минеральных примесей (700 — 800 °С), поддерживаемой за счет теплоты сгорания органических составляющих жидких отходов и дополнительного топлива, осуществляется обезвреживание отходов.

Надежность процесса обезвреживания жидких отходов в реакторах с псевдоожиженным слоем существенно зависит от температуры плавления минеральных составляющих. Шлакование слоя явилось главной проблемой при огневом обезвреживании жидких отходов в промышленных реакторах с псевдоожиженным слоем. Во избежание шлакования температура слоя должна быть ниже температуры плавления минеральных веществ, которая для наиболее часто встречающихся в минерализованных жидких отходах химических производств солей (NaCl , Na_2CO_3 , Na_2SO_4 и др.) составляет 800 — 900 °С. В ряде случаев такой температурный уровень недостаточен для полного окисления органических веществ, что ограничивает использование реакторов с псевдоожиженным слоем для обезвреживания минерализованных жидких отходов [11].

Пенно-барботажные реакторы. На ряде предприятий образуются горючие жидкие отходы, для которых характерны высокая влажность, большое содержание механических примесей. При факельном сжигании наличие в отходах крупных твердых включений, а также волокнистых материалов приводит к частому засорению распыливающих устройств. Трудности усугубляются, если отходы обладают заиливающими свойствами. Иногда количество образующихся отходов сравнительно невелико (несколько десятков килограммов в час). В таких случаях особенно целесообразно создание по возможности недорогих и простых в эксплуатации обезвреживающих реакторов. Одним из путей огневого обезвреживания подобных жидких отходов, а также расширения диапазона веществ, которые можно уничтожать высокотемпературной обработкой, — применение реакторов, в которых реализуется барботажный способ сжигания [11].

Суть барботажного способа (рис. 3.13), состоит в получении топливовоздушной смеси путем продувки воздуха или смеси воздуха с продуктами сгорания сквозь слой горючего отхода. На выходе из слоя при дроблении пузырей

над поверхностью вспененной жидкости образуется взвесь капель различного фракционного состава. Крупные капли, преодолевая аэродинамическое сопротивление барботируемого агента, в основном возвращаются обратно в слой, а мелкие частицы топлива выносятся с восходящим газовоздушным потоком к фронту горения. При огневом обезвреживании низкокипящих углеводородов помимо капель жидкости в зону горения поступают также ее пары, образующиеся при испарении жидкой фазы. Ввиду непосредственной близости слоя от фронта горения интенсифицируется тепло- и массообмен в слое между барботируемым газом и жидкостью, что положительно сказывается на огневой обработке уничтожаемого отхода [11].

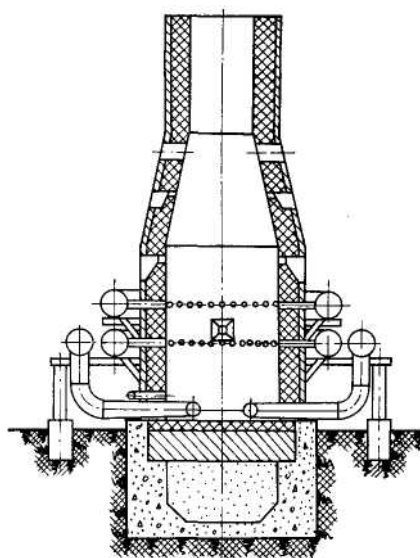


Рис. 3.13 Схема барботажного реактора для сжигания нефтяного шлама

В реакторах барботажного типа генерация капель происходит по всей площади ванны барботажной, что не вызывает засорения твердыми частицами выходных каналов распыливающих средств, как при форсуночном способе. Размер твердых включений лимитируется практически только условиями их выноса из слоя. Кратковременное поступление воды в ванну барботажную не приводит к срыву факела; при перемешивании воды с отходами в слое сохраняется горючая смесь, но несколько большей влажности [11].

Барботажные реакторы положительно зарекомендовали себя при сжигании кубовых остатков сточных вод, смешанных с мазутом. При комнатной температуре кубовые остатки представляли собой вязкотекучую массу; при оттаивании наблюдалось расслоение воды. Теплота сгорания остатков составляла 33 — 37 МДж/кг сухой массы. Твердые механические включения, содержащиеся в отходах, затрудняли подачу их в реактор [11].

Самостоятельное устойчивое горение жидких отходов возможно только при адиабатических температурах выше 1300 °С. Таким образом, при огневом обезвреживании негорючих сточных вод в барботажном реакторе вследствие совмещения зон горения топлива и тепловой обработки отходов темпера-

тура отходящих газов поддерживается на уровне 1300°C , т. е. значительно выше минимально необходимой ($950 - 1000^{\circ}\text{C}$) для окисления органических веществ. Это приводит к существенному перерасходу топлива на процесс обезвреживания сточных вод [11].

Кроме указанного недостатка следует отметить и ряд технических недостатков барботажных реакторов, связанных с конструктивными особенностями. В решетке барботажных горелок имеется большое число отверстий диаметром $3 - 5$ мм, которые при засорении необходимо очищать. В определенных зонах выше ванны барботаж образуются наросты вследствие неравномерного распределения воздуха и переохлаждения этих зон. При больших диаметрах реактора (более 3 м) происходит неравномерное распределение вторичного воздуха, приводящее к дымообразованию, длиннофакельному сжиганию [11].

Перечисленных недостатков лишены турбобарботажные реакторы (рис. 3.14), характеризующиеся более сложной организацией процесса. Сущность процесса огневого обезвреживания жидких отходов в этих реакторах заключается в том, что жидкость приводится во вращение, например в кольцевом канале, путем направленного и рассредоточенного подвода первичного воздуха с внутренней и наружной сторон кольцевого канала, а продукты газификации горючих жидких отходов приводятся во вращение вторичным воздухом, подаваемым выше барботажной ванны.

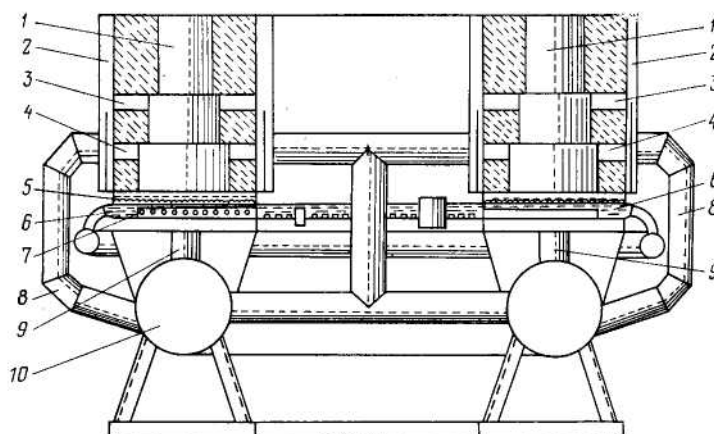


Рис. 3.14. Турбобарботажный реактор МосводоканалНИИпроекта для сжигания жидких горючих отходов:

1 — кольцевая камера сгорания; 2 — воздушная рубашка; 3, 4 — сопла; 5 — барботажная ванна; 6 — жидкие отходы; 7 — решетка; 8 — распределительные трубы; 9 — патрубки; 10 — коллектор

Циклонные и комбинированные реакторы. Наиболее эффективными и универсальными реакторами для огневого обезвреживания промышленных отходов являются циклонные реакторы (рис. 3.15). Их достоинства обусловлены, главным образом, аэродинамическими особенностями (вихревой структурой газового потока), обеспечивающими высокую интенсивность и устойчивость процесса сжигания топлива с очень малыми тепловыми потерями при минимальных избытках воздуха, а также наиболее благоприятные условия те-

пло- и массообмена между газовой средой и каплями (частицами) отхода вследствие больших относительных скоростей и высокой степени турбулентности. Все это позволяет создавать малогабаритные реакторы с удельными нагрузками, в десятки раз превышающими нагрузки барабанных, многоподовых, шахтных и других печей [11].

Небольшие габариты циклонных реакторов и эффективная центробежная сепарация позволяют использовать водоохлаждаемую гарниссажную футеровку взамен кирпичной. Это дает возможность, во-первых, обезвреживать сильно минерализованные (отходы с улавливанием подавляющего количества (80—90%) минеральных веществ и выпуском их из реактора в виде расплава [11] и, во-вторых, длительное время эксплуатировать реактор без существенного увеличения теплотер в окружающую среду.

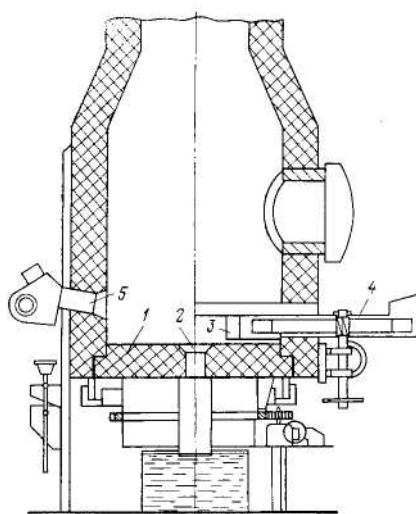


Рис. 3.15 Циклонный реактор фирмы «Lucas» (Великобритания) для сжигания пастообразных осадков сточных вод:

1 — вращающийся под; 2 — отверстие для выпуска шлака; 3 — отклоняющее устройство; 4 — ввод осадков; 5 — ввод топлива и воздуха

Циклонные реакторы (топки) нашли довольно широкое распространение для сжигания различных топлив. В циклонных реакторах для сжигания твердых отходов и осадков сточных вод при грубом их распиливании (или без распыливания) резко снижается эффективность процесса обезвреживания. Удельные нагрузки топочных камер уменьшаются до $100 - 150 \text{ кг}/(\text{м}^3 \times \text{ч})$, что соответствует нагрузкам шахтных, многоподовых и барабанных печей [11]. Габариты таких циклонных реакторов значительны.

Использование циклонных реакторов, разработанных для ликвидации сточных вод, при обезвреживании жидких шламов, суспензий, пульп возможно в случае замены механических форсуночных устройств пневматическими (в том числе акустическими) или ротационными распылителями, характеризующимися достаточно большими проходными сечениями. Циклонный реактор в этом случае может быть вертикального или горизонтального типа [11].

Американскими фирмами «General Electric Co.» и «Dorr-Oliver Inc.» разработаны циклонные реакторы для сжигания диспергированных твердых отходов и пастообразных осадков сточных вод [11]. Поток смеси распыленных отходов с воздухом подводится в горизонтальный циклонный реактор (рис. 3.16), где органические вещества сгорают, а минеральные примеси выносятся дымовыми газами и частично улавливаются в циклонном сепараторе.

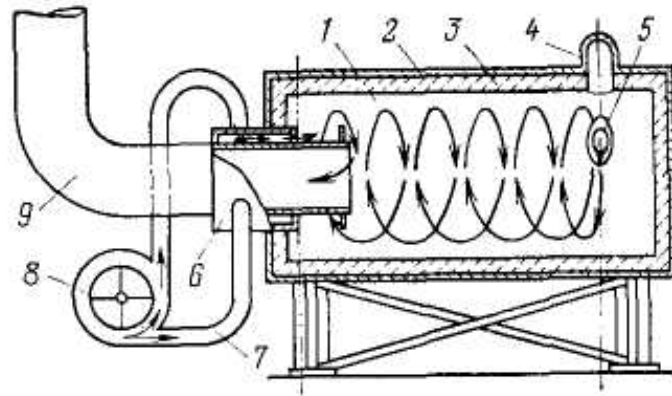


Рис. 3.16. Схема горизонтального циклонного реактора фирмы «General Electric Co.» (США) для сжигания твердых пылевидных отходов:

1 — камера сгорания; 2 — кожух; 3 — огнеупорные материалы; 4 — штуцер подвода материала; 5 — горелка; 6 — воздушная камера; 7 — трубопровод; 8 — вентилятор; 9 — дымовая труба

Для обезвреживания отходов, содержащих тугоплавкие минеральные компоненты (температура плавления золы превышает температурный уровень процесса обезвреживания), целесообразно использовать реакторы с твердым шлакоудалением и кирпичной футеровкой — горизонтальные аппараты с полным выносом золы, обеспечивающие большее время пребывания относительно крупных частиц в пределах камеры.

Для ликвидации отходов, содержащих легкоплавкие минеральные компоненты, необходимо применять вертикальные циклонные реакторы с жидким шлакоудалением.

4 УТИЛИЗАЦИЯ ОТХОДОВ ИЗВЛЕЧЕНИЕМ КОМПОНЕНТОВ ПРИГОДНЫХ К ПОВТОРНОМУ ИСПОЛЬЗОВАНИЮ

Если образование отходов нельзя предотвратить, то следует использовать как можно больше материалов повторно, предпочтительно путем вторичной переработки.

Для последующей переработки в товарную продукцию возможно отбирать из общей массы отходов и использовать следующие компоненты:

- стекло и изделия из него – пивные, винно-водочные и другие бутылки, вне зависимости от цвета и форм; хрусталь; оконное, витринное и дверное стекло, стеклопосуда; другая стеклянная тара и стеклобой;
- дерево и изделия из него – деревянные панели; половая доска и обрешетка; двери и косяки; плиты ДВП; конструкции мебели, садово-парковый спил и отходы древесины;
- отходы полимерной продукции – пластиковые бутылки и банки, пластиковую тару, флаконы из-под шампуней и косметических средств; полиэтиленовые пленки, а также все многообразие одноразовой упаковки;
- алюминиевая упаковочная тара – одноразовые пивные банки; банки для различных газированных и прохладительных напитков; консервные банки; упаковка лакокрасочных и строительных материалов и др;
- отходы черных металлов – металлоконструкций; металлический лом, части станков, машин и оборудования;
- лом железобетонных конструкций и кирпича – лом стеновых панелей; куски кирпича; шпаклевка и штукатурка; кафель и плитка; а также иной строительный лом, образующийся при разборке домов и перепланировки помещений;
- бумага и отходы из нее – писчая и газетная бумага; упаковочная тара и картон; листовая и рулонная бумага и др;
- ветошь;
- изделия из кожи и резины.

На практике реально существуют и апробируются следующие технологии переработки содержащихся в отходах компонентов.

Стекло и изделия из него идут на производство пеностекла, являющегося в настоящее время наиболее перспективным теплоизоляционным материалом – экологически чистым и совершенно негорючим, обладающим высокой степенью акустической изоляции. Такой материал предназначен для строительства жилья и объектов нежилого фонда, соответствует мировым нормам, предъявляемым к строительным объектам по теплоэнергосбережению.

Дерево и изделия из него проходя через дробилки (череду дробилок) измельчается до мелкой однородной массы и складываются на открытом подготовленном пространстве где хранятся в течение от 3-х месяцев до 1 года вплоть до получения высококлассного удобрения (компоста) идущего на нужды городского хозяйства.

Лом железобетонных конструкций и кирпича может применяться, после дробления, в зависимости от диаметра фракций:

а) на засыпку оснований дорожного покрытия, превосходя по качеству традиционно используемые материалы - при достаточно крупном диаметре фракций (щебень).

б) на изготовление (существующими методами) бордюрного камня, тротуарных плит, а также конструкций блоков мостовой - при вторичном измельчении щебня до более мелкой фракции (песок и мельче). Данное сырье может также использоваться как частичный или полный заменитель песка при изготовлении термопластбетонной черепицы.

Отходы полимеров потребляются в качестве связующего для изготовления термопластбетонной черепицы, ПЭТ-бутылки переабатываются в нетканые кровельные и гидроизоляционные материалы. Кром этого возможно перерабатывать пластмасс в тару, строительные и отделочные материалы.

Существуют и другие технологии изготовления экологически чистых материалов из древесных отходов, переработки отработанных свинцовых аккумуляторов и переработки макулатуры в тароупаковочную продукцию.

4.1 Классификация и сортировка твердых материалов

Для разделения твердых материалов на фракции по крупности используют такие способы, как просеивание или грохочение через сита и решета, разделение под действием гравитационно-инерционных сил, разделение под действием гравитационно-центробежных сил. Для грохочения применяют грохоты (рис. 4.1) следующих типов: неподвижные колосниковые, барабанные вращающиеся, дуговые; ударные для тонкого грохочения; плоские подвижные—иращионные (полувибрационные), вибрационные с прямолинейными вибрациями (инерционные с дебалансным вибратором, самоцентрирующиеся, электровибрационные). Для гидравлической классификации применяют спиральные классификаторы и гидроциклоны, для воздушной классификации — воздушно-проходные сепараторы [13, 14].

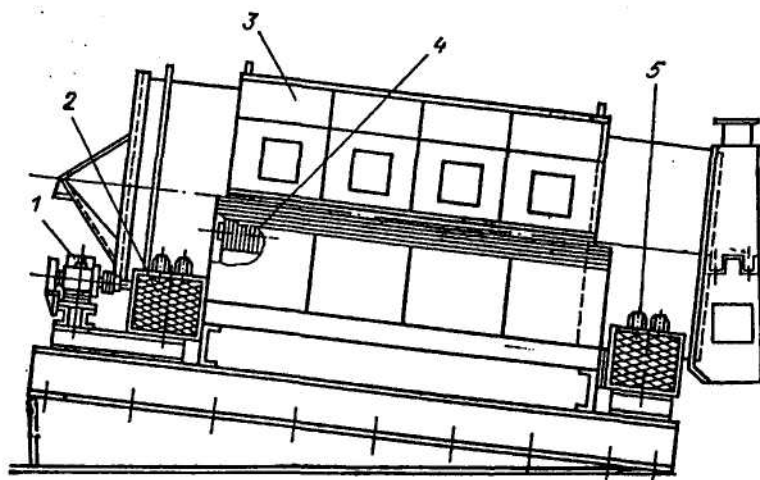


Рис. 4.1 Самоочистной грохот для сортировки прокомпостированного материала:

1 — электропривод; 2 — приводная опора; 3 — защитный кожух; 4 — вращающаяся щетка; 5 — концевая опора.

Все механические грохоты делятся на легкие, средние и тяжелые, предназначенные для грохочения материалов с насыпной плотностью соответственно 1; 1,6 и более 2,5 т/м³. Условно различные типы грохотов обозначают буквами и цифрами. Первая буква Г обозначает грохот, вторая Г – гидрогрохот, И – инерционный, С – самобалансный, Р – резонансный, Ц – цилиндрический, Д – двухкоробный, Л – легкого типа, С – среднего, Т – тяжелого типа. Первая цифра числового обозначения характеризует ширину короба грохота (3 – 1250 мм, 4 – 1500, 5 – 1750, 6 – 2000, 7 – 2500 мм), вторая цифра – число сит или решет [14].

Неподвижные колосниковые грохоты применяют в операциях предварительного грохочения крупного материала. Они представляют собой решетки, собранные из колосников фасонного сечения, устанавливаемые под углом к горизонту (25 – 45°). Ширина щели между колосниками – не менее 25 – 50 мм, при установке грохота перед дробилкой ширину щели принимают равной двойной ширине разгрузочной щели дробилки. Чтобы предотвратить заклинивание крупных кусков материала между бортами грохота ширину колосниковой решетки B принимают не менее тройного размера наибольших кусков d_{max} , т. е. $B \geq 3d_{max}$. Длину грохота L обычно выбирают из условия $L \approx (3 - 4) B$. Материал поступает на верхний край решетки и движется под действием силы тяжести. Крупные куски материала остаются на грохоте и разгружаются в нижнем его конце, а мелочь проваливается через щели между колосниками [13].

Объемная производительность грохота (в м³/ч)

$$Q = qF \quad (4.1)$$

где q – удельная объемная производительность по питанию, м³/(м² · ч); при эффективности грохочения 70 – 75 % q изменяется в пределах 9 – 38 при изменении ширины щели d от 25 до 200 мм;

F – площадь колосниковой решетки, м².

Инерционные грохоты отличаются от других видов простотой конструкции, надежностью в работе, высокой производительностью и эффективностью грохочения. Особенностью современных инерционных грохотов типов ГИЛ, ГИС, ГИТ является возможность изготовления каждого грохота и в подвесном, и в опорном исполнении. Предпочтение отдают опорным грохотам, как более надежным в работе. Грохот состоит из короба с ситами, инерционного вибратора и пружинных подвесок или опор. Вибратор создает круговую траекторию движения короба, поэтому для продвижения материала необходимо короб устанавливать под углом до 25° к горизонту [13].

Материал на сите встряхивается, разрыхляется и продвигается вниз по уклону сита, подвергаясь рассеву. Режим работы грохота регулируют изменением угла наклона короба, изменением амплитуды вибраций, используя для этого дополнительный груз дебаланса, а также изменением числа вибраций грохота, с заменой шкива на двигателе. Грохоты инерционные среднего типа

(ГИС) имеют два сита с размерами отверстий: верхнего 40×40 мм, нижнего 12×12 мм. Площадь одного сита изменяется в пределах $3,75 - 10 \text{ м}^2$ [13].

Самобалансные грохоты по принципу действия относятся к инерционным, могут быть легкого (ГСЛ), среднего (ГСС) и тяжелого (ГСТ) типов, в подвесном или опорном исполнении. В качестве приводного механизма применяют двухвальный самобалансный вибратор. Последний устанавливают над ситом грохота.

Вибратор состоит из двух спаренных дисков с дебалансами одинаковой массы, вращающихся с одинаковой скоростью на двух параллельных валах в противоположные стороны. При вращении каждого дебаланса возникают одинаковые по величине силы инерции, равнодействующая которых всегда направлена по оси под углом к плоскости сита грохота. Под действием этой силы короб грохота сообщаются прямолинейные колебания под углом к плоскости сита. Это дает возможность устанавливать короб грохота под небольшим углом к горизонту (не более 8°). Основные достоинства самобалансного грохота – малая высота, высокие производительность и эффективность грохочения. Недостаток – сложность конструкции вибратора.

Самобалансные грохоты тяжелого типа изготавливают четырех типоразмеров: ГСТ-42, ГСТ-51, ГСТ-61 и ГСТ-81. Они имеют характеристики соответственно: площадь одного сита 4,5; 7; 10 и 18 м^2 ; размеры отверстий сит 10×10 и 4×4 мм; 0,2 – 8 мм, 8×11 , 12×15 и 16×19 мм; щель колосников 15 мм; ориентировочная производительность 90, до 200, 180 и 300 т/ч [13].

Криволинейные грохоты являются неподвижными. К ним относятся, например, дуговые. В качестве просеивающей поверхности в этих грохотах используется дугообразная колосниковая решетка с поперечным по отношению к потоку расположением колосников трапецеидального сечения. Дуговые грохоты применяют в операциях мокрого мелкого и тонкого грохочения, отделения тяжелых суспензий от продуктов обогащения, в операциях классификации в циклах измельчения и для обезвоживания.

Пульпа самотеком (начальная скорость потока 0,5 – 3 м/с) или насосами (скорость потока на входе до 6 м/с) подводится тангенциально к просеивающей поверхности. Под действием центробежной силы и силы тяжести мелкие частицы вместе с водой попадают в подрешетный продукт, частицы больших размеров скользят по просеивающей поверхности и сходят с разгрузочной части сита в желоб для надрешетного продукта. Ширину щели решетки принимают в 1,1 – 3 раза больше расчетной (номинальной) крупности подрешетного продукта [13]:

Номинальная крупность d_n , мм	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,8	1	1,5	2	3
Ширина щели b , мм	0,6	0,7	0,8	1,0	1,1	1,4	1,6	2,2	2,5	3,2

Объемную производительность дуговых грохотов ориентировочно определяют по формуле (в $\text{м}^3/\text{ч}$)

$$Q = 160Fv \quad (4.2)$$

где F – площадь живого сечения сита, м^2 ;

v – начальная скорость пульпы, м/с.

Полезная площадь решетки дуговых грохотов СД-1, СД-2А, СД-03, 219А-ГР составляет соответственно: 0,95; 1,9; 3,0; 0,57 – 0,67 м². Крупность исходного продукта может изменяться от 0,074 до 12 мм, содержание твердого в питании – от 7 до 70%, эффективность грохочения достигает 75–80%, считая по номинальной крупности подрешетного продукта [13].

Спиральный классификатор имеет корпус в виде полуцилиндрического металлического сварного наклонного корыта, в котором вращается двухзаходная спираль, смонтированная на пустотелом валу. Пульпу загружают в классификатор через загрузочное окно в нижней части корыта. Осевшие на дно корыта крупные зерна (пески) спирально подаются вверх к разгрузочному люку. Тонкие частицы материала, взвешенные в пульпе (слив), переливаются через порог в нижней части корыта и разгружаются из классификатора через сливной патрубок.

Классификаторы изготовляют с одной или двумя спиралями. Различают спиральные классификаторы с непогружной (КСН) и погружной спиралями (КСП). Классификаторы с непогружной спиралью предназначены для получения грубых сливов крупностью 0,2 – 0,5 (1) мм, а с погружной спиралью – для получения тонкого слива (80 – 90% класса – 0,074 мм). Спиральные классификаторы характеризуются диаметром спирали и длиной корыта. Диаметр спирали изменяется в пределах 1200 – 2400 мм, длина корыта – в пределах 8 – 14 м [13].

Воздушно-проходной сепаратор состоит из корпуса, внутреннего конуса-циклона, направляющих створок и сборника. Пылевоздушная смесь поступает в сепаратор через штуцер снизу. В корпусе скорость потока резко уменьшается, и наиболее крупные частицы падают в сборник. Поднимаясь вверх, поток через створки попадает в циклон. Проходя створку, он приобретает вращательное движение. В циклоне из потока также выделяются более крупные частицы, которые попадают в вершину конуса и выводятся через наконечник. Самые мелкие частицы уходят с потоком газа через выводной штуцер вверх. В воздушно-проходном сепараторе можно разделять материал на три фракции: крупную, среднюю и мелкую. Граница раздела фракции регулируется степенью открытия створок, т. е. входной скоростью потока в циклон. Объем сепаратора определяют по формуле (м³) [13]

$$V_c = V/k_0 \quad (4.3)$$

где V – объем газа, проходящего через сепаратор, м³;

k_0 – напряженность: объема сепаратора, м³/м³.

Значения напряженности объема сепаратора в зависимости от границы раздела фракций следующие:

$R_{90}, \%$	4 – 6	6 – 15	15 – 28	28 – 40
$k_0, \text{м}^3/\text{м}^3$	2000	2500	3500	4500

Промышленность выпускает сепараторы семи типоразмеров с объемом сепаратора соответственно: 2,4; 4,2; 5,5; 8,4; 10,0; 14,3 и 22 м³.

4.2 Машины и аппараты для обогащения твердых материалов

Для обогащения твердых материалов используют следующие методы: гравитационный, флотационный, магнитный, электрический и специальные. Гравитационный метод обогащения основан на использовании различной плотности разделяемых материалов. По этому методу осуществляются такие процессы, как обогащение в тяжелых средах, отсадка, обогащение в струе воды по наклонной плоскости, обогащение в центробежном поле и криволинейных потоках. Флотационный метод обогащения использует различную способность твердых частиц к смачиванию, естественными или создаваемыми реагентами. Магнитный метод основан на различной магнитной восприимчивости твердых частиц, электрический – на использовании электрических свойств частиц отходов. Для каждого из этих методов разработаны и применяются различные конструкции машин и аппаратов.

Аппараты для обогащения в тяжелых средах. Разделение твердых материалов в тяжелых средах производится в гидроциклонах, конусных и колесных сепараторах. В них тем или иным способом осуществляется раздельная разгрузка всплывшего легкого и потонувшего тяжелого продукта. В качестве тяжелых сред применяют: минеральные суспензии – взвеси нерастворимых в воде тонкоизмельченных минералов (утяжелителей) – например глину, пирит, магнетит; водные растворы неорганических солей – растворы хлорида цинка ZnCl_2 ($\rho = 2070 \text{ кг/м}^3$), хлорида кальция CaCl_2 ($\rho = 1654 \text{ кг/м}^3$), иодида калия KI ($\rho = 3196 \text{ кг/м}^3$) и др.; органические жидкости – трихлорэтан C_2HCl_3 ($\rho = 1460 \text{ кг/м}^3$), тетрахлорид углерода CCl_4 ($\rho = 1600 \text{ кг/м}^3$), трибромметан CHBr_3 ($\rho = 2810 \text{ кг/м}^3$) и др. [13].

Гидроциклоны применяют главным образом для обогащения материала мелких классов (менее 10 – 13 мм) в минеральных суспензиях. В нашей стране выпускают двухпродуктовые гидроциклоны (типа КТ) и трехпродуктовые (типа ГТ). В гидроциклоне происходит разделение материала крупностью 0,5 – 6; 6 – 25 и 0,5 – 25 мм. Исходный материал поступает в аппарат в смеси с тяжелой суспензией через загрузочный патрубок по касательной во внутреннюю полость цилиндрической части корпуса, скользит по ней и разгружается вместе с частью суспензии через разгрузочный насадок. Легкий продукт с суспензией проходит через сливную трубу в центре и поступает в разгрузочную камеру. Гидроциклоны обычно устанавливают так, чтобы образующая конуса с нижней стороны была наклонена к горизонту не более чем на $0,2^\circ$ [13, 14].

Максимальная производительность гидроциклонов – сепараторов приведена в таблице 4.1.

Общая нагрузка на гидроциклонную установку может быть рассчитана по эмпирической формуле (в т/ч)

$$Q_{\text{общ}} = \frac{75Q}{80 - \alpha}, \quad (4.4)$$

где Q – производительность гидроциклона по обесшламленному материалу, т/ч;
 α – содержание в исходном материале зерен крупностью менее нижнего предела крупности машинного класса, %.

Таблица 4.1

Максимальная производительность гидроциклонов

Тип гидроциклона	КГ 2/50	КГ 2/100	ГТ 3/80
Производительность: по твердому материалу, т/ч	50	100	80
по пульпе, м ³ /ч .	200	400	260

Производительность гидроциклонов по пульпе (смесь материала и суспензии) $Q_{\text{п}}$ для конического двухпродуктового гидроциклона (в том числе и для II ступени трехпродуктового гидроциклона) определяется по формуле (в м³/ч) [13]

$$Q_{\text{п}} = 1,24 d_{\text{сш}}^{0,7} d_{\text{н}}^{0,25} d_{\text{п}}^{0,37} \sqrt{H} \quad (4.5)$$

для трехпродуктового гидроциклона:

$$Q_{\text{п}} = K_{\text{н}} \sqrt[3]{d_{\text{сш}}^2 d_{\text{сш}} d_{\text{с.п}}} \sqrt{H} \quad (4.6)$$

где $d_{\text{сш}}$, $d_{\text{сш}}$, $d_{\text{н}}$, $d_{\text{с.п}}$, $d_{\text{п}}$ – диаметры сливных патрубков цилиндрической и конической секций, нижнего (разгрузочного) насадка, соединительного и питающего патрубков гидроциклона, см;

$K_{\text{н}}$ – коэффициент, определяемый по формуле

$$K_{\text{н}} = 0,204 + 2,143 \rho_{\text{и}} - 0,678 \rho_{\text{и}}^2$$

$\rho_{\text{и}}$ – плотность исходной суспензии, кг/м³;

H – высота столба суспензии, м ($H=9D$);

D – диаметр гидроциклона, м.

Сепараторы. Обогащение средне- и крупнокускового материала в тяжелых суспензиях производят в сепараторах, принцип действия которых основан на использовании гравитационных сил. Отечественными заводами изготавливаются конусные и колесные сепараторы.

Конусные сепараторы выпускаются нескольких типоразмеров (СК-6А, СК-1Д СК-2,5, СК-3,6, СК-4,5). Корпус сепаратора (рис. 4.2) имеет коническую форму; внутри корпуса на полом валу вращается мешалка. Исходный материал подается по загрузочному лотку, суспензия поступает через осевую воронку. Тяжелая фракция материала погружается в нижнюю часть корпуса и с помо-

стью сжатого воздуха аэролифтом выгружается на сито, где происходит частичное отделение суспензии, а тяжелый продукт поступает далее на отмывку утяжелителя. Легкий всплывший продукт выводится из сепаратора через специальный лоток [13].

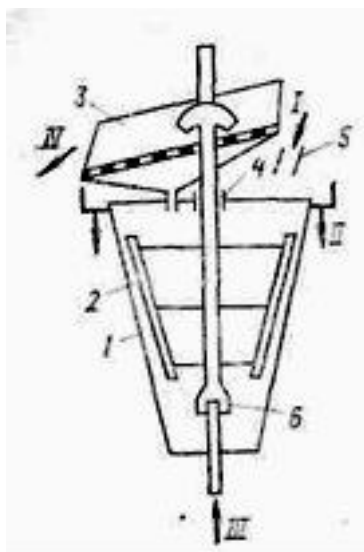


Рис. 4.2 Конусный сепаратор с аэролифтом для тяжелого продукта:

I – исходный материал; II – легкий продукт; III – воздух; IV – тяжелый продукт; 1 – корпус; 2 – мешалка; 3 – сито; 4 – осевая воронка; 5 – загрузочный лоток; 6 – аэролифт.

Производительность конусного сепаратора по материалу рассчитывают по формуле (в т/ч)

$$Q_k = qS \quad (4.7)$$

где q – удельная нагрузка на единицу площади рабочей зоны зеркала суспензии сепаратора, т/(м² · ч);

S – площадь рабочей зоны зеркала суспензии сепаратора, м².

Колесные сепараторы с наклонными или вертикальными элеваторными колесами для выгрузки тяжелых продуктов (СК-12, СК-20, СК-32, СК-40, СКВ-20, СУВД-22, СТТ-20 и др.) получили наиболее широкое применение в производстве [13].

Колесный сепаратор типа СК, применяемый для обогащения крупных классов материала в магнетитовой суспензии, имеет наклонное элеваторное колесо с перфорированными (дырчатыми) лопастями. Колесо заключено в корпус, который соединен герметично с ванной. Загрузка кусков материала в ванну производится через желоб, а рабочая суспензия подается под слой загружаемого материала через два патрубка и в донную часть ванны также через патрубок.

Тяжелый продукт, оседая на дно ванны, поднимается лопастями колеса по наклонному днищу корпуса и разгружается через порог со щелевидным ситом,

помещенным в кожух, лопатками гребкового устройства, которое вращается вокруг горизонтальной оси привода. Гребковое устройство представляет собой сварной каркас в форме шестигранной призмы, по граням которой на всю ширину ванны шарнирно подвешены сварные гребковые рамы.

В процессе разгрузки продуктов происходит частичное отделение суспензии: от легкого продукта – на сите в кожухе, от тяжелого продукта – через отверстия в лопастях и через днище элеваторного колеса.

Стабилизация суспензии в ванне сепаратора достигается созданием слабого восходящего потока при подаче рабочей суспензии снизу через патрубок.

Колесный сепаратор типа СКВ с вертикальным элеваторным колесом предназначен для обогащения минерального материала крупностью 13 – 300 мм в магнетитовой суспензии плотностью от 1400 до 2200 кг/м³ с получением двух продуктов (в качестве тяжелой среды могут использоваться и другие суспензии).

Суспензия в сепаратор (рис. 4.3) подается через конический патрубок в нижней части ванны 2 в направлении вращения колеса 1. При этом образуются вертикальный и горизонтальный потоки суспензии [13].

Зона разделения материала находится внутри элеваторного колеса. Обогащаемый материал движется по зеркалу суспензии вместе с ее горизонтальным потоком. После разделения материала горизонтальный поток суспензии транспортирует легкий продукт к разгрузочному желобу 5. Тяжелый продукт поднимается элеваторным колесом с ковшами выше уровня суспензии и разгружается в желоб 4 [13].

Производительность колесных сепараторов по легкому продукту (в т/ч)

$$Q_{\text{л}} = \frac{qB}{R} \cdot 100, \quad (4.8)$$

или

$$Q_{\text{л}} = 3,6Bh\nu_0\nu\rho_{\text{л}} \quad (4.9)$$

где q – удельная нагрузка на 1 м ширины ванны, т/(м · ч);

B – ширина ванны, м;

R – возможный выход концентрата, %;

h – высота сливного потока (глубина зоны разделения и разгрузки), м;

$h = (1,2-1,5)D_{\text{м}}$;

$D_{\text{м}}$ – эквивалентный размер наибольшего куса обогащаемого материала, м;

ν_0 – окружная скорость движения гребков, м/с;

ν – коэффициент заполнения суспензии материалом, доли ед.;

$\rho_{\text{л}}$ – плотность легкого продукта, кг/м³.

Производительность по тяжелому продукту (в т/ч)

$$Q_{\text{т}} = 60Vnz\varphi\rho_{\text{т}} \quad (4.10)$$

где V – объем одного ковша, м³;

n – частота вращения элеваторного колеса, об/мин;

z — число ковшей;

φ — коэффициент заполнения объема ковша материалом, $\varphi = 0,6-0,7$;

ρ_T — плотность тяжелого продукта, кг/м^3 .

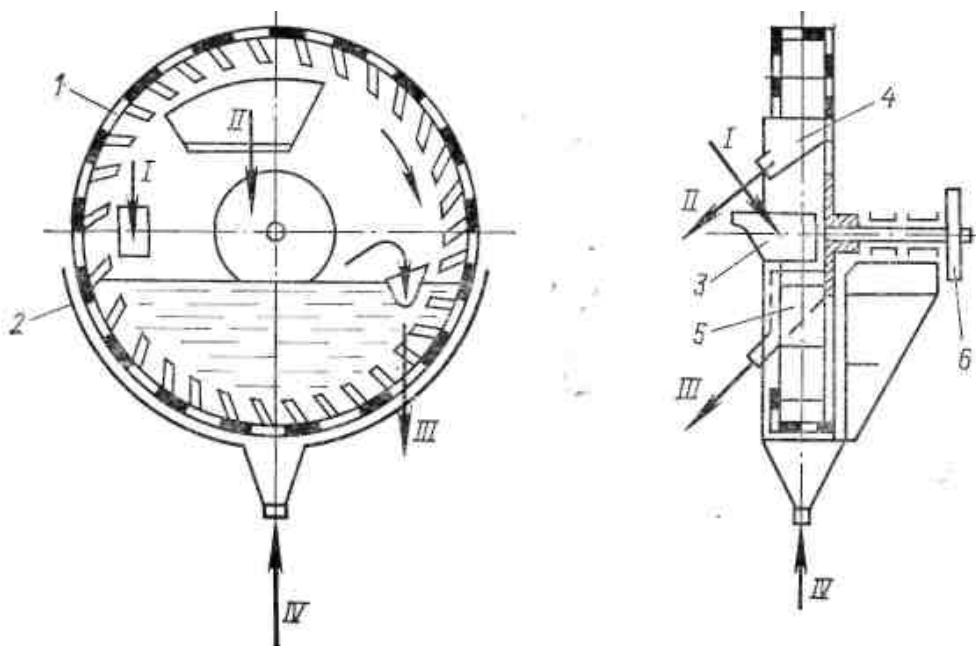


Рис. 4.3 Колесный сепаратор с вертикальным элеваторным колесом:

I — питание; II — тяжелый продукт; III — легкий продукт; IV — суспензия;
1 — элеваторное колесо; 2 — ванна; 3 — желоб для подачи исходного материала;
4 — желоб для разгрузки тяжелого продукта; 5 — желоб для разгрузки легкого продукта; 6 — привод элеваторного колеса.

Конструкции отсадочных машин. Для проведения процесса отсадки применяют отсадочные машины, различающиеся по способу создания пульсаций воды в машине: с подвижным решетом (рис. 4.4, а), диафрагмовые (рис. 4.4, б), поршневые (рис. 4.4, в), беспоршневые пневматического действия (рис. 4.4, г). Отсадочные машины бывают: одноступенчатые (выделяются два продукта), двухступенчатые (выделяются три продукта), многоступенчатые (выделяется более трех продуктов, различаются между собой по содержанию полезного компонента) [13].

Отсадочные машины с воздушным приводом (беспоршневые) особенно широко применяют в практике обогащения минеральных смесей. Устройство беспоршневых отсадочных машин может быть следующим: с боковым расположением воздушной камеры; с двухсторонним боковым расположением воздушных камер, со сдвоенными центральными камерами; с подрешетными воздушными камерами; с подрешетными патрубочными камерами; двойного действия с надрешетным расположением воздушных камер. Недостатком бокового расположения воздушных камер является трудность создания равномерных водных потоков в отсадочном отделении при ширине решета более 2 м [13].

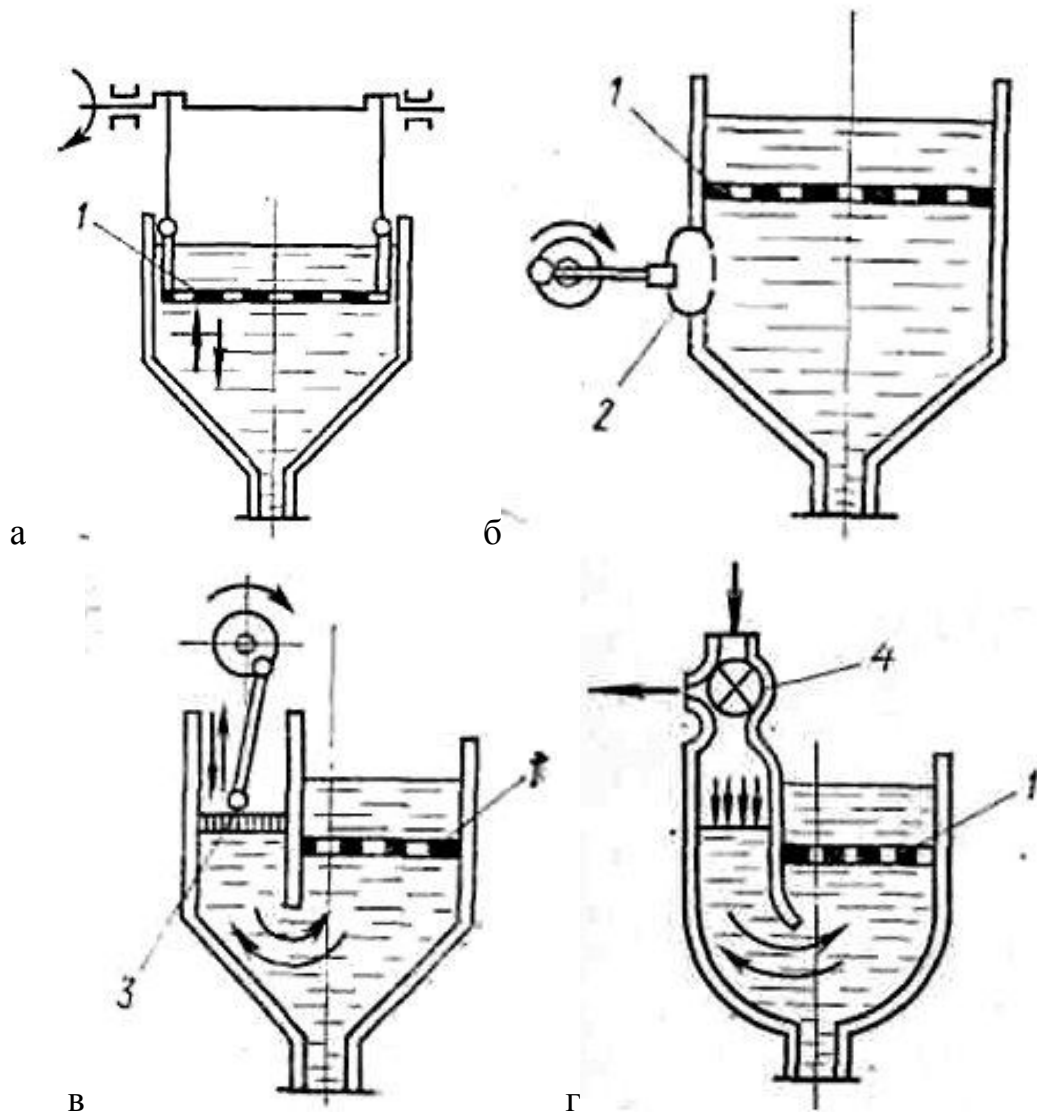


Рис. 4.4 Основные типы отсадочных машин:

1 — решето; 2 — диафрагма; 3 — поршень; 4 — воздушный пульсатор

Конструкции отсадочных машин для обогащения минеральных смесей следующие: машины отсадочные диафрагмовые – МОД-1, МОД-2, МОД-3, МОД-4, МОД-2П, 2-ОВМ-1 и др.; машины отсадочные пневматические – БОМ-КЮ, БОМ-М16, ОМ-18К, ОМ-8, ОМ-12, ОМА-10, ОМА-10, МОБМ-10, ОМР-1А и др [13].

Производительность отсадочной машины зависит от технологических показателей (взаимозасоренности продуктов); ее можно определить по формуле (т/ч) [13]

$$Q = \frac{3600 \rho_{\text{ср}} S H k}{\eta}, \quad (4.11)$$

где S – площадь рабочего отделения отсадочной машины, м^2 ;

η – критерий точности разделения, равный $\ln 100/\Sigma\alpha$; $\eta = kt$;

k – коэффициент скорости отсадки (скорости расслоения), $1/\text{с}$;

$\Sigma\alpha$ – сумма посторонних фракций в продуктах отсадки, % от исходного материала (погрешности извлечения);

H – высота отсадочной постели, м;

$\rho_{\text{ср}}$ – насыпная плотность постели, т/м³.

Высокие значения k характеризуют высокую интенсивность процесса расслоения материала в машине. Чем выше значения критерия точности разделения η , тем лучше качество продуктов разделения. Результаты эксплуатации отсадочных машин позволили установить, что k колеблется в пределах 0,01 – 0,05 Гц; время пребывания материала в отсадочной машине составляет $t = 50 – 180$ с [13].

Флотационные машины. Флотационные машины применяют для обогащения мелких частиц. Флотации подвергают шламы обычно крупностью менее 0,5 мм.

В основу классификации флотационных машин положен принцип аэрации в них пульпы, в соответствии с этим их делят на механические, пневмомеханические и пневматические. К машинам механического типа относятся машины ФМУ-6,3, МФУ2-6,3, МФУ2-8 и МФУ2-10 – для обогащения угольных шламов; ФМР-2, ФМР-4, ФМР-10, ФМР-25с и ФМР-63с – для обогащения рудных шламов. Воздух в машины засасывается из атмосферы в результате механического воздействия на пульпу лопаток главного органа машины (аэратора) и эжектирующего действия пульпы при ее протекании через межлопаточные каналы аэратора. Машины типа ФМУ и МФУ-2 имеют шесть камер; производительность их по пульпе изменяется в пределах 220 — 800 м³/ч. Производительность машин по пульпе (типа ФМР) изменяется в пределах 9 — 720 м³/ч [13].

К машинам пневмомеханического типа относятся ФПМУ-6,3 – для обогащения угольных шламов и ФПР-10, ФПР-16, ФПР-40 и ФПР-63 – для обогащения рудных шламов. Флотационная машина ФПМУ-6,3 имеет восемь камер, производительность по пульпе составляет 800 м³/ч, по твердому материалу – 80 т/ч. Производительность по пульпе машин типа ФПР изменяется в пределах 180 — 720 м³/ч. Воздух в эти машины частично или полностью подводится от внешнего источника, как правило, под низким давлением. Перемешивание пульповоздушной смеси осуществляется так же, как и в машинах механического типа [13].

Преимуществами пневмомеханических машин по сравнению с машинами механического типа являются их высокая аэрационная способность, возможность ее регулирования в широких пределах, меньшие удельные энергетические затраты, простота конструкции аэратора, прямоточность и большие межремонтные периоды работы. Пневматические флотационные машины просты и надежны в эксплуатации, имеют высокую степень аэрации [13].

В машине МФПК-1,4 используется принцип аэрации и флотации в тонком слое (0,4 – 0,6 м) пульпы, протекающей по наклонной (под углом 6°) поверхности. Группы аэраторов расположены каскадно (одна под другой), т. е. процесс

идет многократно, что важно для гибкого управления качеством продукта. Небольшая высота слоя пульпы над аэратором способствует быстрому выделению в пену минерализованных воздушных пузырьков и, следовательно, интенсификации процесса [13].

Машина ФППМ-20 представляет собой колонну с камерой большой глубины. Воздух и пульпа движутся противоточно. Большая глубина камеры позволяет более эффективно использовать воздух, поскольку коэффициент минерализации воздушных пузырьков повышается. Обе машины можно применять для обогащения легко- и среднефлотируемых шламов. Они имеют производительность по пульпе 800 — 1000 м³/ч и по твердому материалу 70 — 100 т/ч [13].

Производительность флотационных машин зависит от характеристики флотируемых шламов, технологических и гидродинамических параметров процесса и машины, объема и числа камер.

Производительность по пульпе механических и пневмомеханических машин можно определить из выражения (в м³/ч) [13]

$$Q = \frac{60V_k nk}{t_\phi \left(R + \frac{1}{\rho_T} \right)}, \quad (4.12)$$

где V_k — объем флотационной камеры, м³;

n — число камер в машине;

k — отношение полезного объема камеры к геометрическому, $k = 0,65 - 0,85$;

t_ϕ — время флотации, мин;

R — отношение жидкой фазы; к твердой в пульпе по массе ($R = Ж : Т$);

ρ_T — плотность твердой фазы пульпы, кг/м³.

Производительность по пульпе пневматических машин корытного типа можно определить из выражения (в м³/ч) [13]

$$Q = \frac{60Lfk}{t_\phi \left(R + \frac{1}{\rho_T} \right)}, \quad (4.13)$$

где L — длина машины, м;

f — площадь живого сечения корпуса машины, м².

Магнитные сепараторы. Для обогащения твердых материалов в магнитном поле применяют магнитные сепараторы. Магнитный сепаратор состоит из следующих основных конструктивных узлов: кожуха или ванны, магнитной системы, питателя для подачи материала в рабочую зону сепаратора, устройства для транспортирования магнитного продукта из зоны действия магнитных сил и привода [13, 14].

В зависимости от назначения сепаратора и напряженности магнитного поля все магнитные сепараторы подразделяются на сепараторы со слабым и сильным магнитным полем. Первые применяют при обогащении сильномагнитных минералов, вторые — для слабомагнитных минералов. Сепараторы с сильным магнитным полем имеют более сложную конструкцию, дорого стоят, более громоздки и малопроизводительны.

Для обогащения материалов крупностью от 3 до 50 — 100 мм применяют сухую магнитную сепарацию; при размере менее 3 мм — обычно мокрую магнитную сепарацию.

В зависимости от типа устройства для транспортирования магнитного продукта из зоны действия магнитной силы различают барабанные, валковые, роликовые, дисковые, ленточные, шкивные сепараторы. Сепараторы могут быть с верхней и нижней подачей обогащаемого материала. Барабанные, валковые, шкивные и ленточные сепараторы служат для обогащения сильномагнитных материалов; роликовые, валковые и дисковые — для слабомагнитных.

Сепаратор (рис. 4.5) состоит из рамы, электромагнита, ведомого и ведущего барабанов, верхних, поддерживающих ленту барабанов, разгрузочной ленты, привода. Натяжение разгрузочной ленты производят перемещением ведомого барабана по отношению к раме. Вращение ведущего барабана осуществляется цепной передачей от привода, состоящего из электродвигателя и редуктора. Электромагнит питается током от выпрямительной станции, выполненной в отдельном блоке. Сепаратор подвешивают над технологическим конвейером [13, 14].

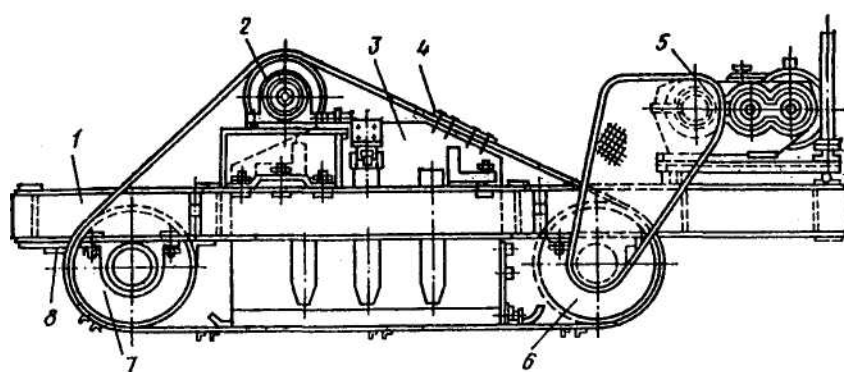


Рис. 4.5 Подвесной ленточный электромагнитный сепаратор ПС-120М

1 — рама; 2 — верхний промежуточный барабан; 3 — электромагнит; 4 — разгрузочная лента; 5 — привод; 6 — ведущий барабан; 7 — ведомый барабан; 8 — натяжной винт

Металлолом притягивается из зоны действия магнитного поля в зону разгрузки. При эксплуатации железоотделителя ПС-120М с выпрямительной станцией ВС-10 следует (для повышения эффективности извлечения черного металлолома, особенно из золы мусоросжигательного завода) работать на максимальной силе тока [13, 14].

Мокрые барабанные сепараторы в зависимости от направления движения потока пульпы в ванне и вращения барабана бывают прямоточные, противо-

точные и полупротивоточные. В зависимости от способа создания и характера магнитного поля различают сепараторы с постоянными магнитами и с электромагнитами, с открытой и замкнутой магнитной системой, с постоянной и чередующейся полярностью магнитного поля, с бегущим и полиградиентным магнитным полем.

Открытые магнитные системы имеют ряд полюсов чередующейся полярности, края которых расположены в плоскости или по цилиндрической поверхности (рис. 4.6, а). Магнитные силовые линии между полюсами проходят по пространству над промежутками между полюсами.

На характеристику магнитного поля открытых многополюсных систем помимо характеристики электромагнитов и магнитных свойств постоянных магнитов влияют: шаг полюсов системы и ширины промежутка между соседними полюсами и форма полюсов.

Замкнутые магнитные системы (рис. 4.6, б) применяют с целью создания сильного магнитного поля в сепараторах, предназначенных для обогащения слабомагнитных материалов. В замкнутых магнитных системах рабочая зона сепаратора находится в промежутке между разноименными магнитными полюсами системы. Наиболее часто магнитное поле замкнутых магнитных систем образуется сочетанием зубчатых полюсов (треугольного и прямоугольного сечения) и противопоставленного им плоского полюса или полюса с выемками различной формы [13].

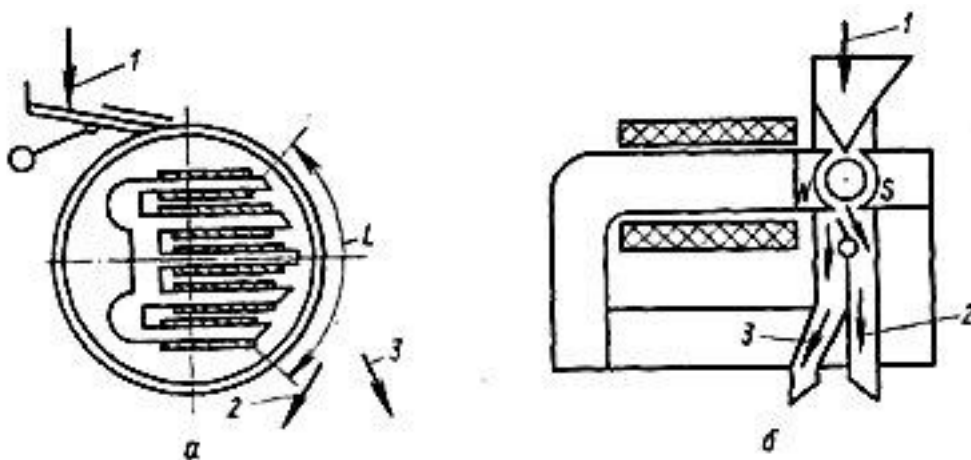


Рис. 4.6 Открытая и замкнутая магнитные системы

1 — питание; 2 — магнитный продукт; 3 — немагнитный продукт

Полиградиентное магнитное поле возникает при заполнении ферромагнитными телами пространства между двумя противоположными плоскими полюсами магнитов. В точках сближения ферромагнитных тел создаются неоднородные по напряженности сильные магнитные поля, в которых могут задерживаться слабомагнитные тонкодисперсные частички магнитных материалов. Так как магнитные силы в таком поле действуют по всем осям и на всех участках сближения индукционных магнитов, такие поля получили название *полиградиентных* [13].

Сепарация в полиградиентных полях осуществляется в водной среде в результате выноса магнитных фракций ферромагнитными телами, называемыми *магнитами-носителями*. Для избежания закупорки зазоров между магнитами-носителями твердым материалом размер их должен быть в 10 — 25 раз больше зерен сепарируемого материала. Однако с увеличением размера шаров магнитов-носителей более 10 мм резко уменьшается величина действующих на частицы магнитных сил, поэтому использование магнитов-носителей крупностью более 10 мм нецелесообразно. Вследствие этого максимальная крупность обогащаемого материала в полиградиентном магнитном поле не должна превышать 0,4 мм. Нижний предел крупности в полиградиентном поле составляет 10 мкм [13].

На рис. 4.7 представлена схема барабана ручейкового полиградиентного магнитного сепаратора. Рабочее пространство сепаратора представляет собой камеры, образованные радиальными перегородками и двумя бандажами. Камеры заполнены ферромагнитными телами. Немагнитные частицы дренируются вместе с водой и разгружаются через специальное устройство, магнитные — смываются водой за пределами действия магнитного поля [13].

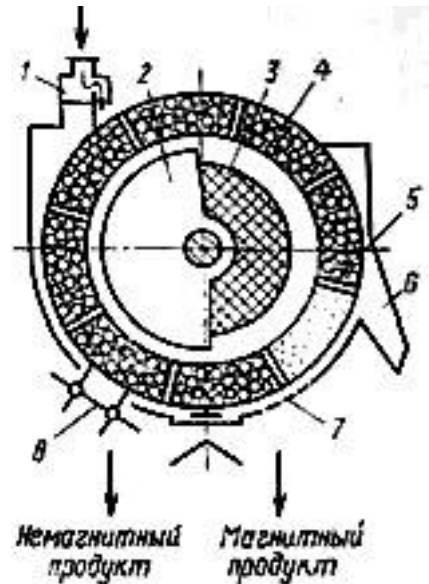


Рис. 4.7 Барабанно-ручейковый полиградиентный сепаратор типа ЭБШМ:

1 — питатель; 2 — полюсы электромагнитной системы (7 шт.); 3 — обмотка электромагнитов; 4 — ферромагнитные тела; 5 — радиальные перегородки; 6 — желоб для разгрузки ферромагнитных тел; 7 — зона разгрузки магнитного продукта; 8 — устройство для разгрузки немагнитного продукта.

Магнитные носители сползают по немагнитным полкам и эффективно размагничиваются при разрыве контактов между ними. Особенностью этой конструкции сепаратора являются автоматическое извлечение комплекта магнитов-носителей со дна ванны при включении тока и укладка их туда при выключении [13].

Для обогащения сильномагнитных материалов применяют сухие и мокрые сепараторы различных конструкций. При крупности материала до 40 мм

возможно применение магнитных сепараторов с постоянными магнитами. Наиболее широкое распространение получили барабанные сепараторы с верхней и нижней подачей питания, барабаны которых сделаны из немагнитного материала, а многополюсная открытая магнитная система выполнена из специальных магнитомягких материалов (сплав ЮНДК-24, феррит бария марки 2БА или 3БА и др.) или из электромагнитов. Напряженность поля в рабочем зазоре сепараторов колеблется в пределах 80 — 150 кА/м [13, 14].

В процессе работы сепаратора барабан вращается, а магнитная система остается неподвижной. Полюсы подвижной системы чередуются по ходу движения материала в рабочем зазоре. Происходит образование и разрушение флокул, изменение положения относительно барабана отдельных зерен и агрегатов. Под действием центробежной силы или потока воды из магнитных флокул удаляются механически вовлеченные частицы немагнитных материалов.

На рис. 4.8 представлена принципиальная схема сепаратора немагнитных металлов (алюминия, меди) [14].



Рис.. 4.8 Принципиальная схема сепаратора немагнитных металлов

Согласно ГОСТ 10512–78 принята следующая маркировка барабанных сепараторов: первая цифра показывает число барабанов в одном сепараторе; следующая буква П или Э обозначает тип магнитной системы (П – из постоянных магнитов, Э – электромагнитная); далее буквы Б – тип сепаратора барабанный, М или С – мокрый или сухой процесс сепарации, дополнительно буквы П или ПП показывают тип ванны (П – противоточный, ПП – полупротивоточный), а буква Ц при сухой сепарации обозначает центробежный режим, при мокрой – циркуляцию магнитного продукта; цифры дроби соответствуют диаметру D и длине барабана L [13].

Для сухого обогащения крупнокусковых материалов (до 50 мм) применяют сепараторы типов ЭБС и ПБС с числом барабанов: 1, 3 и 4, производительностью от 40 до 400 т/ч [13].

Для сухого обогащения мелкозернистых продуктов применяют сепараторы типа ПБСЦ (быстроходные). Крупность исходного питания не более 3 мм. Интенсивное магнитное перемешивание материала и большая центробежная сила позволяют выделять чистые магнитные продукты, отвальные хвосты и пром-продукт, направляемый на доработку [13].

Для мокрого обогащения мелкозернистых материалов применяют барабанные сепараторы типа ПБМ с нижним питанием и магнитным перемешиванием. Для разных по крупности продуктов их изготавливают с различными типами ванн: с прямоточной ванной для материала крупностью – $6 + 0$ мм, с противоточной ванной для материала крупностью – $1 (0,5) + 0$ мм, с полупротивоточной для материала крупностью – $0,3(0,15) + 0$ мм [13].

При обогащении слабомагнитных материалов применяют преимущественно валковые и роликовые сепараторы, реже – дисковые. Эти машины характеризуются замкнутой электромагнитной системой, создающей в небольшом рабочем зазоре у зубцов рабочего органа (валок, ролик, диск) поле большой напряженности. Маркировка сепараторов данного типа аналогична маркировке сепараторов для сильномагнитных материалов, за исключением того, что буква Б (барабанный) заменена буквами В (валковый), Д (дисковый) и Р (роликовый).

Для сухой сепарации слабомагнитных материалов крупностью менее 5 мм применяют сепараторы с сильным полем, верхней и нижней подачей материала типа ЭВС.

Для мокрой сепарации слабомагнитных материалов крупностью менее 5 мм применяют электромагнитные сепараторы типа ЭВМ.

В конструктивном отношении валки представляют собой элементы цилиндрической формы с кольцевыми выступами и впадинами различной конфигурации, служащие для повышения градиента магнитного поля в рабочей зоне сепаратора (рис. 4.9).

Исходный продукт из бункера 1 по лотку 2 вместе с водой подается в зазор между валком 3 и полюсным наконечником 4 магнитной системы [13].

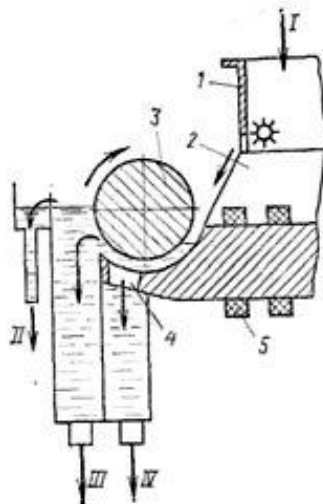


Рис. 4.9 Электромагнитный валковый сепаратор:

I — питание; II — перелив; III — магнитный продукт; IV — немагнитный продукт; 1 — бункер; 2 — лоток; 3 — валок; 4 — полюсный наконечник; 5 — обмотка электромагнита.

Зерна сильномагнитных материалов под действием магнитных сил притягиваются к поверхности вращающегося валка, а затем смываются водой в при-

емник для магнитного продукта. Немагнитные зерна под действием сил тяжести через щелевидные зазоры в полюсных наконечниках разгружаются в приемник для немагнитного продукта.

Электрические сепараторы. Классифицируются электрические сепараторы в зависимости от характера электрического поля, способа электризации и конструкции рабочего органа. По характеру поля различают сепараторы электростатические и с коронным разрядом [13].

В зависимости от вида рабочего органа сепараторы могут быть барабанные, полочные, лотковые, пластинчатые, ленточные, камерные и др. В зависимости от способа электризации различают сепараторы с электризацией контактным способом, в поле коронного разряда, трибоэлектризацией, пироэлектризацией и др [13].

В электрических сепараторах с электризацией контактным способом разделение проводников и диэлектриков проводится в электрическом поле, создаваемом между рабочим электродом, на который поступает обогащаемый материал, и противостоящим электродом с противоположным электрическим зарядом.

В пластинчатых электростатических сепараторах разделение минеральных частиц происходит электростатическом поле между вертикальными пластинчатыми электродами.

В барабанных электростатических сепараторах электрическое поле создается между рабочим барабаном и противопоставленным пластинчатым или барабанным электродом.

Коронный барабанный сепаратор служит для разделения электропроводящих материалов и диэлектриков. Сепаратор состоит из пустотелого заземленного вращающегося барабана, на некотором расстоянии от которого на электроизоляторах укреплен многопроволочный коронирующий электрод. На коронирующий электрод от высоковольтной установки подается высокое напряжение – отрицательное, заземленный барабан индуктивно заряжается положительно. Между коронирующий электродом и положительно заряженным барабаном непрерывно происходят электрические разряды, в результате этого от коронирующего электрода к барабану создается непрерывный поток электронов и отрицательно заряженных ионов, образующихся при ионизации воздуха [13].

Исходный материал из бункера лотковым питателем и вращающимся барабаном подается в зону коронного разряда, где все частицы под влиянием потока отрицательно заряженных частиц заряжаются отрицательно и притягиваются к положительно заряженному барабану. При соприкосновении с барабаном частицы проводниковых материалов перезаряжаются от барабана положительным зарядом, отталкиваются от барабана и разгружаются в приемник для проводников. Непроводящие отрицательно заряженные частицы диэлектриков удерживаются на поверхности вращающегося барабана электрическими силами притяжения и затем снимаются щетками и попадают в приемник для непроводников. В промежуточной зоне под действием сил тяжести разгружаются зерна полупроводников [13].

4.3 Биотермические методы переработки органической части ТБО

Компостирование ТБО – биохимический процесс преобразования органических веществ, в контролируемых условиях, в стабильный, гумусоподобный продукт [14].

В практических условиях процесс редко доходит до точки, при которой органика полностью минерализуется – стабилизируется, в связи с чем, применительно к компостированию ТБО применяются также термины «разложение», «минерализация». Как биохимический процесс он лимитируется микробными популяциями и факторами внешней среды. Термин «биохимический» отличает компостирование от других типов разложения, например химического или физического (сжигание, пиролиз и т.д.) [14].

Из определения следует, что за некоторыми исключениями, биохимическому распаду подвергаются только органические составляющие твердых отходов. Очень важное значение имеет термин «контролируемые условия». Именно применение контроля отличает компостирование от естественного гниения или разложения.

Одновременно с разложением одних веществ при компостировании происходит синтез других, в том числе, антибиотических веществ (продуцируемых при биотермическом процессе микробами-антагонистами), которые, обладая литическими и бактерицидными свойствами, подавляют развитие патогенной микрофлоры или вызывают ее гибель, что, наряду с температурой, является важнейшим фактором обезвреживания ТБО [14].

Технологию образования компоста можно классифицировать по трем основным параметрам: использованию кислорода, температуре и способу ведения процесса. Современное компостирование является аэробным и состоит из мезофильной и термофильной стадий.

Компостирование в штабелях осуществляется на открытом воздухе или в специальных помещениях. В механических системах основной процесс обезвреживания ТБО осуществляется в биотермических барабанах (рис. 4.10). Биотермический барабан представляет собой сварной стальной цилиндр, установленный на двух (КМ-101А) или трех (КМ-102Б) роликоопорах с уклоном в сторону разгрузочного устройства [14].

Оси роликов современных биобарабанов вращаются в подшипниках качения (в первых сериях - в подшипниках скольжения).

От продольного смещения биобарабан удерживают упорные ролики, установленные на одной опоре (ближайшей к разгрузочному устройству). Биобарабан может вращаться с двумя скоростями.

На большой скорости вращение осуществляется от двигателя главного привода через цилиндрический редуктор на промежуточную опору и на малую шестерню, входящую в зацепление с венцовой шестерней барабана, на малой скорости - через двигатель вспомогательного привода и дополнительный цилиндрический редуктор.

Вспомогательный привод включают через автоматическую муфту сцепления. Двигатель главного привода находится в постоянном зацеплении с ре-

дуктором. ТБО загружают через окно загрузочной головки. В загрузочной части корпуса приварены полосы в виде шнека для лучшего извлечения материала из загрузочной головки. Разгружают материал через разгрузочное устройство, оборудованное сегментным затвором. Поворот штор сегментного затвора осуществляют приводами, укрепленными на корпусе биобарабана [14].

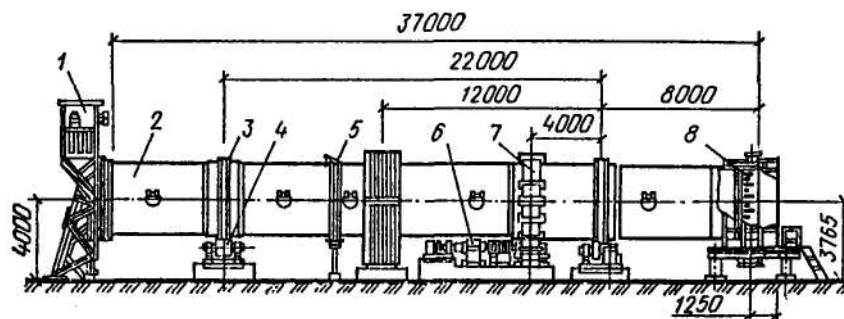


Рис. 4.10 Биотермический барабан КМ-101А:

1 — загрузочная головка ; 2 — корпус (цилиндр) биобарабана ; 3 — бандаж; 4 — роlikоопора; 5 — контактные кольца термодатчиков ; 6 — электропривод; 7 — венцовая шестерня; 8 — перфорированная (разгрузочная) обечайка

Разгрузочный конец биобарабана для равномерной подачи материала на рабочий конвейер выполнен в виде перфорированной обечайки. К внутренней поверхности обечайки крепятся сменные решетки, а к торцу обечайки со стороны выгрузки - подпорное кольцо.

Перфорация решетки выполнена в виде щелей, параллельных оси вращения биобарабана, шириной 100 и длиной 400 и 800 мм, или круглых отверстий диаметром 100 мм [14].

Разгрузочные и загрузочные торцы биобарабана в местах перехода в стационарные камеры (головки) оснащены уплотнительными устройствами. В корпусе биобарабана устроены люки для замера уровня и отбора проб перерабатываемого материала.

Так как компостирование является биохимическим процессом, на него распространяются специфические биологические факторы и требования:

- должна быть подходящая микробная популяция;
- степень и эффективность процесса являются функцией степени и эффективности микробной деятельности;
- производительность данной операции ограничивается массой и природой популяции микробов;
- субстрат, подвергающийся компостированию, должен содержать достаточное количества органического вещества;
- активность процесса зависит от физических и химических характеристик внешней среды [14].

Происхождение первого ограничения заложено в самом определении процесса компостирования: для его осуществления необходимы определенные микробные популяции.

Второе ограничение имеет практически важное значение, так как, вне зависимости от аппаратного оформления, процесс компостирования будет протекать со скоростью, соизмеримой со скоростью активности бактерий в определенных условиях внешней среды.

Микробное ограничение производительности означает, что если достигнута максимальная масса оптимальной микробной популяции, в условиях, обеспечиваемых данным оборудованием, производительность больше не может увеличиваться без ухудшения качества процесса. Нагрузка сверх максимально допустимой подавит процесс частично или полностью и, по меньшей мере, приведет только к частичному обезвреживанию ТБО [14].

Ограничения, возникающие в результате действия факторов внешней среды, сводятся к тому, что процесс подавляется пропорционально степени недостаточности факторов. Например, если температура оптимальная, имеется подходящая микробная популяция, но сократилось поступление кислорода. Единственным способом повышения эффективности процесса является увеличение содержания кислорода. Добавление аэробных бактерий еще больше затруднит проблему, так как кислорода недостаточно даже для существующей популяции. Более совершенное оборудование не даст удовлетворительного результата вследствие того, что эффективным компонентам процесса, а именно бактериям, не хватает кислорода для удовлетворения своих метаболических потребностей [14].

Аэробные микроорганизмы, к которым относятся грибы, актиномицеты и многие бактерии, используют в качестве энергетического материала, в первую очередь легко разлагаемые органические соединения, содержащиеся в пищевых отходах (углеводы, органические кислоты, белки).

Аэробы в процессе сложного цикла превращений (цикл Кребса) окисляют органические вещества, выделяя в виде конечных продуктов углекислый газ и воду.

В общем случае окисление органического вещества происходит не полностью, при этом в среде остаются промежуточные продукты окисления. Это многоэтапный процесс, протекающий при участии многих ферментов с образованием различных промежуточных продуктов.

При обезвреживании бытовых отходов наряду с распадом органического вещества, происходит синтез – образование гуминовых соединений, улучшающих качество, получаемого в процессе переработки ТБО, органического удобрения.

Конечным результатом этапа образования компоста является стабилизация органических веществ в твердых отходах. Степень стабилизации относительна.

Окончательная стабилизация органического вещества приводила бы к получению CO_2 , H_2O и минеральной золы. Однако, ценность компоста заключается в возможности его использования в качестве органического удобрения или биотоплива для теплиц, и желательная степень стабильности зависит от планов его последующего использования [14].

Признаками стабильности кроме внешнего вида (темный цвет) и запаха («запах почвы», который характерен для актиномицетов) являются: окончательное падение температуры, возможность и степень саморазогревания, повышение окислительно-восстановительного потенциала, поглощение кислоро-

да, рост нитевидных грибов, крахмальная проба. Наиболее объективным показателем является степень разложения органического вещества.

Достижение удовлетворительной степени стабилизации всегда сопровождается окончательным снижением температуры. При снижении температуры до 45 — 50 °С материал становится удовлетворительно стабильным и может, следовательно, длительно храниться.

Наиболее объективным показателем степени стабилизации и «зрелости» компоста является степень разложения органического вещества. Косвенным показателем интенсивности биотермического процесса является температура компостируемого материала, однако этот параметр может и не вполне соответствовать интенсивности процесса. Так, при отличной теплоизоляции, в период развития термофильных групп температура может сохранять некоторое время высокое значение и при вялом процессе, например, при недостаточном поступлении кислорода. Объективным показателем активности процесса является значение интенсивности разложения органического вещества [14].

4.4 Мусороперерабатывающие заводы, использующие технологию биотермического компостирования ТБО

Основная задача завода по механизированной переработке твердых бытовых отходов (МПБО) — обезвреживание ТБО с целью охраны окружающей природной среды от загрязнений.

Метод механизированного биотермического компостирования в мировой практике начал применяться в двадцатые годы, когда была доказана возможность обезвреживания ТБО за 20 — 30 суток в аэробных условиях. Первые промышленные установки были рассчитаны на небольшую производительность и не могли решить проблему обезвреживания ТБО крупного или среднего по величине города.

Разработанные в тридцатые годы биотермические барабаны превратили аэробное биотермическое компостирование в широко применяемую промышленную технологию обезвреживания и переработки ТБО.

Биотермические барабаны, в отличие от различного рода неподвижных биотермических камер, обеспечивают:

- интенсивную, принудительную аэрацию ТБО, разрушение анаэробных очагов;
- измельчение и гомогенизацию компостируемого материала, что приводит к увеличению удельной поверхности, улучшению водного и воздушного режима термофильной микрофлоры;
- естественную инокуляцию свежепоступающего материала термофильной и термотолерантной микрофлорой;
- пассивный первоначальный разогрев свежепоступающего материала [14].

Все эти факторы позволили сократить время экспозиции, необходимое для предферментации и обезвреживания компостируемого материала с 20 — 30 до 2 — 4 суток.

Первые заводы МПБО включали минимальный набор оборудования: приемный бункер, оснащенный пластинчатым питателем, биотермический барабан, магнитный сепаратор и грохот. Современные заводы, наряду с этим, комплектуют дробилками для компоста, сепараторами цветных металлов, стекла, полимерной пленки, грохотами для повторного контрольного грохочения, оборудованием для термического обезвреживания некомпостируемых фракций. Первый отечественный завод МПБО пущен в эксплуатацию в 1971 г [13, 14].

На современных заводах МПБО обеспечивается полная механизация всех основных технологических процессов, исключается непосредственный контакт персонала с необезвреженными ТБО.

4.4.1 Технологические схемы заводов МПБО. Заводы МПБО при всем разнообразии технологических и конструктивных схем имеют оборудование для трех основных технологических операций, обеспечивающих законченный цикл обезвреживания ТБО: для приема и предварительной подготовки ТБО; биотермического аэробного компостирования; окончательной обработки и складирования компоста.

На комплексных заводах, кроме того, предусматривают сжигание или пиролиз отделившихся при предварительной и окончательной обработке ТБО некомпостируемых фракций.

В зависимости от принятого типоразмера биобарабана и числа технологических линий мусороперерабатывающие заводы проектируют производительностью от 150 — 300 тыс. до 1,5 млн. м³ ТБО/год [14].

На основе научных исследований и многолетнего практического опыта на заводах МПБО принята такая последовательность технологических операций. Прибывающие на завод мусоровозы взвешиваются на автовесах и разгружаются в приемный (или резервный) бункер, оснащенный пластинчатым питателем. Питатель подает равномерным слоем отходы на ленточный конвейер, проходящий под сепаратором черного металлолома. Далее конвейер направляет ТБО в загрузочную головку биотермического барабана. На некоторых заводах осуществляется прямая загрузка питателем биобарабана, в этом случае черный металл до биобарабана не извлекается.

В последние годы, по ряду экономических, экологических и социальных причин, на всех мусороперерабатывающих предприятиях предусматривается пункт отбора утильных фракций ТБО. Утильные фракции отбираются после магнитной сепарации, перед биотермическим барабаном.

Изменения состава ТБО (ориентировочный массовый баланс завода МПБО), произошедшие в последние годы, должны учитываться при проектировании новых и реконструкции действующих заводов МПБО. В первую очередь это касается предварительной (до компостирования и/или сжигания) сортировки ТБО и отбора утильных фракций. В связи с этим в схемах комплексных заводов, предусматривается отбор фракций ТБО крупнее 300 мм (в основном дерево, картон, текстиль), которые направляются на сжигание вместе с сырым низкокалорийным отсевом контрольного грохота, что улучшает теплотворную способность сжигаемого материала и повышает удобренные свойства компоста [14].

На комплексных заводах (с предварительным грохочением ТБО) 40 — 50 % материала с первичного грохота направляют на сжигание. В этом случае на компостирование поступает 50 — 60 % ТБО и соответственно выход компоста составляет 38 — 42 % [14].

Таблица 4.2

Ориентировочный массовый баланс завода МПБО

Технологический процесс	Отделяемый материал	% от массы ТБО
Биотермическое компостирование	Газовые потери	3 — 4
Контрольное грохочение	Крупные некомпостируемые фракции, подсушивание	15 — 20
Магнитная сепарация мелкого отсева	Черный металлолом	0,5
Сепарация переменным магнитным полем	Цветной металлолом	0,2
Сепарация стекла	Стекло	1 — 2
Сепарация синтетической пленки	Пленка	1
Магнитная сепарация крупных некомпостируемых фракций	Черный металлолом	2,5
Сепарация переменным магнитным полем	Цветной металлолом	0,8
Повторное контрольное грохочение	Балластные фракции	5 — 10
Дозревание в штабелях	Газовые потери	5 — 12
Итого:	Компост	50 — 60
	Черный металлолом	3
	Цветной металлолом	1
	Пленка, стекло и др. некомпостируемые фракции	25 — 33
	Газовые потери	8 — 16

На рисунке 4.11 представлена схема современного завода МПБО для г. Оренбурга, включающее оборудование для предварительной (до биобарабанов) сортировки ТБО.

На Оренбургском заводе предусматривается предварительное до компостирования грохочение ТБО, и повторное, после дробления, грохочение компоста. Оренбургский завод относится к заводам второго поколения, отличается более совершенной технологией очистки компоста от балластных фракций, нормализацией содержания в нем микроэлементов металлов, практически безотходной технологией, более высокими экологическими требованиями [14].

Заводы МПБО позволяют максимально извлекать из ТБО полезных материалов, которые можно реализовать; использовать безотходные и экологически чистые технологии.

Для улучшения качества компоста предусматривается его очистка от балластных фракций (стекла, полимерной пленки).

В технологических схемах заводов предусмотрено повторное грохочение компоста для более тонкой очистки от фракций, содержащих микроэлементы тяжелых металлов [14].

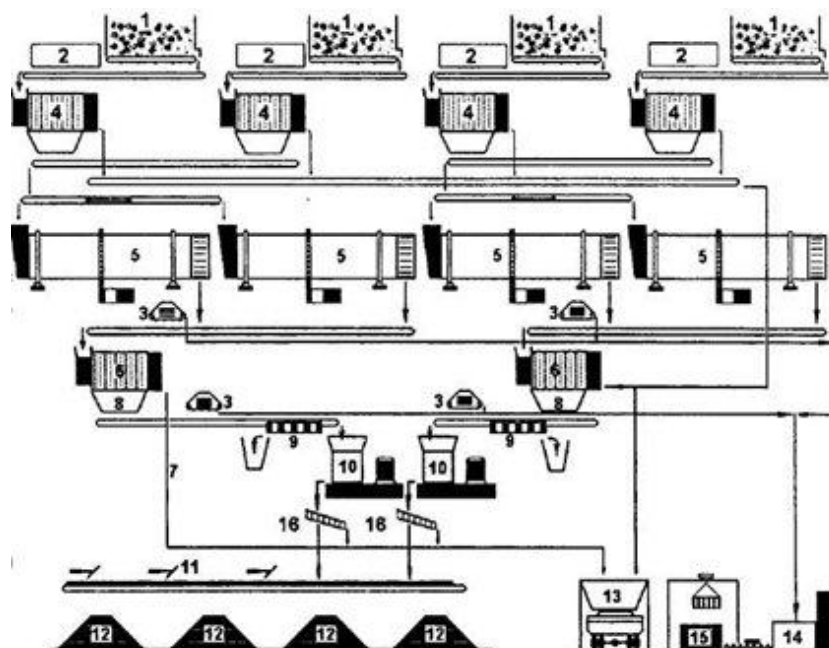


Рис. 4.11 Принципиальная технологическая схема Оренбургского завода МПБО: 1 — приемный бункер, оснащенный пластинчатым питателем; 2 — пункт отбора утильных и балластных фракций; 3 — подвесной конвейерный железоотделитель; 4 — цилиндрический грохот для ТБО; 5 — биотермический барабан; 6 — цилиндрический грохот для компоста; 7 — крупный отсев; 8 — мелкий отсев; 9 — сепаратор цветного металлолома; 10 — дробилка для доизмельчения компоста; 11 — плужковый сбрасыватель; 12 — штабеля компоста; 13 — бункер балласта; 14 — пакетировочный пресс для металлолома; 15 — склад черного металлолома; 16 — сита для повторного грохочения компоста

На всех проектируемых заводах МПБО, для улучшения их экономических показателей предусматривается участок ручного отбора вторичного сырья.

Прибывающие на завод мусоровозы после взвешивания направляются в приемное отделение, где быстро разгружаются в приемный бункер, оснащенный пластинчатым питателем, и обеспечивающий равномерную непрерывную подачу ТБО на переработку. Случайно попавшие крупногабаритные предметы извлекаются грейферным краном и складываются в съемные бункера автосамосвалов. Пластинчатый питатель перегружает ТБО на ленточный транспортер, проходящий под электромагнитным сепаратором и через посты ручного отбора утильных фракций. На постах ручного отбора с транспортера отбирается бумага, картон, текстиль, полимерная пленка, пластиковые бутылки, стекло, цветной металл. Отобранное вторсырье попадает на вспомогательные конвейеры, далее подаются к прессам, где сырье подлежит либо прессованию, либо складированию в естественном состоянии [14].

Далее конвейер проходит в отделение биопереработки, где установлен биотермический барабан диаметром 4 м и длиной 36 или 60 м [14].

Экспозиция в биобарабане – 2 суток. Далее компостируемый материал поступает на бинарные сепараторы (грохоты), где компост разделяется на 2 потока: балласт и просеянный компост. Компост направляется в дробилку и вторичный грохот. После измельчения и повторного грохочения компост направляется на площадку дозревания [14].

Оставшийся от переработки компостируемой массы балласт подлежит либо использованию для рекультивации нарушенных земель, либо захоронению на полигоне. Балластные фракции не содержат пищевых отходов, непригодны для грызунов и насекомых, не выделяют фильтрата и практически не представляют опасности для окружающей среды при складировании на полигонах ТБО или рекультивации нарушенных земель, так как прошли процесс обезвреживания в биобарабане. Учитывая небольшую массу оставшихся балластных фракций, для их обезвреживания возможно использование компактных мусоросжигательных установок.

Система вентиляции и герметизации приемного отделения, обеспечивают предотвращение проникновения пыли, запаха, а также мух и грызунов за пределы приемного отделения.

Этим требованиям отвечают получившие распространение закрытые приемные отделения, внутрь которых въезжает мусоровоз для разгрузки на специально оборудованных (приемных) постах.

Равномерность подачи ТБО обеспечивают необходимым объемом и конструкцией приемного бункера и использованием пластинчатых питателей. Длину приемного бункера, оборудованного пластинчатым питателем, выбирают в зависимости от числа разгрузочных постов.

На каждый бункер, оснащенный пластинчатым питателем, проектируют 1 или 2 разгрузочных поста. Вид и количество постов уточняют в зависимости от состава парка мусоровозов конкретного города. Стенки бункера для предотвращения заклинивания на них ТБО выполняют вертикальными или с углом наклона к горизонту не менее 70 — 80°. Нижняя часть бункера примыкает к полотну питателя через резиновое уплотнение. При необходимости проектируют резервные бункера [14].

Над бункерами устанавливается подвесная кран-балка с захватом и для удаления случайно попавших в ТБО крупногабаритных предметов. Резервный бункер оборудуется грейферным краном.

Проникновению запахов и пыли препятствуют герметизация помещения (ворота с уплотнениями, закрываемые после окончания загрузки), местный отсос у приемного бункера, вытяжная вентиляция, обеспечивающая при закрытых воротах в приемном отделении отрицательное давление. Пожаробезопасность обеспечивается системой огнетушения.

4.4.2 Технология биотермического аэробного компостирования. Первая (основная, с точки зрения обезвреживания ТБО) стадия процесса аэробного биотермического компостирования ТБО на современных заводах МПБО осу-

ществляется в горизонтальных вращающихся барабанах. Вторая стадия - в штабелях на площадке дозревания [14].

Биотермическое разложение органического вещества происходит в результате жизнедеятельности сапрофитных аэробных микроорганизмов, способных выделять при биохимических реакциях обмена веществ определенное количество тепла.

Требуемая для биотермического процесса микрофлора имеется в необходимых количествах в ТБО. Активизацию ее жизнедеятельности обеспечивают за счет:

- увеличения удельной поверхности при измельчении ТБО;
- аэрации компостируемой массы в объеме 0,2 — 0,8 м³ на 1 кг перерабатываемого материала;
- перемешивания материала;
- поддержания влажности массы в пределах 45 — 55 %;
- теплоизоляции, способствующей сохранению выделяющегося тепла и подъему температуры компостируемого материала [14].

Температура является одним из основных факторов, влияющих на биологическую активность. Вообще у каждой группы микроорганизмов имеется оптимальная температура, и любое отклонение от нее отмечается снижением их роста и активности.

Наилучшими условиями для образования компоста являются мезофильный и термофильный температурные пределы.

На первой стадии целесообразен мезофильный процесс (в верхнем пределе не выше 35 °С), так как мезофильные бактерии более эффективно ускоряют процесс образования компоста. Однако, в связи с необходимостью обезвреживания ТБО, для чего требуется более высокая температура, на второй стадии процесса используется термофильный процесс образования компоста [14].

Наиболее эффективно биотермический процесс протекает в нижнем термофильном пределе, а именно от 50 до 55 °С [14].

Температура (достаточно большой или теплоизолированной) массы компостируемых ТБО будет постепенно возрастать до термофильного предела из-за избыточной энергии.

Создавая в биотермическом барабане условия затрудненной теплоотдачи, удастся поднять температуру обезвреживаемого материала до 55 — 60 °С, которая губительно действует на большинство болезнетворных микроорганизмов, яйца гельминтов и личинки мух [14].

Непременным условием обезвреживания ТБО является выдержка компостируемого материала не менее 12 часов при температуре не менее 50 °С [14].

Наряду с температурой важным обеззараживающим фактором являются антибиотические вещества (продуцируемые при биотермическом процессе микробами - антагонистами), которые, обладая литическими и бактерицидными свойствами, подавляют развитие патогенной микрофлоры или вызывают ее гибель.

Условно процесс аэробного биотермического компостирования разделяют на три фазы.

Первая характеризуется ускоренным размножением мезофильных микроорганизмов с температурным оптимумом развития 20 — 35 °С. Источником энергии для бактерий служат легкоразлагаемые органические соединения, содержащиеся, в основном, в пищевых отходах (углеводы, органические кислоты, белки). В процессе их жизнедеятельности выделяется тепловая энергия, способствующая нагреву компостируемого материала до 50 °С [14].

Во второй фазе повышение температуры создает благоприятные условия для развития термофильных микроорганизмов, в результате жизнедеятельности которых увеличивается выделение тепла, ускоряются процессы разложения органического вещества. Температура компостируемого материала поднимается до 55 — 60 °С. В зависимости от внешних условий первая фаза протекает от одного до нескольких дней, а вторая - до двух-трех месяцев [14].

При двух-трехсуточном цикле пребывания компостируемого материала в биотермическом барабане в нем успевает лишь начаться вторая фаза.

Завершается эта фаза в штабелях на площадке дозревания или в закрытом грунте при использовании получаемого на заводах материала в качестве биотоплива для теплиц.

Третья фаза – медленное падение температуры свидетельствует об использовании легкоразлагаемых органических соединений. В этой стадии термофильная микрофлора переходит в состояние спор, частично отмирая, а мезофильная начинает вновь размножаться благодаря тому, что обладает более разнообразной и мощной ферментативной системой, с помощью которой разлагаются более стойкие органические соединения (клетчатка и лигнин) [14].

Оптимальный диапазон рН для большинства бактерий находится в пределах между 6 и 7,5, а для грибов он может быть между 5,5 и 8. Изменение кислотности среды осуществляется условиями аэрации. Эффективная аэрация обеспечивает содержание углекислого газа в компостируемой массе не более 5 — 10 %, щелочную реакцию среды фильтрата из компоста [14].

Потребность в кислороде непосредственно связана с интенсивностью разложения органического вещества в процессе аэробного биотермического компостирования.

Минимально необходимая, для обеспечения оптимальных условий жизнедеятельности аэробной микрофлоры, подача воздуха в биотермический барабан при активном биотермическом процессе составляет 0,12 — 0,15 м³ на 1 кг компостируемого материала, однако в реальных условиях подача воздуха значительно выше, так как аэрация используется и для некоторой подсушки компостируемого материала. Всего в биобарабаны необходимо подавать воздух из расчета 0,2 — 0,8 м³ на 1 кг обезвреживаемых ТБО [14].

Биотермическое аэробное компостирование может сопровождаться очаговым анаэробным процессом. Анаэробные явления могут быть связаны с недостаточной аэрацией отдельных зон биобарабана или слеживанием ТБО при длительном складировании до подачи в биобарабан. Аэрация наряду с интенсивным перемешиванием и измельчением материала способствует ликвидации анаэробных зон. Аэрация способствует также снижению влажности компости-

руемого материала, что важно для последующего грохочения, сепарации и дробления компоста, которые наиболее эффективно осуществляются на материале с влажностью не более 50 %. В соответствии с технологическим регламентом объемом подаваемого воздуха (при необходимости подогретого до 60 — 70 °С) меняется по сезонам года, и зависит от температуры и влажности компостируемого материала, степени заполнения биотермического барабана [12 — 14].

Всего за цикл аэробного биотермического компостирования содержание органического вещества в компостируемом материале снижается на 15 — 20 %, в том числе в биотермическом барабане (в зависимости от активности биотермического процесса) на 1,8 — 3 %, остальная органика «теряется» в штабелях и теплицах.

На отечественных заводах принят двух-трехсуточный цикл пребывания компостируемого материала в биобарабане.

Для обеспечения надежного перемешивания и измельчения компостируемого материала в биобарабанах необходимо за время двухсуточного цикла барабану совершить не менее 2000 оборотов.

Содержащиеся в ТБО отдельные крупноволокнистые включения (провода, текстиль, веревка и др.) могут в биобарабане скатываться в крупные окатыши, которые периодически приходится удалять из биобарабана.

В процессе пребывания материала в биобарабане увеличивается его плотность с 160 — 230 кг/м³ до 700 кг/м³. Средняя плотность массы, находящейся в биобарабане, составляет 520 — 600 кг/м³ [14].

Увеличение длительности пребывания компостируемого материала влажностью выше 50 % в биобарабане (особенно неподвижном) более трех суток нежелательно, т.к. может привести к увеличению плотности выше 1000 кг/м³, снижению эффективности аэрации.

При недостаточно активном биотермическом процессе (температура по всей длине биобарабана ниже 50 °С) возможно ограничение интенсивности аэрации, но с подогревом аэрирующего воздуха до 60 °С и вращением с большей скоростью во внезагрузочный период [14].

При запуске предварительно опорожненного биобарабана (после ремонтов) необходимо в течении первых четырех-пяти суток не вести разгрузку материала, что связано с отсутствием инокуляции «свежих» ТБО зрелым компостом. При этом происходит более медленный подъем температуры материала, загружаемого в остывший биобарабан.

Для контрольной сортировки прокомпостированных ТБО используют бинарные сепараторы (грохоты), разделяющие материал на два потока. В качестве кода сепарации используют геометрические размеры фракций. Целью контрольной сортировки является очистка компоста от балластных некомпостируемых фракций, имеющих, как правило, большие геометрические размеры [14].

Для полной и точной характеристики сепаратора требуются два показателя — восстановление и чистота. Для рассматриваемого случая эффективность определяют одним параметром — восстановлением. В мелком отсеке после гро-

хотя не могут оказаться фракции, превышающие размеры сит, чистота мелкой фракции равна 100 %.

Для контрольной сортировки прокомпостированного материала в настоящее время на всех отечественных мусороперерабатывающих заводах используют вращающиеся наклонные барабанные грохоты, оснащенные ситами с круглыми отверстиями.

В первые годы эксплуатации заводов МПБО использовались для контрольной сортировки плоские виброгрохоты с перфорированными ситами, в том числе и полинарные, разделяющие смесь на три фракции. Сита плоских виброгрохотов быстро засоряются бумагой и крупноволокнистыми материалами, что существенно снижает эффективность грохочения.

Барабанные грохоты обладают большей сопротивляемостью к засорению, на них легче монтировать устройства для механической очистки сит. В барабанном сите компост перемещается по внутренней поверхности, пока не попадает в ячейку. Путь частички компоста зависит от угла наклона, диаметра и скорости вращения сита, а также степени заполнения сечения. При различной скорости вращения возможны три варианта поведения сепарируемого материала:

- перекачивание каждой частички по сити практически без отрыва от его поверхности;
- перемещение типа «водопад» (при значительно большей скорости вращения), когда частичка поднимается выше оси вращения и свободно падает по параболической траектории на поверхность сита;
- «прилипание» частички компоста к поверхности сита за счет центробежной силы и прекращение сепарации.

Естественно, оптимальным является второй вариант работы барабанного грохота, так как при первом варианте мала производительность, а при третьем эффективность сепарации стремится к нулю, сепаратор работает как центрифуга.

Критическая скорость вращения барабанных сит диаметром 2 и 2,5 м соответственно равна 30 и 27 об/мин [14].

Оптимальная скорость вращения сита находится в пределах 0,35 — 0,45 критической. Отношение оптимальной скорости сита к критической зависит от степени заполнения сечения барабанного грохота. Чем выше заполнение сечения, тем большая скорость вращения необходима для обеспечения метания частиц (второй вариант) внутри сита.

Большое влияние на эффективность грохочения и производительность грохота оказывает угол наклона оси вращения сита к горизонту. Чем больше угол наклона, тем меньше времени находится материал в грохоте, а, следовательно, выше его производительность, но ниже эффективность грохочения. Эффективность грохочения незначительно меняется при изменении угла наклона от 0 до 6°. При дальнейшем увеличении угла наклона эффективность сепарации резко падает [14].

За время пребывания в грохоте материал должен совершить не менее 6 оборотов внутри сита. Оптимальная скорость вращения контрольных грохотов для компоста равна:

- при диаметре 2 м – 11 — 12 об/мин;
- при диаметре 2,5 м – 10 — 11 об/мин.

При скорости вращения 10 — 12 об/мин время пребывания материала в грохоте 30 — 36 с. Масса материала в грохоте при производительности 12 — 15 т/час – 120 — 140 кг. При плотности материала в грохоте 200 кг/м^3 объем материала в грохоте составляет 0,6 — 0,7 м^3 . Оптимальная степень заполнения грохота 0,12 — 0,14 [14].

Существенное влияние на производительность барабанных грохотов оказывает влажность разделяемого материала. Эффективное грохочение осуществляется при влажности обезвреживаемой массы не более 45 — 50 %. При большей влажности компост налипает на сита грохота, препятствуя нормальному протеканию процесса. Для обеспечения стабильной работы грохота требуется не реже одного раза в смену, а при влажности компостируемой массы выше 50 % не реже двух раз в смену очищать сита. При большой влажности мелкие частицы компоста скатываются, слипаются в крупные окатыши и отсеиваются вместе с крупными некомпостируемыми фракциями, что также снижает эффективность грохочения.

С учетом сезонных колебаний состава отходов и влажности сортируемой массы выход компоста около 70 %, эффективность грохочения 80...90 %. Для обеспечения таких показателей в условиях повышенной влажности приходится снижать нагрузку на грохот.

Сепарацию стекла производят с целью обогащения компоста (за счет уменьшения содержания в нем балластных фракций) и для уменьшения износа сменных элементов дробилки для компоста. На заводах МПБО применяют сепараторы, отделяющие стекло и другие балластные фракции двух типов: баллистические и пневматические [14].

В баллистических сепараторах в качестве кода (сепарации) используют упругость разделяемых фракций. Сепарируемую массу разгоняют транспортером или специальным метателем типа «беличье колесо» до определенной скорости и направляют в сторону отражательной обрешиненной плиты, выполненной в виде плоского медленно вращающегося диска, установленной под углом 35 — 50° к потоку. Упругие фракции отражаются от диска на большее расстояние и попадают в течку для балласта, неупругая масса компоста падает в течку, расположенную ближе к отражательной плите. Налипшие на плиту фракции постоянно очищаются с диска специальным неподвижным скребком. Расстояние отскока и эффективность сепарации зависят от влажности компостируемого материала и интенсивности его поступления. В зависимости от влажности восстановление стекла в баллистическом сепараторе составляет 20 — 60 %, потеря компоста – 1 — 3 % [14].

В пневматических сепараторах в качестве кода сепарации используют парусность (скорость витания в потоке воздуха) разделяемых фракций. Пневматические сепараторы используют для очистки компоста от балластных фракций, имеющих как большую, так и меньшую скорость витания по сравнению с основной массой компоста.

Пневмосепаратор представляет собой вертикальную рабочую шахту, в которую через шлюз подают сепарируемый материал. В восходящем постоянном потоке воздуха материал разделяется на две фракции.

При необходимости разделения на большее число фракций устраивают несколько рабочих шахт. Вертикальные рабочие шахты сепаратора, в которых происходит отделение балласта, выполняют зигзагообразными с целью более равномерного заполнения всего сечения шахты сепарируемым материалом. Эффективность работы пневмосепаратора существенно зависит от влажности сепарируемого материала. Наибольшая влажность компоста не должна превышать 48 %. При отделении легких балластных фракций происходит потеря пылеватых фракций компоста (3 — 4 % массы компоста). При отделении тяжелых балластных фракций происходит потеря 2 — 4 % компоста.

Для повышения надежности обезвреживания компостируемого материала целесообразно обеспечивать кратковременное (до момента подъема температуры до 60 °С) дозревание в штабелях высотой 2...3 м и материала, предназначенного для использования в качестве биотоплива, с последующей перегрузкой в уплотняемые штабели для приостановки биотермического процесса. Заложение откосов штабелей принимается равным 1:1, или 45°. Длина штабеля не должна превышать 30 м. Разрывы между штабелями (для проезда) — 3 — 5 м [14].

Пневматический сепаратор пленки. Сепаратор КМ-204А (рис. 4.12) предназначен для очистки компоста от балластных пленочных материалов. Он состоит из нагнетательного вентилятора, сепарирующей камеры, ленточного конвейера, расположенного внутри камеры, всасывающего вентилятора с диффузором, циклона и фильтра тонкой очистки.

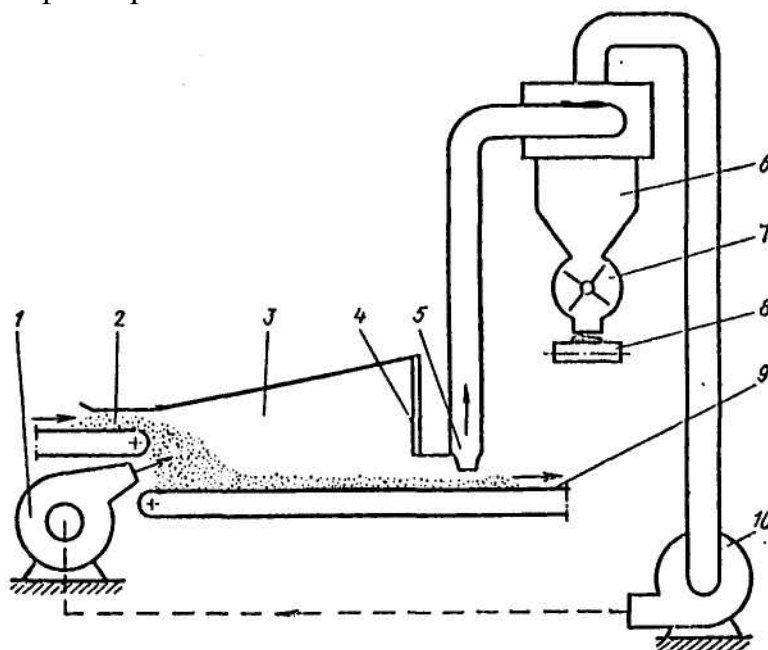


Рис. 4.12. Принципиальная схема горизонтального пневматического сепаратора пленки КМ-204А:

1 — поддув воздуха; 2 — подача компоста; 3 — камера сепарации; 4 — тканевый фильтр; 5 — диффузор; 6 — циклон; 7 — шлюзовой затвор; 8 — пленка; 9 — очищенный от пленки компост; 10 — всасывающий вентилятор.

Нагнетательный вентилятор подает воздух в зону перегрузки компоста с одного конвейера на другой. Зона перегрузки находится внутри закрытой камеры. У выхода из камеры, над лентой конвейера расположен всасывающий диффузор, соединенный системой воздуховода с циклоном и всасывающим вентилятором.

При перегрузке компост продувается струей воздуха. Более легкие (пленка) фракции оседают медленнее и оказываются на ленте конвейера сверху над компостом. Эти фракции засасываются диффузором и по системе воздухопроводов перемещаются в циклон, где оседают и через шлюзовой затвор выгружаются в тележку [14].

4.5 Переработка твердых отходов полимерных материалов

Переработка производственных технологических отходов пластмасс и применяемое при этом оборудование может быть представлена следующим образом:

- 1 Предварительная сортировка и очистка (при необходимости);
- 2 Измельчение отходов;
- 3 Грануляция и конфигурирование;
- 4 Переработка в изделия.

Стадия измельчения отходов является практически обязательной и ответственной при переработке отходов. Часто от качества измельчения зависит возможность дальнейшей переработки отходов в изделия и области их применения. В настоящее время существует ряд дробильно-размольного оборудования, в том числе измельчители пластмасс роторные (ИПР-150; ИПР-300; ИПР-450). При выборе того или иного типа оборудования необходимо учитывать ряд факторов, главными из которых являются: вид и характер пластмассовых отходов, их размеры и количество, необходимая степень измельчения и конечный размер из дробленного материала и др. Иногда, если необходимо измельчить очень крупные отходы, их предварительно режут, используя дисковые пилы и ленточно-пильные станки, на более мелкие куски, которые могут быть далее измельчены на стандартном оборудовании. Для повышения производительности в стадии измельчения часто необходимо проводить предварительное уплотнение отходов, особенно тех, которые обладают низкой насыпной плотностью. Одним из видов для уплотнения отходов являются дисковые уплотнители, представляющие собой грануляторы с фрикционными дисками, один из которых вращается, а другой неподвижен. Спекание и уплотнение отходов происходит за счет теплоты трения, образующейся при вращении диска. После спекания полученная масса в виде жгута с холодным потоком воздуха подается в ножевую дробилку [15].

Далее агломерат в виде спекшихся гранул неправильной формы и размеров подается в бункер-накопитель и затем либо:

- в производство на переработку;
- на гранулирование в гранулятор типа ЛГП для получения вторичных гранул.

4.5.1 Переработка отходов пленки. Накопление отходов и загрязнение продолжается. Особенно в последние 10–12 лет почти не перерабатываются от-

ходы ПЭ пленок, используемых в сельском хозяйстве и частными предпринимателями для укрытия парников и ранних посевов сельхозпродукции. Ранее, до распада СССР, существовала система сбора использованных ПЭ пленок в с/х и их переработка на специализированных заводах (рис. 4.13), где были созданы мощности по их переработке ≈ 15 тыс. т/год [15, 16].

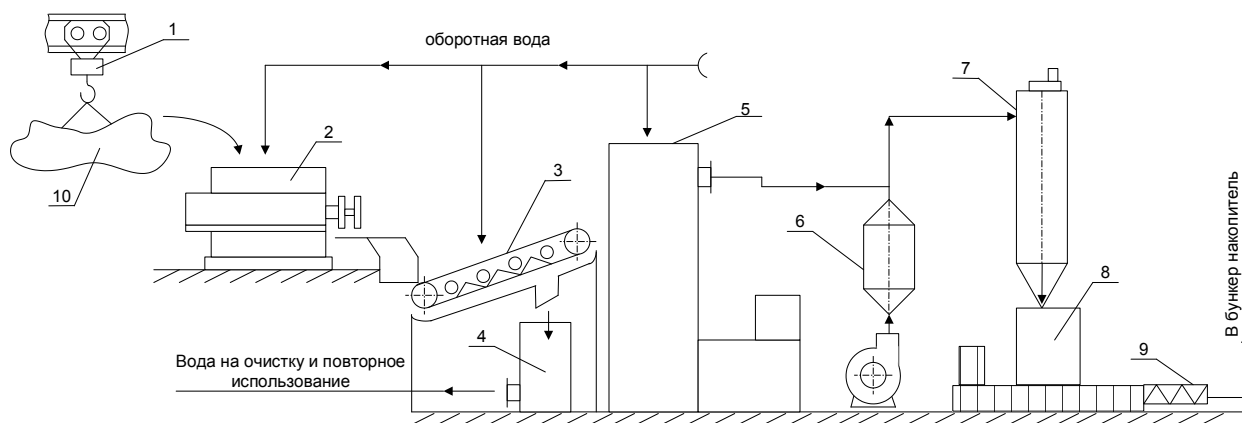


Рис. 4.13 Схема переработки сельскохозяйственной пленки:

1 — подвесная кран-балка (тельфер); 2 — установка предварительной резки и отмытки ПЭ пленки; 3 — разделительная ванна с орошением; 4 — емкость для отстаивания воды; 5 — аппарат непрерывной отмытки; 6 — электрокалорифер и вентилятор для подсушки; 7 — бункер-разгрузитель дробленых отходов ПЭ пленки; 8 — агломератор; 9 — шнековый питатель; 10 — ПЭ пленка, бывшая в употреблении в с/х

Длительное время считалось, что используемые в сельском хозяйстве пленки не поддаются утилизации из-за термических повреждений и сильной загрязненности. Их после применения сжигали или отвозили на свалку. Тем не менее, более 20 лет тому назад был разработан способ промывки и дробления с последующей грануляцией загрязненной пленки, отличающейся большой эффективностью и дешевизной. Были созданы совершенно новые виды оборудования, такие как:

- дробилки с мокрым размолотом;
- агломераторы;
- разделительные ванны;
- установки предварительной резки и отмытки;
- аппараты непрерывной отмытки и т.д.

В отработанной загрязненной пленке сельскохозяйственного назначения много влажной земли и песка, что приводит к быстрому износу ножевых дробилок. По этой причине была разработана ножевая дробилка специальной конструкции, в которую при работе подается большой объем воды (2–5 м³/час). Этот метод позволяет «прополаскивать» загрязненные отходы пленки в дробильно-размольном оборудовании [15, 16].

Тюки загрязненной пленки содержат камни и другие включения, которые приводят к повреждению или разрушению ножевой дробилки. Для ее защиты был разработан способ предварительной промывки, который имеет три участка:

- Накопитель для тюков. Он предназначен для приемки нескольких тюков пленки, обеспечивая работу установки в автоматическом режиме.
- Предварительная очистка и измельчение. В двухвалковом устройстве для разрыва тюков на куски размером с десертную тарелку. После измельчения в этом устройстве материал по ленточным транспортерам подается на последующую обработку, т.е. в бункер предварительной промывки.
- Бункер предварительной промывки, в котором отделяют тяжелые не плавучие составляющие (камни, железо).
- Центрифугирование загрязненной воды после мокрого измельчения в центрифуге или в обезвоживающем шнеке.
- Механическая и термическая сушка. Порезанная и очищенная от грязи пленка направляется на механическую или пневматическую сушку. После описанных операций производится процесс изготовления гранулята из кусков порезанной пленки.

Технология утилизации с/х пленки является целесообразной не только с экологической точки зрения, она представляет и экономический интерес.

Решение вопроса состоит в том, что, в первую очередь, надо собрать пленку и транспортировать ее к переработчику. Это осуществляется в сотрудничестве с сельскохозяйственными кооперативами, фермерами и индивидуальными производителями сельхоз продукции. Производство по переработке с/х пленки может быть организовано, как на предприятиях изготавливающих пленку, так и на предприятиях, занимающихся переработкой отходов. Утилизированные отходы могут использоваться в других отраслях в качестве наполнителей для производства облицовочных материалов, плит, досок, поручней, брикетов и др. изделий.

4.5.2 Переработка полимерной тары. Отходы бытовой ПЭТ-тары представляют огромную проблему для окружающей среды, так как для их разложения в естественных условиях требуется в среднем более 100 лет. В настоящее время происходит существенный ежегодный рост (по оценкам более чем на 25 %) производства потребительской тары из ПЭТ во всем мире, поэтому проблема переработки отходов бытовой ПЭТ-тары является острой проблемой во всем мире, в том числе и в России. В Западной Европе каждая третья емкость производится из вторичного ПЭТ очень чистого продукта переработки бытовых отходов. В США возврат и переработка отходов бытовой ПЭТ-тары предписаны в отдельных штатах законодательно.

Высокая степень переработки бытовых отходов ПЭТ-тары дает полиэтилен-терефталату преимущество над конкурирующими другими полимерами и делает его конкурентоспособным со стеклом и алюминием с экологической точки зрения.

Кроме того, продукт переработки отходов бытовой ПЭТ-тары используется как дешевый волоконный материал для производства изоляции, стройматериалов, матрасов, геотекстиля, автомобильных сидений, спортивных сумок, рюкзаков, шнурков, спортивной обуви, обвязочных средств.

На объемы переработки бытовых отходов ПЭТ-тары влияют три основных фактора: экономичность системы сбора отходов, производственные мощности переработки и рынок переработанного продукта или продукции из него. Экономичность системы сбора отходов бытовой ПЭТ-тары – это проблема для переработки, так как их необходимо сортировать, очищать и доставлять в центральные пункты сбора. Поэтому необходимо организовать сбор бытовых отходов ПЭТ-тары или их отделение от твердых бытовых отходов, собираемых местными властями. Переработка отходов бытовой ПЭТ-тары облегчается при устранении клеев с высокой точкой плавления, бумажных этикеток, укупорочных колец из полиолефинов. Инвестиции в нужном объеме могут быть обеспечены только в случае полной уверенности в необходимых поставках бытовых отходов ПЭТ-тары и наличии рынков сбыта. Давление со стороны законодательства, введение налога на захоронение мусора подхлестнуло местные власти и поэтому ожидается быстрый рост сборных пунктов. Увеличение объема переработки бытовых отходов ПЭТ-тары не представляет технических трудностей, поэтому рассмотрим подробно технологическую схему и оборудование для переработки отходов бытовой ПЭТ-тары (рис. 4.14) [15, 16].

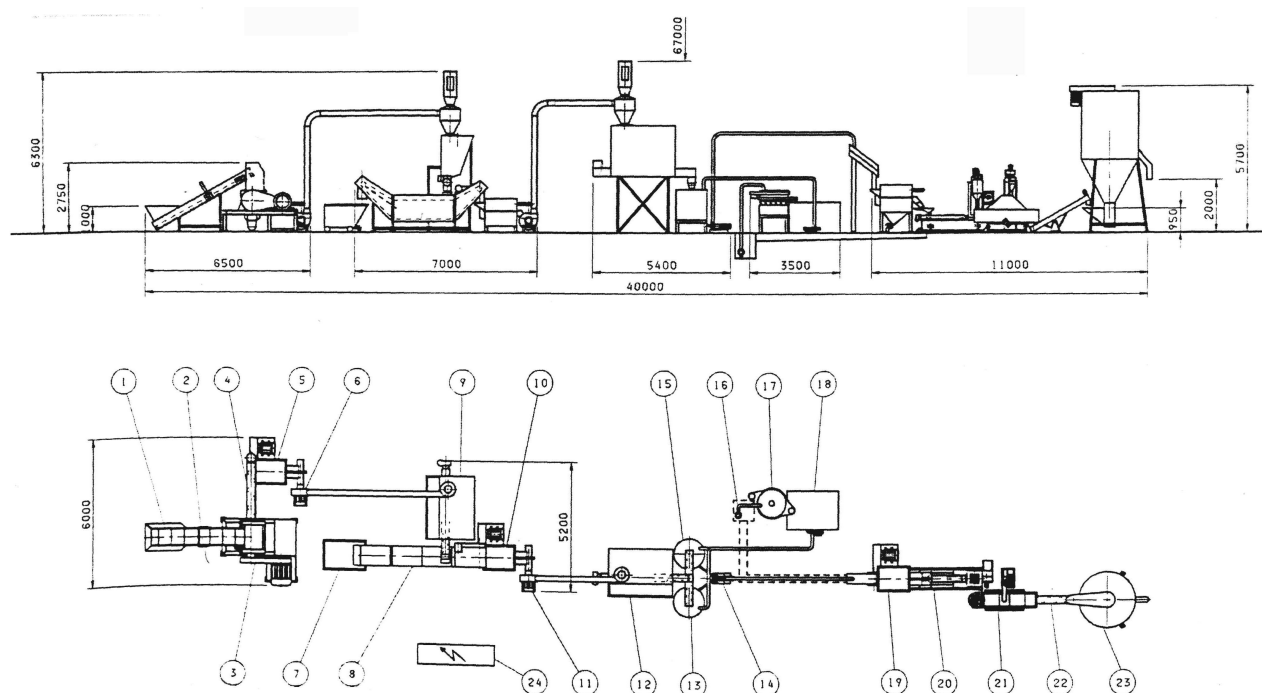


Рис.4.14 Линия переработки бытовых отходов ПЭТ-тары:

1 — загрузочный наклонный транспортер, 2 — электронный металлодетектор, 3 — ножевая дробилка для измельчения и мойки, 4 — шнековый осушающий транспортер, 5 — центрифуга промежуточная, 6 — промежуточный всасывающий вентилятор, 7 — тележка для отделенного продукта, 8 — разделительная ванна, 9 — бункер для хранения измельченного продукта, 10 — центрифуга промежуточная II, 11 — всасывающий вентилятор, 12 — горизонтальный бункер, 13 — промывочная ванна I, 14 — шнековый загрузчик, 15 — промывочная ванна II, 16 — насос, 17 — экран вибрирующий, 18 — узел нагрева воды, 19 — насос для воды и измельченного продукта с центрифугой, 20 — установка для сушки, 21 — вибротранспортер, 22 — наклонный шнековый загрузчик, 23 — смеситель вертикальный, 24 — центральный шкаф автоматики

Бытовые отходы ПЭТ-тары подаются на загрузочный наклонный транспортер (1) длиной 5 м и шириной 1 м. Лента транспортера имеет по ширине загрузочные полосы, в нижней части оборудована загрузочным бункером с предохранительными приспособлениями, приводится в движение с помощью электромотора с регулируемым числом оборотов, оснащена автоматической системой пуска – остановки в зависимости от работы ножевой дробилки для измельчения и мойки.

Над лентой транспортера смонтирован электронный металлодетектор (2) для поиска цветных и черных металлов, которые могут попадать на транспортер вместе с ПЭТ-тарой. С транспортера ПЭТ-тара загружается в ножевую дробилку для измельчения и мойки. Тщательная промывка осуществляется в процессе измельчения тары путем периодической подачи мощных струй воды, направленных в камеру измельчения, что позволяет полностью отделить загрязняющие вещества от материала, подлежащего дальнейшей переработке. Ротор ножевой дробилки оснащен 5 наклонными ножами, камера измельчения оснащена 2 неподвижными ножами. Данная схема работы дробилки предохраняет лезвия ножей и другие части внутри камеры измельчения от быстрого износа, существенно сокращает время на переналадку и регулировку. Ножевая дробилка является герметичной, не позволяет просачиваться воде. Мощность ножевой дробилки составляет 90 кВт. Измельченный материал шнековым осушающим транспортером (4) транспортируется из ножевой дробилки в центрифугу промежуточную (5), где быстро и идеально отделяется от грязной воды. Мощность центрифуги промежуточной составляет 30 кВт, скорость вращения 2 200 об/мин. Из центрифуги промежуточной измельченные отходы промежуточным всасывающим вентилятором (6) транспортируются в разделительную ванну (8) объемом 6 м³, которая предназначена для разделения ПЭТ от полиолефинов, дерева, бумаги, которые всплывают в воде, а ПЭТ опускается на дно. Вверху разделительной ванны расположена специальная лента, которая продвигает материал к краю ванны, а в нижней части ванны расположена специальная система ремней, которая непрерывно отделяет затонувший ПЭТ. Габариты разделительной ванны (длина × ширина × высота) 5 600 × 1 400 × 2 000 мм. Тележка для отделенного продукта (полиолефины, дерево, бумага) (7) обеспечивает удаление отделенного продукта из разделительной ванны и имеет отверстия в нижней части для выхода воды, остающейся в отделенном продукте. Измельченный ПЭТ далее транспортируется в бункер для хранения (9) горизонтального типа шнековым транспортером, имеет объем 3 м³. Далее измельченный ПЭТ транспортируется в центрифугу промежуточную II (10), где дополнительно происходит отделение оставшейся грязной воды от промытого измельченного ПЭТ. Всасывающий вентилятор (11) транспортирует измельченный ПЭТ в горизонтальный бункер для измельченного материала (12). Шнековый загрузчик (14) транспортирует измельченный материал из горизонтального бункера в промывочные ванны (13 и 15) для удаления остаточных частиц бумаги и клея на измельченном ПЭТ с использованием горячей воды. Промывочные ванны имеют вращательные системы с лопастями внутри цилиндрических резервуа-

ров, которые работают циклически в соответствии с наличием посторонних частиц в измельченном ПЭТ. Насос (16) используется для откачки грязной воды на экран вибрирующий (17) для фильтрации грязной воды, поступающей из центрифуг. Экран вибрирующий отделяет пыль ПЭТ от воды, которая вновь используется для воды, подаваемой в промывочные ванны. Насос для воды и измельченного ПЭТ с центрифугой (19) используется для отделения грязной воды от промытого ПЭТ. Далее промытый ПЭТ транспортируется в установку для сушки мощностью 65 кВт, где происходит окончательная сушка измельченного ПЭТ. Вибротранспортер (21) приводит отделение остатков бумаги от материала с помощью воздуха. Далее наклонный шнековый загрузчик (22) транспортирует материал в смеситель вертикальный (23), где высушенный измельченный ПЭТ непрерывно перемешивается для создания однородности продукта. Смеситель вертикальный в нижней части имеет разгрузочную камеру для затаривания измельченного ПЭТ в тару. Затаренный измельченный ПЭТ затем направляется на склад. Измельченный и идеально промытый ПЭТ используется для дальнейшей переработки в ПЭТ-тару для пищевых продуктов, для технических продуктов, для изготовления волокон [15].

Вышеописанная схема и оборудование для переработки бытовых отходов ПЭТ-тары применяются для создания линий производительностью до 500 кг/час с установленной мощностью 520 кВт на базе отечественного и импортного оборудования для переработки отходов термопластов.

4.6 Переработка твердых отходов стекольных и керамических производств

Исходя из технологии получения стекла и стеклоизделий главными компонентами стекла являются диоксид кремния SiO_2 , содержание которого в стекле составляет от 40 до 80 % (по массе), в кварцевых стеклах от 96 до 100 % и ряд других неорганических оксидов. Химический состав различного вида стекла приведен в таблице 4.3 [17].

Таблица 4.3

Химический состав различного вида стекла

Вид стекла	Химический состав (% по весу)											
	SiO_2	Na_2	K_2O	CaO	BaO	MgO	ZnO	PbO	Al_2O_3	Fe_2O_3	B_2O_3	As_2O_3
Обычное	75,3	13,0	-	11,7	-	-	-	-	-	-	-	-
Оконное	71	16	-	8	-	S3	-	-	1,5	0,2	-	-
Бутылочное	70	15	2,8	10	-	-	-	-	3,0	2,0	-	-
Электро- ламповое	71	14	3	5	-	3		3,5	0,3	0,2		
Лаборатор- ное	69,8	8,8	5,6	8,2	-	-	-	-	4,9	-	2,7	-
Иенское	65,3	-	-	-	12,0		4,2	-	3,5	-	15,0	-
Пирекс	80,5	4,4	0,2	0,4	-	-	-	-	2Д	-	11,9	0,5

ТПО стекольных производств включают разнообразные виды твердых отходов. Это отходы, образующиеся при производстве стекла и стеклоизделий, и ТПО от готовой продукции.

Твердые промышленные отходы, образующиеся в процессе производства стекла и стеклоизделий включают следующие основные виды:

1. Смесь солей Ca и Mg. Эта смесь состоит из 30 — 50% CaSO_4 ; 20 — 30% CaF_2 ; ~10% CaO; 15 — 25% MgO. Влажность хранящейся смеси зависит от времени года и погоды и составляет от 20 до 40% [17].

2. Брак производства, стеклобой.

3. Осадок из отстойников, шлам, соли Na, Ca, Si.

4. Древесные опилки, срезки и т.п. в качестве побочных сопутствующих вспомогательных отходов.

Кроме того в производстве кварцевого стекла образуются ряд ТПО в виде соединений SiCl_4 , GeCl_4 , POCl_3 .

Смесь солей Ca и Mg, главным компонентом из которой является сульфат кальция, фторид кальция, оксид кальция и магния. Больше всего в этой смеси содержится сульфата кальция — CaSO_4 . Сульфат кальция в виде кристаллогидрата есть гипс — $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. Гипс — это вяжущий строительный материал. И так выше + 66 °C в безводном состоянии (ангидрид) из раствора выделяется сульфат кальция. Если температура ниже +66 °C, то из водного раствора осаждается гипс — $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, т.е. кристаллогидрат [17].

Нагревание гипса до +150 °C переводит его в более бедный водой кристаллогидрат — $2\text{CaSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$. Если замешать этот порошок $2\text{CaSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ с водой (70% от веса гипса), то происходит обратное присоединение воды, сопровождающееся отверждением всей массы вследствие ее перехода [17].

Таким образом образуется гипс. Это свойство перехода сульфата кальция из одного кристаллогидрата в другой можно использовать для получения самых разнообразных изделий от декоративной плитки до художественных горельефов для коттеджей, офисов и т.п. Так в частности и получают различные виды изделий на ряде малых предприятий.

К замешиваемой композиции на основе сульфата кальция CaSO_4 добавляются ТПО первого вида, а именно смесь CaSO_4 ; CaF_2 ; CaO и MgO. При этом перед добавкой эти отходы высушиваются и дробятся. Сушка отходов первого вида производится при температуре 170 — 180 °C. Добавка этих видов ТПО в основную массу производится в количестве от 10 до 45% от общего веса. При этом в процессе производства было установлено, что если добавки CaSO_4 , CaF_2 , MgO и CaO вводятся в количестве 10% от общей массы, то свойства формируемых изделий практически не изменяются. Если добавки CaF_2 , MgO и CaO, CaSO_4 составляют 20 — 45% от общей массы смеси, то у готовых изделий начинают снижаться физико-механические показатели и одновременно готовые изделия начинают белиться при контакте. Окраска декоративной плитки и художественных изделий снимает этот недостаток. Покрытие плиткой изделий, поверхностей, наклейку художественных изделий можно производить различными видами клеев ор-

ганической и неорганической природы. Таким образом можно полностью использовать отходы первого вида - смесь CaSO_4 , CaF_2 , MgO и CaO [17].

Брак и стеклобой следует использовать на переплавку. Обычно стеклобой идет на переплавку в количестве от 40 до 100% от первичного сырья. Возможно применение стеклобоя в качестве наполнителя в дорожном строительстве. Для этого он предварительно тщательно дробится, а уже потом идет на приготовление массы для дорожного покрытия. Стеклобой может использоваться также для получения строительной керамики, панелей и т.п [17].

Практическую возможность использования измельченных отходов стекловолокна показал Полоцкий завод стекловолокна, который начал производство кирпича для строительных целей с добавкой таких отходов. Здесь в основную массу для приготовления кирпича вводятся отходы стеклянного волокна (в процентах от основной массы) SiO_2 – 53; Al_2O_3 – 15; Fe_2O_3 – 0,4; CaO – 17; MgO – 4; $\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$ – 0,5; B_2O_3 – 10,3. Получаемые кирпичи имеют более высокие физико-механические показатели и поэтому пользуются наибольшим спросом у покупателей. Для приготовления сырой массы кирпича можно использовать 2-х лопастный шнековый смеситель типа Вернер-Пфлейдерера периодического действия [17].

Третий вид сырья, осадок из отстойников, соли Na, Ca, Si. Для переработки этого осадка нужно перевести водорастворимые соли Na в раствор, а затем использовать этот раствор в зависимости от его химической природы. Соли кальция и кремния использовать по назначению также в зависимости от их химической природы.

В производстве кварцевого стекла образуются также ТПО особого вида, а именно GeCl_4 , SiCl_4 и др. Из них особое внимание заслуживает четыреххлористый германий GeCl_4 , так как германий принадлежит к рассеянным элементам и является широко используемым полупроводником. Содержание германия в земной коре составляет 7 — 4% (весовой процент). Для разделения смеси GeCl_4 ; SiCl_4 ; POCl_3 данные компоненты следует подвергнуть разгонке при обычных условиях. При этом следует собрать все компоненты отдельно. SiCl_4 кипит и отгоняется при + 57 °С; GeCl_4 кипит при + 86 °С; в остатке в кубе останется POCl_3 , который кипит при + 107 °С [17].

Четыреххлористый германий GeCl_4 при обычных условиях (4) жидкость, которую можно подвергнуть гидролизу в водной среде. Последнее свойство германия можно использовать для получения элементарного германия.

Германат натрия может быть использован как сильный восстановитель.

Для получения германия, как дорогого товарного продукта высокой степени чистоты его подвергают зонной плавке.

Отходы вспомогательных материалов, а именно древесные отходы можно и нужно использовать после дробления для получения древесно-цементной массы (ДЦМ), из которой можно формовать древесно-цементные плиты и употреблять их в строительстве.

Для получения ДЦМ раздробленная древесная масса смешивается со связующими веществами. Смешение производится в 2-х лопастном смесителе Вернера-Пфлейдерера. В качестве связующего компонента можно использовать

магнезиальный цемент, в который можно добавить асбест для придания огнестойкости или другие компоненты например мелкораздробленный и просеянный шлак в качестве наполнителя. Смесь древесной ваты (продукт, вырабатываемый из хвои), костры крупных волокнистых растений с магнезиальным цементом дает материал фибролит. Однако, живую хвою использовать для строительной промышленности конечно варварство. На наш взгляд для этого подходит только мертвая хвоя [17].

Кроме того, раздробленная древесная масса из ТПО может идти на получение древесностружечных плит (ДСП). Получение ДСП производится горячим прессованием древесной стружки со связующим веществом, в качестве которого может выступать мочевино-формальдегидная смола. ДСП могут быть использованы для многих целей [17].

Получение ДСП производится плоским прессованием или экструзией, т.е. выдавливанием композиции (древесная масса + смола) из специального экструдера (выдавливанием массы через экструзионную головку (фильеру). Кроме того можно на основе отходов древесины получать древесно-слоистые пластики. Этот материал получается горячим прессованием из древесного шпона, пропитанного синтетическими термореактивными смолами (например, фенолоформальдегидной смолой) [17].

Далее, из отходов древесины можно изготавливать древесноволокнистые плиты (ДВП). Для этого древесину измельчают до состояния тонкого волокна. Существуют два способа получения ДВП:

1. Мокрый способ без добавки связующего вещества.
2. Сухой способ с добавкой связующего вещества.

В качестве связующего используется (4 — 8 % от массы) синтетическая смола. С целью повышения механической прочности и придания стойкости против влаги, огня, действия микроорганизмов в состав плит ДВП вводят синтетические и искусственные смолы, антисептики т.п. После перемешивания из массы отливаются плиты, которые затем высушиваются [17].

Если организация или предприятие не имеют возможности получать из отходов такие изделия, то такие отходы древесины после дробления можно перерабатывать в биомассу способом экологической биотехнологии, которая описывается подробно в следующих главах.

Производство керамических изделий исходя из специфики производства имеет также ряд ТПО, которые после дробления и исходя из конкретных условий нужно использовать в качестве наполнителя. Так для приготовления дорожного покрытия после смешения со связующим в 2-х лопастном смесителе такую массу, содержащую дробленый керамический материал можно использовать по прямому назначению. ТПО, представляющие собой куски и брак из обожженной глины - хороший наполнитель для приготовления строительных блоков с использованием также различных типов связующих [17].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- 1 Федеральный закон от 24.06.1998 № 89-ФЗ (ред. от 30.12.2008) «Об отходах производства и потребления» (принят ГД ФС РФ 22.05.1998) (с изм. и доп., вступающими в силу с 01.01.2010)
- 2 **ГОСТ 30773-2001** Ресурсосбережение. Обращение с отходами. Этапы технологического цикла
- 3 http://www.gks.ru/free_doc/new_site/oxrana/tabl/oxr_otxod2.htm
- 4 Обращение с опасными отходами : учеб. пособие / В.М. Гарин [и др.]; под ред. В.М. Гарина и Г.Н. Соколовой. – М.: ТК Велби, Проспект, 2005. —224 с.
- 5 Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2004 году» подготовлен Министерством природных ресурсов Российской Федерации совместно с заинтересованными министерствами, федеральными службами, федеральными агентствами, другими организациями и учреждениями. <http://www.ecoindustry.ru/gosdoklad/view/79.html>
- 6 Приказ МПР РФ от 15.06.2001 № 511 «Об утверждении Критериев отнесения опасных отходов к классу опасности для окружающей природной среды»
- 7 Инструкция по проектированию, эксплуатации и рекультивации полигонов для твердых бытовых отходов <http://www.waste.ru/modules/documents/item.php?itemid=118>
- 8 **СНиП 2.01.28-85** Полигоны по обезвреживанию и захоронению токсичных промышленных отходов. Основные положения по проектированию <http://base1.gostedu.ru/2/2960/>
- 9 Пособие по проектированию полигонов по обезвреживанию и захоронению токсичных промышленных отходов <http://www.gosthelp.ru/text/PosobieKSNiP2012885Posobi.html>
- 10 **Новиков, Г.В.** Санитарная охрана окружающей среды современного города / Новиков Г. В., Дударев А. Я. — Л.: Медицина, 1978. — 216 с.
- 11 **Бернардинер, М.Н.** Огневая переработка и обезвреживание промышленных отходов / М.Н. Бернардинер, Шурыгин А.П. – М. : Химия, 1990. – 304с.
- 12 **Гарин, В.М.** Утилизация твердых отходами : учеб. пособие / В.М. Гарин, А.Г. Хвостиков; РГУПС. Ростов н/Д, 2000. — 80 с.
- 13 **Родионов, А.И.** Оборудование и сооружения, основы проектирования химико-технологических процессов защиты биосферы от промышленных выбросов : учебное пособие для вузов / А.И. Родионов, Ю.П. Кузнецов, В.В. Зенков, Г.С. Соловьев. — М. : Химия, 1985. — 352 с., ил.
- 14 **Систер, В.Г.** Современные технологии обезвреживания и утилизации твердых бытовых отходов / В.Г. Систер, А.Н. Мирный. – М.: Академия коммунального хозяйства им. К.Д. Панфилова, 2003. — 304 с.
- 15 **Кисиль, Е.К.** Оценка воздействия предприятий по переработке полимерных материалов на окружающую среду : учеб. пособие / Е.К. Кисиль, Г.И. Рассохин, А.Г. Хвостиков ; Рост. гос. ун-т путей сообщения.— Ростов н/Д, 2009. — 109 с.

16 **Кисиль, Е.К.** Основы экологии и техники безопасности при переработке пластмасс : учеб. пособие / Е.К. Кисиль. – Ростов н/Д, РИАТМ, 1999. — 47 с.

17 Твердые промышленные и бытовые отходы, их свойства и переработка / А.А. Дрейер, А.Н. Сачков, К.С. Никольский, [и др.] — М. 1997. – 245 с.

18 **Приваленко, В.В.** Эколого-геохимический мониторинг на полигонах ТОПП г. Ростова-на-Дону / В.В. Приваленко, И.Н. Кузнецов, С.Г. Демченко — Ростов-на-Дону: ЮНЦ РАН, 2009. - 297 с.

Степень опасности компонентов отхода для различных природных сред

№ п/ п	Первичные показатели опасности компонента от- хода	Степень опасности компонента отхода для ОС по каждому компоненту отхода			
		1	2	3	4
1.	ПДК _п (ОДК), мг/кг	< 1	1-10	10,1-100	> 100
2.	Класс опасности в почве	1	2	3	не установ.
3.	ПДК _в (ОДУ, ОБУВ), мг/л	< 0,01	0,01-0,1	0,11-1	> 1
4.	Класс опасности в воде хо- зяйственно-питьевого ис- пользования	1	2	3	4
5.	ПДК _{р.х.} (ОБУВ), мг/л	< 0,001	0,001-0,01	0,011- 0,1	> 0,1
6.	Класс опасности в воде ры- бохозяйственного использо- вания	1	2	3	4
7.	ПДК _{с.с.} (ПДК _{м.р.} , ОБУВ), мг/м ³	< 0,01	0,01-0,1	0,11-1	> 1
8.	Класс опасности в атмо- сферном воздухе	1	2	3	4
9.	ПДК _{пп} (МДУ, МДС), мг/кг	< 0,01	0,01-1	1,1-10	> 10
10.	$\lg(S, \text{мг/л} / \text{ПДК}_v, \text{мг.л})^3$	> 5	5-2	1.9-1	< 1
11.	$\lg(C_{\text{нас}}, \text{мг/м}^3 / \text{ПДК}_{\text{р.з}})$	> 5	5-2	1.9-1	< 1
12.	$\lg(C_{\text{нас}}, \text{мг/м}^3 / \text{ПДК}_{\text{с.с.}} \text{ или } \text{ПДК}_{\text{м.р.}})$	> 7	7-3,9	3,8-1,6	< 1,6
13.	$\lg K_{ow}(\text{октанол/вода})$	> 4	4-2	1,9-0	< 0
14.	LD ₅₀ , мг/кг	< 15	15-150	151-5000	> 5000
15.	LC ₅₀ , мг/м ³	< 500	500-5000	5001-50000	> 50000
16.	LC ₅₀ ^{водн} , мг/л/96ч	< 1	1-5	5,1-100	> 100
17.	БД= БПК ₅ / ХПК 100%	< 0,1	0,01-1,0	1,0-10	> 10
18.	Персистентность (транс- формация в окружающей природной среде)	Образование более токсич- ных продуктов, в т.ч. обла- дающих отда- ленными эф- фектами или новыми свой- ствами	Образование продуктов с более выра- женным влиянием других кри- териев опас- ности	Образование продуктов, токсичность которых близка к ток- сичности ис- ходного ве- щества	Образование менее ток- сичных про- дуктов
19.	Биоаккумуляция (поведение в пищевой цепочке)	Выраженное накопление во всех звеньях	Накопление в нескольких звеньях	Накопление в одном из звеньев	Нет накопле- ния
	БАЛЛ	1	2	3	4

Количество и состав отходов, принятых на полигон ТОПП в СЗПЗ в 2006-2008 г.г. (тонн)

Месяц	Бытовые отходы	Органические отходы	Смет	Строительные отходы	Табачная пыль	Промышленные отходы	Всего
2006 год							
январь	23254,78	290,48	1033,64	2535,02	23,98	249,52	27387,4
февраль	21644,85	273,04	1082,86	2982,97	47,90	605,64	26637,2
март	33199,55	1396,52	4888,18	8579,07	55,98	432,50	48551,8
апрель	35149,43	1134,62	7184,58	11365,00	49,60	425,14	55308,3
май	32922,84	874,30	5710,32	7360,09	69,68	444,26	47381,4
июнь	31996,52	600,34	4724,06	8988,80	43,30	480,45	46833,4
июль	33645,98	675,50	4367,08	8233,82	57,80	151,20	47131,3
август	37897,63	767,02	4374,82	8436,74	122,92	3322,42	54921,5
сентябрь	37084,30	998,18	3900,40	7970,31	148,32	13294,7	63396,2
октябрь	35615,72	1439,3	4599,34	6946,14	147,62	217,38	48965,5
ноябрь	33345,39	2655,02	4173,44	6367,18	152,38	192,52	46885,9
декабрь	31614,46	2253,91	4246,48	3980,63	124,47	195,84	42415,7
Итого	387371,5	13358,23	50285,2	83745,77	1043,95	20011,57	555816,2
среднее	32280,95	1113,19	4190,43	6978,814	87,00	1667,63	46318,01
2007 год							
январь	29316,49	869,0	2918,59	3336,73	7,60	138,01	36586,42
февраль	25929,26	639,55	2477,84	2708,88	62,26	194,28	32012,07
март	33641,88	1059,04	5347,40	5968,96	41,1	227,56	46285,94
апрель	35183,66	1285,58	4595,70	4384,38	50,94	273,14	45773,4
май	36589,87	821,34	3874,32	4953,34	48,38	279,46	46566,7
июнь	34479,36	735,28	3748,12	6323,86	64,76	385,963	45737,3
июль	35265,75	859,68	2812,42	7438,75	64,18	361,76	46802,5
август	39851,87	867,86	3791,46	7722,40	32,06	366,36	52632,0
сентябрь	37409,29	817,10	3119,90	6291,09	65,02	474,58	48176,9
октябрь	36125,62	1216,68	2840,74	6922,62	51,70	544,96	47702,3
ноябрь	34221,98	2354,44	3225,48	5267,24	42,86	433,64	45545,6
декабрь	32280,95	1113,19	4190,43	6978,81	87,00	1667,63	46318,0
Итого	410296,0	12638,74	42942,4	68297,06	617,86	5347,344	540139,
среднее	34191,33	1053,23	3578,53	5691,42	51,49	445,61	45011,62
2008 год							
январь	30456,03	567,65	1242,83	4048,0	2,44	161,49	36478,4
февраль	27450,33	682,57	1970,65	3090,46	56,47	282,92	33533,4
март	37217,94	836,11	3239,59	4312,22	42,91	347,29	45996,0
апрель	38776,56	926,83	4712,13	6049,8	347,35	64,06	50876,7
май	37766,60	853,90	4093,31	7202,97	422,23	21,38	50360,3
июнь	38398,98	970,32	4147,88	7286,17	496,60	0	51299,9
июль	41606,39	1100,20	4038,77	9195,27	31,77	584,69	56557,0
август	40878,04	862,86	3043,63	7791,54	20,23	470,43	53066,7
сентябрь	40596,79	1015,84	3051,72	13595,93	41,34	527,71	58829,3
октябрь	41265,33	2083,01	2548,55	10650,71	59,02	613,05	57219,7
среднее	37441,299	989,93	3208,91	7322,31	152,04	307,30	49421,78

Учебное издание

**Гарин Вадим Михайлович
Хвостиков Андрей Георгиевич**

**УТИЛИЗАЦИЯ ТВЕРДЫХ ОТХОДОВ
В НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТАХ И НА ПРОИЗВОДСТВЕ**

Учебное пособие

Редактор Т.М. Чеснокова
Корректор Т.М. Чеснокова

Подписано в печать . Формат 60×84/16.
Бумага газетная. Ризография. Усл. печ. л. .
Уч.-изд. л. . Тираж экз. Изд. № . Заказ №

Ростовский государственный университет путей сообщения.
Ризография РГУПС.

Адрес университета: 344034, г. Ростов н/Д, пл. Ростовского Стрелкового
Полка Народного Ополчения, 2.