

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Сибирский государственный университет геосистем и технологий»
(СГУГиТ)

А. А. Чернов, В. И. Татаренко

ПЕРЕРАБОТКА ОТХОДОВ ПРОИЗВОДСТВА И ПОТРЕБЛЕНИЯ

Монография

Новосибирск
СГУГиТ
2026

УДК 628.4.03

Ч493

Рецензенты: доктор физико-математических наук, заведующий кафедрой безопасности труда НГТУ, профессор *С. М. Коробейников*

доктор технических наук, профессор кафедры безопасности жизнедеятельности СГУПС *В. И. Медведев*

Чернов, А. А.

Ч493 Переработка отходов производства и потребления : монография / А. А. Чернов, В. И. Татаренко – Новосибирск : СГУГиТ, 2026. – 184 с. – Текст : непосредственный.

ISBN 978-5-907998-59-9

Монография подготовлена кандидатом физико-математических наук, доцентом кафедры техносферной безопасности СГУГиТ А. А. Черновым и доктором экономических наук, профессором, заведующим кафедрой техносферной безопасности В. И. Татаренко.

В издании приведены основные нормативные требования и классификация физико-химических методов переработки отходов. Рассмотрены вопросы целей управления и работы с отходами для минимизации их вредного воздействия на окружающую среду. Отдельно рассмотрены термические и нетермические методы утилизации медицинских, нефтесодержащих и органических отходов.

Данная монография может быть использована для обучающихся по направлению 20.03.01 Техносферная безопасность (уровень магистратуры), профиль подготовки: «Управление технологическими процессами в сфере управления и работы с отходами на объекте экономики».

Рекомендовано к изданию кафедрой техносферной безопасности, Учёным советом Института кадастра и природопользования СГУГиТ.

Печатается по решению редакционно-издательского совета СГУГиТ

УДК 628.4.03

ISBN 978-5-907998-59-9

© СГУГиТ, 2026

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....	5
1. Нормативные документы переработки отходов.....	7
1.1. Нормативные документы общего характера.....	8
1.2. Основные понятия и определения.....	10
1.3. Нормативные документы НДТ и ИТС.....	14
1.4. Источники образования отходов.....	17
1.5. Объекты экономики потребители вторичного сырья.....	20
2. Цели управления и работы с отходами.....	22
2.1. Определение метода переработки отходов.....	28
2.2. Оценка эффективности переработки отходов.....	33
2.3. Способы управления переработкой отходов.....	34
2.4. Негативные воздействия, связанные с авариями.....	35
2.5. Характерные выбросы в воздух от общих видов переработки от ходов.....	36
3. Ресурсосбережение при обращении с отходами.....	38
3.1. Порядок реализации этапов иерархического подхода.....	45
3.2. Показатели ресурсной эффективности.....	49
3.3. Энергетическая утилизация отходов.....	51
3.4. Классификация промышленных отходов по их энергетической эффективности.....	55
4. Методы переработки отходов.....	61
4.1. Классификация методов переработки.....	62
4.2. Обработка твёрдых коммунальных отходов.....	64
4.3. Гиперлокальный способ переработки пищевых отходов.....	73
5. Физические методы.....	75
5.1. Отстойники.....	76
5.2. Гидроциклоны.....	79
5.3. Центрифуги.....	79

5.4. Дробление, измельчение.....	80
5.5. Комбинированные технологии	83
6. Физико-химические методы.....	84
6.1. Не термические физико-химические методы переработки	84
6.2. Термические методы переработки.....	93
6.3. Классификация отходов для термической утилизации.....	106
7. Биологические и химические методы	110
7.1. Загрязнение и очистка воды	111
7.2. Загрязнение и обезвреживание почвы.....	117
7.3. Биохимическая утилизация	121
7.4. Полевое компостирование органических отходов	124
7.5. Полигоны по утилизации ТКО.....	127
7.6. Биотермическое компостирование отходов	136
7.7. Биоразлагаемые упаковки	146
8. Переработка медицинских отходов.....	149
8.1. Классы опасности медицинских отходов	150
8.2. Порядок действия при управлении и работе с отходами медико-санитарной деятельности.....	155
8.3. Дезинфекция отходов медико-санитарной деятельности.....	161
9. Переработка нефтесодержащих отходов.....	166
9.1. Физическая очистка для последующего использования НСО.	169
9.2. Физико-химические методы.....	172
9.3. Биоремедиация нефтесодержащих отходов и грунтов.	174
9.4. Термические способы переработки НСО	176
9.5. Уровни эмиссии в окружающую среду при переработке НСО.....	180
Заключение.....	181
Библиографический список.....	182

ВВЕДЕНИЕ

Монография «Переработка отходов производства и потребления» является сборником материалов для студентов, обучающихся по направлению 20.03.01 «Техносферная безопасность (уровень магистратуры)», профиль подготовки: «Управление технологическими процессами в сфере управления и работы с отходами на объекте экономики».

Цель пособия заключается в приобретении будущими специалистами в области управления отходами представлений о физико-химических методах переработки отходов для минимизации их вредного воздействия на окружающую среду.

Задачи дисциплины:

- изучение состава и свойств медицинских и отходов потребления и производства;
- освоение этапов снижения негативного воздействия на окружающую среду с применением физико-химических методов переработки отходов;
- ознакомление с наилучшими доступными технологиями переработки отходов;
- формирование у обучающихся умения участвовать в проектных работах в составе коллектива в области создания средств обращения и переработки отходов.

Оценка уровня освоения дисциплины. Студенты в ходе изучения дисциплины должны:

1. Четко представлять:

- о методах переработки отходов, их классификации и условий применения.

2. Знать:

- физико – химическую природу методов переработки отходов;

– механизмы химических превращений при термическом, биологическом и химическом методе переработке отходов;

– условия применения тех или иных методов;

3. Уметь:

– проводить анализ групп отходов;

– подбирать наиболее доступную технологию

4. Иметь навыки:

– проектирования системы управления и работы с отходами,

– применения современных технологий утилизации отходов производства и потребления.

1. НОРМАТИВНЫЕ ДОКУМЕНТЫ ПЕРЕРАБОТКИ ОТХОДОВ

В современной политике Российской Федерации эффективное сохранение ресурсов, обеспечение экологической безопасности, разумное использование природных ресурсов и защита окружающей среды занимают центральное место среди стратегических задач на пути к устойчивому развитию страны. Процесс осуществления государственных задач в управлении отходами производства и потребления базируется на основополагающих стратегических документах отрасли, решениях правительства и законах федерального уровня. Базовые регулирующие документы:

1. Федеральный закон "Об отходах производства и потребления" [1];
2. Федеральный закон "Об охране окружающей среды" [2]
3. Федеральный проект «Экономика замкнутого цикла» [3]

Порядок приоритетов в рамках концепции *принципа устойчивого развития* зафиксирован в ГОСТ Р 56828.31-2017 «Наилучшие доступные технологии. Ресурсосбережение. Иерархический порядок управления и работы с отходами» [4].

Затраты российских предприятий на охрану окружающей среды в 2023 году составили порядка 1,3 трлн. рублей. Специалисты по работе с отходами управляют следующими активами:

- на обращение с отходами российский бизнес потратил 440,3 млрд. рублей
- сбор и очистка сточных вод - 434,8 млрд рублей (или 33,4%)
- охрана воздуха и предотвращение изменения климата - 271,5 млрд. рублей (или 20,9%).
- на защиту и реабилитацию земель - 93,3 млрд. рублей (или 7,2%).
- объем промышленного мусора составляет 9,28 млрд. тонн.
- масса захороненных отходов 1,6 млрд. тонн.

1.1. Нормативные документы общего характера.

Регулирование процессов, связанных с обращением с отходами в Российской Федерации, подкреплено обширным пакетом нормативно-правовых документов федерального уровня, который охватывает свыше 200 различных нормативных актов, в числе которых находятся более 70 законодательных актов, постановлений и распоряжений Правительства РФ. Эти документы составляют юридический каркас для регламентации деятельности по обращению с отходами на территории страны. Комплементарно федеральному уровню, обращение с отходами также находится под регулированием свыше 180 нормативных актов, изданных федеральными органами исполнительной власти. Эти акты уточняют и детализируют процедуры и ответственность, которыми должны руководствоваться юридические и физические лица при работе с отходами. На каждом уровне — федеральном, субъектов федерации, районном и муниципальном — имеются свои нормативные акты, которые необходимо соблюдать организациям, расположенным в соответствующих административных единицах. Это позволяет формировать целостную политику управления и работы с отходами, что предполагает исчерпывающий контроль за качеством и безопасностью экологических процессов на всех уровнях.

Также следует отметить, что Российская Федерация является участницей ряда международных конвенций и соглашений, которые ставят стандарты и конкретные требования, касающиеся обращения с опасными отходами и регулирования выбросов в атмосферу. Соблюдение этих международных договорённостей позволяет синхронизировать внутренние правовые нормы с глобальными экологическими инициативами, чтобы эффективно реагировать на глобальные вызовы, связанные с утилизацией и рециклингом отходов.

Местное самоуправление, предприятия, учреждения и организации, а также отдельные граждане, несут ответственность за осуществление мер, направленных на обезвреживание, рециклирование, утилизацию, складирование либо захоронение производственных и потребительских отходов ([2], статья 54). При этом они обязаны строго придерживаться установленных экологических, санитарно-гигиенических и противоэпидемиче-

ских стандартов. Особо отмечается запрет на сброс отходов и стоков в водные объекты, используемые общественностью, и подземные водоносные слои, поскольку они могут использоваться в будущем как источники питьевого водоснабжения.

Ключевые принципы государственной политики в сфере управления отходами определены в [1]: защита здоровья населения, защита окружающей среды, интеграция современных научно-технических достижений для перехода к технологиям с низким уровнем отходов, эффективная переработка отходов потребления и т.д. Закон "Об отходах производства и потребления" постоянно меняется. За последние 20 лет закон получил следующие изменения:

- упрощены понятия сбор и накопление для расширения возможности приёма отходов от физических лиц;
- добавлен вид деятельности раздельное накопление;
- новый порядок утверждения территориальных схем, в том числе общественные слушания;
- изменение правил обеспечения утилизации отходов от использования товаров;
- изменения в порядке регистрации операторов (их может быть несколько, срок не более 10 лет);
- в лицензии могут включаться группы и подгруппы;
- и др.

К *переработке отходов* относят процессы утилизации отходов или их размещения, включая процессы предварительной обработки [Directive 2008/98/EC, ГОСТ Р 54098-2010]. В нормативных документах РФ, в отличие от англоязычных документов, понятие или даже слово переработка встречается всего три раза:

- В законе «Об отходах производства и потребления», Глава I , «Статья 3. Основные принципы и приоритетные направления государственной политики в области управления и работы с отходами является *комплексная переработка* материально-сырьевых ресурсов в целях уменьшения количества отходов» [1];

– В нормативном документе ГОСТ 30772-2001 «Ресурсосбережение. Обращение с отходами. Термины и определения». «Статья 5. 5.33 **Переработка отходов**: деятельность, связанная с выполнением технологических процессов по обращению с отходами для обеспечения повторного использования в народном хозяйстве полученных сырья, энергии, изделий и материалов» [5].

– ГОСТ Р 54533-2011 (ИСО 15270:2008) «Ресурсосбережение. Обращение с отходами. Руководящие принципы и методы утилизации полимерных отходов». «**Переработка полимерных отходов** в исходный продукт (рециклинг в исходный продукт): Химическое превращение в мономер или производство новых сырьевых материалов посредством изменения химической структуры полимерных отходов с помощью крекинга, газификации, деполимеризации, исключая энергетическую ликвидацию или сжигание» [6].

1.2. Основные понятия и определения

Для деятельности в сфере управления отходами в нормативных документах разработаны специальные понятия и определения [5].

Отходы производства и потребления - вещества или предметы, которые образованы в процессе производства, выполнения работ, оказания услуг или в процессе потребления, которые удаляются, предназначены для удаления или подлежат удалению в соответствии с ФЗ «Об отходах производства и потребления» [5].

Вид отходов - совокупность отходов, которые имеют общие признаки в соответствии с системой классификации отходов [5];

Твёрдые коммунальные отходы (ТКО) - отходы, образующиеся в жилых помещениях в процессе потребления физическими лицами, а также товары, утратившие свои потребительские свойства в процессе их использования физическими лицами в жилых помещениях в целях удовлетворения личных и бытовых нужд. К твёрдым коммунальным отходам также относятся отходы, образующиеся в процессе деятельности юридических лиц, индивидуальных предпринимателей и подобные по составу отходам,

образующимся в жилых помещениях в процессе потребления физическими лицами [5];

Паспорт отходов - документ, удостоверяющий принадлежность к отходам соответствующего вида и класса опасности [5];

Обращение с отходами - деятельность по сбору, накоплению, транспортированию, обработке, утилизации, обезвреживанию, размещению отходов.

Размещение отходов - хранение и захоронение отходов [5];

Хранение отходов - складирование отходов в специализированных объектах сроком более чем одиннадцать месяцев в целях утилизации, обезвреживания, захоронения [5];

Объекты размещения отходов - специально оборудованные сооружения, предназначенные для размещения отходов (полигон, шламохранилище, в том числе шламовый амбар, хвостохранилище, отвал горных пород и другое) и включающие в себя объекты хранения отходов и объекты захоронения отходов [5];

Объекты захоронения отходов - предоставленные в пользование в установленном порядке участки недр, подземные сооружения для захоронения отходов I-V классов опасности в соответствии с законодательством Российской Федерации о недрах [5];

Объекты хранения отходов - специально оборудованные сооружения, которые обустроены в соответствии с требованиями законодательства в области охраны окружающей среды и законодательства в области обеспечения санитарно-эпидемиологического благополучия населения и предназначены для долгосрочного складирования отходов в целях их последующих утилизации, обезвреживания, захоронения [5];

Объекты обезвреживания отходов - специально оборудованные сооружения, которые обустроены в соответствии с требованиями законодательства в области охраны окружающей среды и законодательства в области обеспечения санитарно-эпидемиологического благополучия населения и предназначены для обезвреживания отходов [5];

Обработка отходов - предварительная подготовка отходов к дальнейшей утилизации, включая их сортировку, разборку, очистку [5].

Обезвреживание отходов - уменьшение массы отходов, изменение их состава, физических и химических свойств в целях снижения негативного воздействия отходов на здоровье человека и окружающую среду, включая сжигание, за исключением [5]:

– сжигания, связанного с использованием твёрдых коммунальных отходов в качестве возобновляемого источника энергии (вторичных энергетических ресурсов)

– обеззараживание на специализированных установках в целях снижения негативного воздействия отходов на здоровье человека и окружающую среду.

В законе «Об отходах производства и потребления» несколько другое определение [1]:

Обезвреживание отходов - уменьшение массы отходов, изменение их состава, физических и химических свойств (включая сжигание, за исключением сжигания, связанного с использованием твердых коммунальных отходов в качестве возобновляемого источника энергии (вторичных энергетических ресурсов), и (или) обеззараживание на специализированных установках) в целях снижения негативного воздействия отходов на здоровье человека и окружающую среду [1];

Захоронение отходов - изоляция отходов, не подлежащих дальнейшей утилизации, в специальных хранилищах в целях предотвращения попадания вредных веществ в окружающую среду [5];

Утилизация отходов - использование отходов для производства товаров (продукции), выполнения работ, оказания услуг, включая повторное применение отходов, в том числе [5]:

– повторное применение отходов по прямому назначению (*рециклинг*) [5],

– их возврат в производственный цикл после соответствующей подготовки (*регенерация*) [5],

– извлечение полезных компонентов для их повторного применения (*рекуперация*) [5],

– использование твёрдых коммунальных отходов в качестве возобновляемого источника энергии (*вторичных энергетических ресурсов*) [5]

– после извлечения из них полезных компонентов на объектах обработки, соответствующих требованиям, предусмотренным пунктом 3 статьи 10 ФЗ-89 (*энергетическая утилизация*) [5];

В процессе утилизации может происходить преобразование отходов в новые ценные ресурсы. Формируются вторичные материальные ресурсы, которые находят свое применение в производстве различных видов продукции. Кроме того, в ходе утилизации отходов возможно получение вторичных энергетических ресурсов или вторичных биогазовых ресурсов, которые могут быть использованы как источники энергии.

Производственный объект по обработке твёрдых коммунальных отходов, позволяющий выделить из поступивших отходов вторичные ресурсы, а также отходы, не подлежащие дальнейшей утилизации называют *мусоросортировочным комплексом* [5].

Используемые и потенциальные источники удовлетворения потребностей общества называются *ресурсами*. Различают первичные ресурсы, образуемые и накапливаемые в природных условиях, и вторичные ресурсы, образуемые в антропогенных условиях хозяйственной деятельности.

Отходы производства и потребления, которые обладают возможностью повторного использования называют *вторичными материальными ресурсами*. Например, металлический лом является вторичным металлом. Из вторичных материальных после подготовки к использованию получают вторичное сырьё. К вторичному сырью при идентификации не допускается применять термины "утиль" или "утильсырьё".

В нормативном документе [1] применяют термин полезный компонент отходов согласно утверждённого списка категорий отходов, содержащих ценные компоненты. В этот перечень включены отходы, которые не подлежат захоронению в силу наличия в них полезных для повторного использования материалов. Перечень определяет виды отходов, для которых первоочередные действия - это либо переработка, либо иное использование. В списке 180 видов полезных компонентов:

1. Код вида отходов производства и потребления 4 61 010 01 20 5. Незагрязненные черные металлы [1].

2. Скрап черных металлов незагрязнённый. 4 61 010 02 20 5

.....

- 5. Скрап чугунный незагрязнённый. 4 61 100 03 29 5
- 6. Лом и отходы чугунные несортированные. 4 61 100 99 20 5
- 9. Скрап стальной незагрязнённый 4 61 200 03 29

.....

180. Детекторы валют, утратившие потребительские свойства (кроме ультрафиолетовых). 4 82 895

1.3. Нормативные документы НДТ и ИТС

В контексте экологической политики Европейского Союза с середины 1990-х годов произошёл переход от концепции "наилучших существующих технологий" (НСТ) к пониманию "наилучших доступных технологий" (НДТ), что отражает эволюцию в подходах к управлению промышленным воздействием на окружающую среду. Данная терминологическая коррекция акцентирует внимание на доступности и реализуемости технологий в отличие от идеализации потенциальных возможностей.

Под наилучшими доступными технологиями (НДТ) понимаются не просто прогрессивные или инновационные средства и методы деятельности, но и те, которые можно практически применить в данном секторе производства с учётом экономической и технологической целесообразности. Ключевым моментом здесь является рациональное сочетание высокой эффективности и применимости на практике с целью достижения наименьшего негативного воздействия на экосистему. Согласно Директиве 96/61/ЕС "О комплексном предотвращении и контроле загрязнений", принятой в рамках законодательства Европейского Союза, обязательность применения "наилучших доступных технологий" (НДТ) ограничивается объектами, которые относятся к категории крупных отраслевых предприятий с высокой степенью воздействия на окружающую среду. Указание на применение конкретной технологии отсутствует, что обусловлено стремлением директивы представить широкий спектр возможных методов предотвращения или сокращения эмиссий, с тем чтобы организации на основе имеющихся данных могли выбрать наиболее приемлемый для себя вариант. Справочные документы, на которые ссылается Директива 96/61/ЕС, предоставляют интервалы значений эмиссии или выбросов, ко-

торые достижимы при использовании разнообразных НДТ, доступных на рынке. Такой подход стимулирует комплексное и многопараметрическое рассмотрение вопроса минимизации негативного влияния промышленности на экологическую систему.

В США все полезные технологии публикуются на сайте U.S. Environmental Protection Agency (<https://www.epa.gov/recycle>). Это агенство также самостоятельно проводит исследование в области влияния токсичных веществ на здоровье человека.

Применение НДТ осуществляется без привязки к местным экологическим возможностям, и, таким образом, не зависит от уровня восприимчивости или устойчивости конкретной территории к антропогенным нагрузкам. Это способствует решению экологических проблем на уровне национальной экономики, стимулируя все предприятия к достижению определённого стандарта в области экологии. Такой подход позволяет предприятиям на разных территориях работать в равных условиях по отношению к экологическим обязанностям и затратам, создавая тем самым правовые и экономические стимулы для повышения экологической безопасности и устойчивого развития.

Применение НДТ в сфере утилизации и обезвреживания отходов позволяет:

- снижать объёмы вредных выбросов в атмосферу и другие компоненты биосферы;
- ограничивать потребление природных ресурсов, таких как сырьё, вода и энергетические запасы;
- минимизировать отрицательное воздействие отходов на экологию окружающей природной среды.

В РФ, в рамках реализации ключевых задач национального проекта "Экология" и «Экономика замкнутого цикла» настаивают на переработке отходов с применением НДТ для получения сырья, материалов, продукции и энергии.

Информационно-технические справочники по наилучшим доступным технологиям являются документами по стандартизации и сформированы с учётом норм европейского права. Справочники НДТ в виде информационно-технических справочников (ИТС), как правило, разрабатываются и

представляется на утверждение Бюро наилучших доступных технологий (далее - Бюро НДТ) (www.burondt.ru). В основе используются справочники Европейского союза: European Commission. Industrial Emissions Directive 2010/75/EU. Integrated Pollution Prevention and Control Best Available Techniques (BAT) Reference Document for Waste Treatment. 2018); European Commission. Industrial Emissions Directive 2010/75/EU. Integrated Pollution Prevention and Control. Best Available Techniques (BAT) Reference Document for Waste Incineration, 2019).

Физико-химические методы переработки и управления и работы с отходами описаны в справочниках ИТС НДТ. Есть три основных *информационно-технических справочника* (ИТС) технологических операций с отходами общего характера, которые обозначены как наилучшие доступные технологии (НДТ) :

– ИТС 17 – 2021 «Размещение отходов производства и потребления» [12]

– ИТС 15 – 2021 «Утилизация и обезвреживание отходов (кроме термических способов)» [13]

– ИТС 9 – 2020 «Утилизация и обезвреживание отходов термическими способами» [14]

– и т.д

Количество справочников более 50, но не в каждом метод переработки представлен явным образом. Например, в «ИТС 40-2021 Дубление, «Крашение, выделка шкур и кожи» приведены основные факторы экологических проблем кожевенной промышленности. Методы переработки приведены в виде технологии минимизации этих факторов.

Не для каждого вида хозяйственной деятельности можно найти справочники ИТС утверждённых «Бюро НДТ». Можно отметить, что в каждой «продвинутой отрасли» существует свой нормативный документ в виде справочника ИТС НДТ. Такие справочники называются отраслевыми справочниками НДТ. Многие из них готовятся и утверждаются:

– «Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии»

– «Федеральная служба по надзору в сфере природопользования».

– Российский межотраслевой научный совет по ресурсосбережению и переработке отходов;

Существует и другой тип нормативных документов - серия «Ресурсосбережение». Эти документы тоже можно считать информационными документами, но уже нормативного характера.

Так же существуют документы относящиеся к рекомендательным, например:

– ГОСТ Р 113.15.01-2019 Наилучшие доступные технологии. Рекомендации по обработке, утилизации и обезвреживанию органических отходов сельскохозяйственного производства. (утв. приказом Росстандарта от 23.07.2019 N 408-ст. Применяется с 01.12.2019).

1.4. Источники образования отходов

Наибольшее количество отходов образуется при добыче полезных ископаемых. На остальные приходится около 8 процентов. На сельское и лесное хозяйство - 0,9 %, энергетику и коммунальное хозяйство - 0,5 %, пищевую отрасль - 0,4 %, строительство - 0,3%.

Промышленная отрасль, ориентированная на обработку, утилизацию и нейтрализацию отходов, представляет собой комплекс экономически, технически и организационно взаимодействующих хозяйствующих субъектов, связанных с одной или несколькими сферами экономики. Эти субъекты занимаются вовлечением отходов в хозяйственный процесс, созданием и применением инновационных технологий для экономии ресурсов, а также обработкой, утилизацией и устранением отходов. Они также осуществляют внедрение специализированных видов промышленного оборудования и техники, которые обеспечивают экологически безопасное обращение с отходами. Акцент делается на использовании комплекса специального технологического оснащения, включая машины, механизмы и устройства для переработки и нейтрализации отходов, работающих в оптимальном режиме, минимизирующем потребление ресурсов и энергии. Основная цель состоит в сокращении массы отходов и трансформации их состава, а также физических и химических характеристик для достижения максимально возможного снижения экологической опасности.

На уровне федерального и регионального управления пока не решена задача формирования инновационной инфраструктуры с технико-экономическим подходом, которая по своей сути способна свести к минимуму объёмы складирования отходов. Такая система должна выстраиваться с акцентом на ресурсосберегающие технологии и утилизацию отходов с их последующим возвратом в производство или для получения энергии.

В современной мировой практике все более актуальным становится понятие "ресурсный менеджмент". Эта модель предусматривает трансформацию взаимоотношений между производственными предприятиями, генерирующими отходы, и подрядными организациями, занятыми в их переработке. Ключевой идеей "ресурсного подхода" является максимизация эффективности использования отходов как альтернативного ресурса. Правильное внедрение данной концепции организации ресурсного менеджмента способствует повышению прибыльности предприятий за счёт переработки отходов и их последующего использования. Это даёт возможность получать энергию по относительно низким ставкам, оптимально задействовать земельные ресурсы и уменьшить затраты на восстановление земель после их завершения эксплуатации. Потенциальный доход от продажи вторичных продуктов оценивается с учётом процентной доли отбора исходного сырья. В рамках технико-экономической проработки концепции, при расчёте ресурсного потенциала учитываются объёмы веса отдельных видов вторичного сырья, извлекаемого из отходов за обозначенный период, и сопутствующие им рыночные цены.

Юридические лица и индивидуальные предприниматели в обязательном порядке подают сведения о количестве образовавшихся в результате своей деятельности отходов в территориальные органы Росприроднадзора в субъектах РФ в срок до 1 февраля года, следующего за отчётным. Для этого заполняется форма 2-ТП (<https://rpn.gov.ru/open-service/analytic-data/statistic-reports/production-consumption-waste/>).

Полученная официальная статистическая информация используется для расчёта показателей федеральных проектов и расчёта экологических сборов.

Основными источниками отходов являются объекты экономики, связанные с добычей и переработкой нефти и газа. Предприятия энергетики,

включая атомную промышленность, строительные, сельскохозяйственные, химические производственные предприятия и многие другие, также вносят немалый вклад в образование отходов.

Для этих предприятий существует наиболее жёсткое отслеживание выполнения нормативных требований от регулирующих органов власти. Большинство стратегий в области промышленных отходов у этих компаний сосредоточены на трёх приоритетах:

- соответствовать требованиям,
- оставаться в рамках бюджета
- не нарушать основную деятельность.

Несмотря на разумность, эти цели часто скрывают более серьёзные проблемы с экономической эффективностью. Управление отходами рассматривается ими как необходимая статья расходов и ещё один центр затрат, который необходимо поддерживать в соответствии с требованиями и в рамках бюджета компании. Однако, в промышленных отходах скрыты неиспользованные материальные ценности, которые превращают отходы в источник экономии средств, операционной гибкости и измеримой ценности. В качестве ценных материалов выступают металлы, пластмассы, химикаты и даже источники энергии. Без систем для восстановления или монетизации компании упускают вторичную выручку и экономию средств от уменьшения объёма вывоза мусора на свалку. Это является следствием использования устаревших систем отслеживания. Эта неэффективность отражается на закупках, производстве и логистике, увеличивая накладные расходы.

Современная стратегия в области промышленных отходов заключается в использовании дополнительных четырёх подходов:

- аналитика на основе цифровых данных об отходах
- циркулярное мышление экономики замкнутого цикла
- интегрирование показателей отходов в отчёты об устойчивом развитии, чтобы повысить прозрачность и продемонстрировать прогресс
- изменение дизайна упаковки, реинжиниринг исходных материалов или пересмотр договоров с целью сокращения отходов.

Международный опыт показывает, что развитие партнёрских отношений с ключевыми поставщиками и переработчиками на рынке вторич-

ных ресурсов сокращают затраты на управление отходами на 55% и повышают показатели ESG стандарта.

1.5. Объекты экономики потребители вторичного сырья

Средняя алюминиевая банка для напитков в США примерно на 71% состоит из переработанного материала, но все же 29% состоит из первичного или нового алюминия. Поэтому при поиске потребителя металлических отходов нет необходимости ориентироваться на полное замещение вторичным сырьём. В то же время, пластиковая плёнка успешно перерабатывается до уровня синтетического масла или пищевых смол, т.е. до состояния первичного сырья (Рисунки 1 и 2). Однако, даже в США химическая переработка является «финансово рискованным» предложением, в котором используются технологии, которые не были проверены в больших масштабах. Эти технологии также опираются на «ещё не появившиеся цепочки поставок и инфраструктуру, а также на сложную динамику рынка». Большинство из 10 предприятий по переработке химических веществ, работающих в США, все ещё находятся на пилотной или демонстрационной стадии, в то время как многие другие находятся в разработке в течение многих лет, не предпринимая значимых шагов вперёд.



Рис. 1. Тюки с бывшей в употреблении плёнкой на складе завода перед переработкой (завод Nova Chemical)



Рис. 2. Завод по химической переработке Alterra в Акроне, штат Огайо, использует пиролиз для производства новых пластиков.

В некоторых странах рынок вторичных ресурсов называют городской горнодобывающей промышленностью. В Индии, для извлечения критически важных минералов из электронных отходов и разработки устойчивых моделей городской добычи полезных ископаемых используют оценку жизненного цикла (LCA) и машинное обучение (ML). В последнее время большое внимание уделяется развитию инструментов для утилизации электронных отходов типа SimaPro и openLCA.

Наиболее распространённым потребителем вторичного сырья в виде лом черных и цветных металлов, являются предприятия чёрной и цветной металлургии. Степень использования достигает практически 100%.

Химическая и нефтеперерабатывающая промышленность использует очищенные и переработанные нефтешламы, растворители и другие органические и неорганические вещества. Степень использования фактически восстановленных материалов достигает 80%. Остаток сжигается для получения энергии.

Дроблёные строительные отходы и резиновая крошка покрышек все чаще используется в дорожном строительстве.

Производители строительных материалов могли бы использовать

Для сельского хозяйства основным источником вторичных ресурсов являются продукты жизнедеятельности птицеводства и свиноводства. Биохимическое компостирование позволяет получать гумус. При этом в РФ слабо внедрена система утилизации биогаза, который тоже является вторичным энергетическим ресурсом.

2. ЦЕЛИ УПРАВЛЕНИЯ И РАБОТЫ С ОТХОДАМИ

В 2014 году были внесены значимые поправки в законодательство РФ в области обращения с отходами, т.е. управления и работы с отходами: выявления, перемещения, переработки, утилизации и т.д.. Одним из важнейших дополнений стало включение в закон чётко определённой и всемирно признанной иерархии приоритетов при управлении и работе с отходами. Эта иерархия отражает стратегическое направление государственной политики РФ и устанавливает следующий порядок действий в отношении управления и работы с отходами [4]:

- максимальное использование исходных сырья и материалов [4];
- предотвращение образования отходов [4];
- сокращение образования отходов и снижение класса опасности отходов в источниках их образования [4];
- обработка отходов [4];
- утилизация отходов [4];
- обезвреживание отходов [4]

Первостепенная задача — минимизировать генерацию отходов на стадии *проектирования продукции и производственных процессов*. Если отходы уже образовались, то следует стремиться их максимально переработать и использовать. В случаях, когда переработка невозможна, необходимо обезвредить отходы

Сертифицированные методы обработки отходов могут включать термическое уничтожение, химическую нейтрализацию, биологическую обработку и другие технологии, способные обеспечить надежное и ответственное обращение с отходами.

Важным аспектом является следование нормативно-правовым и отраслевым стандартам, обеспечивающим требования безопасности и минимизации воздействия на окружающую среду. Эти процедуры часто сопровождаются консультациями с экологами и специалистами в сфере

управления отходами для обеспечения соответствия экологическим стандартам и избегания возможных юридических и финансовых рисков.

Производство потребительских товаров, предоставление медицинских услуг и другие основные отраслевые секторы сталкиваются с проблемой управления и работы с отходами, оказывающимися весьма специфическими: продукты с изъянами и браком, просроченные товары, материалы с истекшим сроком службы, в том числе содержащими высокую опасность. Эти категории требуют особого подхода в плане управления, утилизации и отслеживания и обычно передаются специализированным третьим организациям, которые предоставляют услуги по их безопасной переработке и утилизации. Безопасное управление такими отходами складывается в процессе, который подразумевает строгий контроль, документирование и сертификацию уничтожения изделий или материалов. Документальное подтверждение утилизации посредством выдачи сертификатов об уничтожении важно для защиты репутации компании и поддержания финансовой стабильности, минимизации рисков, связанных с утечкой конфиденциальной информации или некорректным обращением с опасными материалами.

Процесс управления и работы с отходами представляет собой ключевую составляющую экономической и экологической системы. Для контроля за количеством и состоянием отходов, корректной их утилизации или окончательного захоронения были разработаны специальные технологические комплексы (ТК) в виде отдельных установок и даже целых заводов. Ключевой задачей этих ТК является минимизация негативного влияния отходов на окружающую среду, что чаще всего достигается применением наилучших доступных технологий.

ТК по обращению с отходами, в отличие от большинства промышленных секторов, не ведут производство товаров. Вместо этого они выполняют социально-экологическую функцию, обеспечивая утилизацию, переработку и нейтрализацию отходов для общества. Такие объекты обычно занимают место на земельных участках и включают в себя различные конструкции и дополнительные площади для обеспечения комплексной обработки и удаления отходов в соответствии с экологическими нормами. Промышленные предприятия, сталкивающиеся с образованием

отходов, могут использовать несколько стратегий их утилизации. Часть из них строит собственные локальные установки по обращению с отходами для тех видов отходов, которые генерируются непосредственно на производстве. Другие же компании, у которых отсутствует уместный земельный участок или отходов производится недостаточно для окупаемости собственной установки, отправляют отходы на внешние коммерческие объекты, разработанные для качественной и безопасной переработки.

Перегрузочные станции для отходов выполняют важную роль в системе управления твердыми коммунальными отходами, однако они не предназначены для их последующей утилизации или окончательного захоронения. Эти объекты созданы для выполнения ряда специализированных операций, предшествующих дальнейшему обращению с отходами. Основные функции, осуществляемые на перегрузочных станциях, включают:

- прием отходов от транспортных средств;
- погрузку отходов навалом в контейнеры или другие транспортные средства;
- сортировку отходов на фракции в случае необходимости;
- временное хранение отходов в ожидании их транспортировки к месту захоронения или утилизации.

Перегрузочные станции можно классифицировать в соответствии с двумя основными направленностями их работы. Первая категория станций сосредоточена на обработке входящего потока отходов, что подразумевает прием широкого спектра отходов, не подвергшихся дополнительной предварительной обработке. Во втором случае основное внимание уделяется обработке выходящего потока, когда отходы предполагается направить для последующих специализированных операций обращения, таких как регенерация растворителей, термическая обработка или химическая переработка. Такая классификация позволяет оптимизировать процессы сбора, транспортировки и обработки отходов, увеличивая эффективность управления отходами и способствуя более продуманному подходу к минимизации воздействия отходов на окружающую среду. Перегрузочные станции, следовательно, играют важную роль в логистике отходов, обеспечивая промежуточный этап между их первичным сбором и конеч-

ным направлением, будь то переработка, восстановление или условное захоронение.

Развитие промышленных технологий по обращению с коммерческими отходами началось в конце 1960-х. Ключевая роль коммерческих, внеплощадочных объектов заключается в сборе отходов у производителей и последующей транспортировке на объекты для их обработки, переработки или захоронения. Существуют десятки технологий для работы с опасными отходами, в зависимости от их состава и свойств. Установки по утилизации отходов могут быть специализированными, использующими одну конкретную технологию, или могут сочетать несколько технологий, особенно если объект предназначен для обслуживания различных предприятий и видов отходов. Различия между коммерческими внеплощадочными объектами и площадочными специализированными установками обусловлены в первую очередь различными видами обрабатываемых отходов. Внеплощадочные объекты принимают отходы не только от местных производителей, но и могут обслуживать региональные и национальные потребности. Они обычно предназначены для работы с широким ассортиментом отходов различной сложности и в больших объёмах, в то время как площадочные объекты обычно специализируются на определённых типах отходов, образованных в результате экономической деятельности на территории конкретного предприятия или в определённом регионе.

Таким образом, система управления и работы с отходами является многоуровневой и включает различные технологические процессы, каждый из которых важен для обеспечения устойчивой и безопасной экологической среды.

Для контроля и достижения целевых показателей в рамках национального проекта правительства РФ «Экологическое благополучие» разработан федеральный проект «Экономика замкнутого цикла». В рамках этой программы сортировке с помощью ТК подлежит 100% ТКО. Это должно обеспечить уменьшение не менее чем в два раза объёма захораниваемого мусора от первоначального. Не менее 25% оставшегося мусора должно быть направлено во вторичное использование и на энергетическую утилизацию.

Мусоросортировочный завод (МСЗ) по обработке и сортировке отходов относится к комплексной системе обращения с ТКО (Рисунок 3). Поэтому, в нормативных документах он подчеркнуто обозначен как мусоросортировочный комплекс. Их сегодня насчитывается более 260, к 2030 году должно быть порядка 300. Сейчас в таких регионах как Москва, Тюменская область, Ставропольский край и других процент переработки ТКО составил более 98 %.

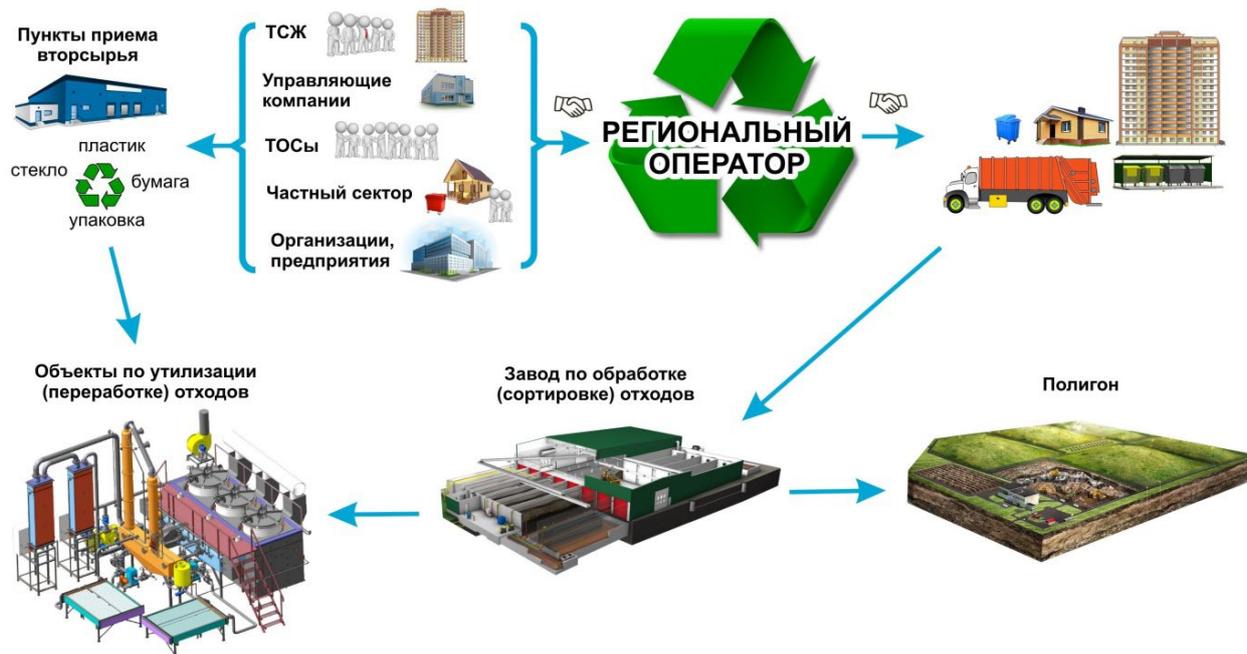


Рис. 3. Комплексная система обращения с твёрдыми коммунальными отходами (ТКО)

В Таблице 3 представлены фактические показатели за 2024 г. В 1 строке «идеальные» целевые показатели, в строке 2 существующие в целом в РФ 2024 году, в 3 строке показатели Алтайского края. Всего в РФ за 2024 год образовалось 47 482 699 тонн ТКО. Индекс использования вторичных ресурсов пока не превышает 11%.

Таблица 3 Целевые (идеальные) и существующие (за 2024 г.) показатели качества обращения с ТКО. (смотреть: <https://rpn.gov.ru/open-service/analytic-data/statistic-reports/production-consumption-waste/>)

№	Направлено на обработку	Направлено на обезвреживание	Направлено на утилизацию	Направлено на захоронение
1	100%	0	100%	0
2	53%	2%	8%	82%
3	0	0	0	100%

Правильное обращение с отходами имеет важное значение для создания устойчивых и пригодных для жизни городов, но это остаётся проблемой для многих развивающихся стран и городов. Эффективное управление отходами стоит дорого от 20 до 50% муниципальных бюджетов. Для работы этой важнейшей муниципальной службы требуются эффективные, устойчивые и социально поддерживаемые интегрированные системы. Это создаёт потребность в опытных операторах, обладающих техническими знаниями для безопасной и эффективной эксплуатации объектов системы. В рамках ФП «Экономика замкнутого цикла» предусмотрено увеличение финансирования образовательных программ подготовки специалистов, которые управляют и работают с отходами.

Примером может служить Сингапур: национальное агентство по окружающей среде (NEA) планирует, разрабатывает и администрирует системы обращения с твердыми и опасными отходами. В основном это функции лицензирования и регулирования, для сбора, обработки и утилизации.

В источнике, где образуются отходы, вторсырьё сортируется и извлекается для переработки. Оставшиеся отходы собираются и отправляются на электростанции для сжигания отходов. Сжигание сокращает отходы до 90 процентов, экономя место на свалке, а тепло восстанавливается для производства пара, который приводит в движение турбогенераторы для выработки электроэнергии, обеспечивая до 3 процентов потребностей острова в электричестве. На острове обращение с отходами регулируется:

- Законом об общественном здравоохранении в окружающей среде,
- Правилами в области общественного здравоохранения в окружающей среде (Сбор общих отходов),

– Правилами в области общественного здравоохранения в окружающей среде (Предприятиями по утилизации общих отходов)

– Правилами в области общественного здравоохранения в окружающей среде (токсичные промышленные отходы).

Пример Сингапура показывает эффективность от внедрения передовых методов обработки и утилизации.

2.1. Определение метода переработки отходов

Управление отходами представляет собой ряд операций и процедур, направленных на классификацию и предварительную подготовку отходов для их дальнейшей переработки. Основываясь на характеристиках отходов и потенциальном воздействии на окружающую среду, обработка может быть выполнена с использованием разных подходов: химический, физический или биологический.

Целевая задача данных методов заключается в разделении или трансформировании опасных веществ и соединений с целью минимизации их вредного воздействия на природу и здоровье людей. Выбирая методику обработки, исполнители руководствуются комплексом факторов, включая свойства отходов, региональные политические регламенты, логистические условия и наличие необходимых технологий в данной местности.

Согласование выбранной методики с особенностями отходов является ключевым фактором управления выбросами и эффективностью управления и работы с отходами. Ввиду сложности отходов, зачастую одной процедуры недостаточно, и тогда применяется совокупность методов. Интегрированный подход подразумевает тщательный отбор и комбинирование различных технологий переработки, установление последовательности их выполнения и мониторинг процессов на всех этапах.

Выбор конкретных процедур сопрягается с составлением документа об оценке воздействия на окружающую среду (ОВОС), который базируется на лабораторном анализе свойств отходов, их реакции на разные виды обработки и нормативных требованиях к конечной утилизации или повторному использованию. Разработка системы управления отходами требует детального рассмотрения всех элементов процесса переработки, и являет-

ся многоэтапным мероприятием, которое необходимо тщательно спланировать и осуществить в соответствии с экологическими стандартами.

После того как характеристики отходов (такие как содержание опасных соединений) были определены и подтверждены, необходимо выбрать метод или подход к переработке данных отходов. Этот выбор основывается на трёх критических принципах:

1. Точное определение физико-химических и других свойств отходов для подбора соответствующей технологии переработки.

2. Наличие технологического и организационного потенциала для обработки выбранными методами, а также удостоверение того, что рассматриваемые отходы совместимы с предлагаемыми процедурами переработки.

3. Обеспечение возможности оперативного контроля за процессом переработки отходов, что включает мониторинг входных материалов, хода реакций и определение чётких экологических и экономических целей процесса.

Для достижения этих целей могут быть применены следующие подходы:

а) Детальное описание процессов на предприятии, включая предложения по предотвращению и минимизации формирования отходов, а также снижению выбросов веществ и тепла в различных условиях эксплуатации (при запуске или остановке оборудования, авариях, утечках и т.д.).

б) Определение типов и состава отходов, подлежащих обработке в каждом технологическом процессе, и выявление всех потенциально опасных загрязнителей.

в) Анализ химизма процесса с пониманием судьбы всех компонентов отходов и продуктов реакций.

г) Выбор эффективных методов утилизации или снижения уровня загрязнения, особенно для тех компонентов, что могут негативно сказываться на экологии и не разлагаются в ходе переработки, переходя из одной среды в другую. Это включает отслеживание веществ, способных к загрязнению, которые могут выделяться в неизменном виде после переработки.

д) Выбор оптимальных способов обработки для каждого вида исследуемых отходов.

е) Убеждение в том, что в процессе не используются компоненты (например, растворители), которые можно эффективно рециркулировать на последующих стадиях переработки через высушивание и очистку.

ж) Создание чёткой методологии для анализа процессов утилизации отходов, включая оценку физико-химических свойств каждого вида отхода и анализ технических условий, требуемых для их переработки.

з) Рассмотрение всех доступных информационных источников относительно предпочтительных методов переработки отходов в соответствии с установленной иерархией управления отходами и спецификой рассматриваемых отходов.

Итак, разработка стратегии переработки отходов подразумевает применение глубокого анализа, объединяющего технические, экологические и организационные параметры для достижения наиболее эффективного и безопасного управления отходами. В рамках обеспечения контроля за соблюдением законодательных и технических норм, регулирующие органы зачастую обязывают производителей отходов предоставлять отчётность, подтверждающую надлежащую переработку отходов.

Такая система отчётности способствует прозрачности процессов, позволяя проследить время и способы переработки отходов. Помимо этого, для исполнения таких задач требуется детальная административная работа, что включает создание и поддержание систем отслеживания процессов. Требуется выявить, какие параметры должны подвергаться мониторингу и в какие сроки это следует осуществлять, что дополнительно облегчает процесс управления как для операторов установок, так и для регулирующих органов.

В задачи административного персонала входит установление чётких процедур отслеживания, включая регистрацию исходных данных о характеристиках отходов, методах их обработки и полученных при этом результатах. Компетентное управление инфраструктурой переработки предполагает регулярную верификацию правильности и эффективности выбранных методик, а также реализацию мероприятий по предотвращению возможных аварий и нарушения процессов переработки.

Соответствие установленным законодательным нормам и чёткое выполнение всех обязательных процедур в области управления и работы с

отходами обеспечивает легитимность действий предприятия, поддерживает экологическую безопасность и способствует повышению экономической эффективности управления отходами на уровне предприятий и в рамках региональных проектов.

Ответственное управление отходами предусматривает развёртывание эффективной системы мониторинга, способной предоставлять актуальные данные и предупреждать о возможных нарушениях экологического законодательства и технических стандартов. Такое внедрение является ключевой компонентой комплексного управления отходами: оно помогает оптимизировать процессы и снижать экологические риски. Любая принятая система мониторинга должна обладать способностью обеспечить точную и всестороннюю информацию о следующих аспектах:

1. Количестве отходов на территории объекта в любой момент времени, выраженном в стандартизированных единицах измерения, например, в эквивалентах 200-литровых бочек.

2. Объёме утилизированных отходов, которые были накоплены на объекте в ожидании переработки, с указанием конкретного маршрута их переработки.

3. Объёме утилизированных отходов, временно размещённых на объекте для последующей транспортировки на другие места.

4. Утилизации отходов в соответствии с их классификацией как опасных субстанций.

5. Точном расположении отходов на территории объекта в соответствии с планом расположения этих отходов.

6. Сопоставлении текущего количества отходов на объекте с максимально разрешённым объёмом их накопления.

7. Сопоставлении продолжительности хранения отходов на объекте с максимально допустимым периодом их хранения.

Существует несколько подходов, которые могут быть применены для улучшения отслеживаемости отходов на предприятиях по переработке отходов:

а) Все отходы, поступающие на предприятие, должны регистрироваться с присвоением уникального идентификационного номера, который

позволяет отслеживать их наличие, время нахождения на предприятии и путь переработки.

б) Систематическое обновление информации о потоке отходов обеспечивает актуальность сведений и позволяет оперативно реагировать на любые изменения.

с) Внедрение внутренней системы мониторинга и контроля запасов каждого типа отходов обеспечивает возможность сопоставления вновь прибывших отходов с уже существующей записью о них.

д) Система отслеживания должна включать всю информацию, собранную в ходе приёма, хранения, обработки и последующей утилизации или удаления с территории.

е) Назначение каждому типу отходов индивидуального идентификатора и сопроводительной документации на протяжении всего процесса обращения с ними.

ф) Наличие обновляемой базы данных или документации для ведения кадастра отходов и системы контроля запасов.

г) Ведение учёта для конкретных методов обработки или путей утилизации, применимых к определённому виду отходов.

h) Ведение достаточно подробных записей обо всех отходах, попадающих в определённые контейнеры или резервуары.

і) Поддержание актуальной информации о запасах жидких отходов в процессе, с использованием индивидуальных идентификаторов для контейнеров (например, отслеживание конкретных экземпляров бочек).

ј) Использование контейнеров надлежащего качества с соответствующей маркировкой поступающих единиц для обеспечения их лучшей идентификации.

Однако отметим, что внедрение систем отслеживания для небольших объёмов отходов может быть более сложным. На небольших предприятиях могут возникать трудности с адаптацией некоторых видов систем отслеживания, особенно тех, что основаны на компьютерных технологиях с использованием самообучаемых программам.

2.2. Оценка эффективности переработки отходов

Повышение эффективности процессов переработки отходов играет важную роль не только в улучшении экологических показателей, но и в снижении затрат на сырье и энергию. Эффективность определяется способностью превращать отходы в полезные продукты и максимизировать их вторичное применение. Для улучшения эффективности переработки отходов могут быть применены следующие подходы:

а) Оценка процесса переработки с точки зрения эффективности удаления или разделения загрязняющих веществ, например:

- Осаждение металлов из растворов для получения чистого фильтрата.
- Определение степени перехода загрязняющих веществ из отходов в выбросы различного рода.

- Использование отходящего тепла в процессах, например, в схемах предварительного подогрева.

б) Применение следующих этапов анализа параметров эффективности:

- Картографирование процесса для идентификации маршрутов движения конкретных веществ.

- Проведение массового баланса с целью выявления потоков материалов и балансировки входов и выходов.

с) Исследование воздействия изменчивости состава отходов на работу установок для управления и работы с отходами.

д) Мониторинг операционной эффективности с использованием измерительных приборов, наблюдений и химического анализа. В том числе предусматривается добавление в систему документирования информации, собираемой как с помощью автоматизированных средств, так и вручную.

е) Разработка процедур для качественного разделения отходов, таким образом, чтобы не ухудшить их потенциал к рециклингу.

Поддержание желаемого уровня эффективности на производственных объектах требует постоянного контроля и мониторинга операций. Улучшение процессов и оборудования для переработки может привести к снижению вредных выбросов и сокращению расходов.

Предприятия по переработке отходов часто сталкиваются с необходимостью обращения с разнообразными и изменяющимися потоками отходов, что требует от них гибкости и способности адаптации. При этом предпочтение отдаётся процессам, способным учесть требования каждого отдельного компонента состава отходов.

Специализация на переработке локально образованных отходов позволяет разрабатывать технологии, наилучшим образом отвечающие конкретным потребностям производителя, что снижает операционные затраты.

Для определения реальной эффективности системы переработки отходов необходимо учитывать возможные вариации в поступающих потоках отходов. Массовый баланс и анализ материальных потоков каждого элемента системы представляет собой сложную задачу с возможными сомнительными результатами из-за этих вариаций.

2.3. Способы управления переработкой отходов

Для повышения экологической информированности и эффективности работы установок по переработке отходов реализуется ряд мероприятий по формированию системы управления отходами. Требуется комплексный подход к организации рабочих процессов и включает в себя следующие компоненты:

а) Оперативное управление процессами переработки, обеспечивающее мониторинг и контроль за каждым этапом технологического цикла, что позволяет своевременно выявлять и устранять возможные отклонения от нормативов и стандартов.

б) Рациональное проектирование и размещение инфраструктуры, создающее условия для оптимизации рабочих процессов и минимизации влияния на окружающую среду. Важно обеспечить адекватное содержание и обслуживание оборудования и объектов инфраструктуры.

с) Система управления стоками направлена на предотвращение негативного воздействия жидких отходов и сточных вод на окружающую среду. Включает в себя очистные сооружения, системы сбора и нейтрализацию стоков.

d) Контроль процессов установки на основе лабораторных анализов, обеспечивающих научно-обоснованный подбор технологий переработки, контроля качества и ведения необходимой технической документации.

e) Персонал установки должен быть квалифицирован и специализирован в соответствующих областях. На уровне управленческого состава персонал должен иметь высшее образование и профильную рабочую специализацию. Оперативные работники и лабораторные ассистенты должны обладать достаточным опытом в своих должностях. Квалификация персонала достигается через обучение и программы непрерывного образования, а также контролируется при сертификации установки.

f) Инфраструктурные элементы, необходимые для бесперебойной работы предприятия, должны быть иметься в полной комплектации. К таким структурам относятся ограждения территории, навигационные знаки, организованные парковочные места и зоны хранения, освещение, весовое оборудование, производственные помещения и т.д.

Порядок управления установками по переработке отходов предполагает целенаправленное содействие культуре безопасности и экологической ответственности. Регулярные обучения, профессиональное развитие сотрудников и инвестиции в инфраструктуру и технологические возможности установок являются ключом к повышению эффективности и снижению воздействия на окружающую среду.

2.4. Негативные воздействия, связанные с авариями

Основные экологические риски, связанные с операциями обработки отходов, возникают при хранении опасных отходов и включают следующие факторы:

1. Химические реакции между разными видами отходов: Непредвиденные химические взаимодействия могут привести к токсичным выделениям, пожарам или взрывам. Это особенно актуально, когда различные виды опасных отходов хранятся в непосредственной близости друг к другу без соответствующих мер отделения и изоляции.

2. Утечки и проливы: Повреждение контейнеров для хранения отходов или систем их перевозки может привести к проникновению вредных

веществ в почву, подземные или поверхностные воды, что представляет угрозу для водных экосистем и, потенциально, источников питьевой воды.

3. Процессы обработки отходов, выходящие из-под контроля: Нехватка контроля за процессами переработки может привести к чрезмерным выбросам загрязняющих веществ в атмосферу или к другим негативным последствиям, таким как отказы оборудования или катастрофические ситуации на производственных установках.

Для снижения экологических рисков предприятиям, занимающимся обработкой отходов, необходимо осуществлять ряд мероприятий:

- Строго соблюдать нормы и технологические процедуры при хранении, транспортировке и переработке отходов.

- Проводить регулярный контроль сосудов и емкостей, предназначенных для хранения опасных отходов, на предмет целостности и наличия повреждений.

- Применять систему сегрегации для разделения несовместимых по химическому составу отходов.

- Разрабатывать и внедрять планы аварийного реагирования, а также проводить регулярные учения для обучения персонала действиям в чрезвычайных ситуациях.

- Обеспечивать наличие адекватных систем очистки.

- Использованием современные средства контрольно-измерительной аппаратуры.

2.5. Характерные выбросы в воздух от общих видов переработки отходов

При обработке и переработке отходов следует уделить особое внимание потенциальному влиянию этих процессов на окружающую среду, особенно в свете возможных выбросов в атмосферу различных веществ и соединений. Анализ последствий таких операций позволит определить широкий спектр загрязнителей, которые следует рассмотреть:

Летучие органические соединения (ЛОС, VOC) представляют значительный экологический риск и могут исходить от различных действий, включая технологические процессы с целью снижения пожароопасности,

а также в результате перемешивания, нагревания и прочих манипуляций с отходами. Хотя их воздействие на единицу отходов может быть незначительным, совокупный эффект от множества источников может быть существенным.

Выбросы кислых веществ, в том числе от растворителей и концентрированных кислот, требуют пристального внимания из-за их агрессивного воздействия на биоценозы и материалы.

Аммиак, присутствующий на некоторых объектах, представляет собой отдельную проблему из-за своей высокой летучести и способности вызывать раздражающие запахи, даже в малых концентрациях.

Неконтролируемые и диффузные выбросы, часто возникающие на участках управления и работы с отходами, заслуживают детального анализа. К их источникам относятся открытые ёмкости, активности связанные с отбором проб и хранением отходов, а также механические и трубопроводные системы. Важно не только учитывать точечные выбросы, но и концентрацию внимания на диффузных источниках, которые могут непреднамеренно способствовать загрязнению воздуха.

Выбросы твёрдых частиц могут происходить на объектах, связанных с хранением или обработкой порошковых отходов, ведущих к образованию взвешенных частиц, что представляет опасность для дыхательных путей живых организмов и может влиять на качество атмосферного воздуха.

Воздействие запахов связано с объективным и субъективным восприятием и может возникать в связи с обращением с веществами, содержащими летучие органические составляющие и другие запахообразующие соединения. Управление запахами является важной составляющей защиты воздушного бассейна от промышленного загрязнения.

Фактически, управление выбросами в процессах обработки и переработки отходов требует тщательного анализа и использования технологий для их контроля и уменьшения.

3. РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ ПРИ ОБРАЩЕНИИ С ОТХОДАМИ

Влияние мировых экологических соглашений на российскую промышленность постоянно возрастает, особенно в контексте себестоимости производства. Один из наиболее известных международных актов — Киотский протокол — является показателем глобальных стремлений к сокращению вредных выбросов и повышению экологической ответственности производителей. Вместе с тем, мир готовится к принятию новых договоров, направленных на снижение негативного воздействия промышленности на окружающую среду.

Развитие национальных стандартов и устранение технических барьеров в международной торговле осуществляются в рамках идеологии новых продуктивных технологий и ресурсосбережения. Ожидается, что к 2060 году объем пластиковых отходов утроится, и при этом лишь незначительная часть будет подвергаться переработке, оставляя подавляющий объем пластика без контроля на свалках. Прошло уже несколько лет с момента, когда 175 стран согласились взять на себя обязательства по переговорам о новом договоре, который регулирует весь жизненный цикл пластика. Однако до сих пор среди делегатов нет единства в вопросах, касающихся управления потреблением пластика и сокращения расходов на его производство, чтобы избежать утечки пластикового мусора, стоимость которой оценивается в 712 миллиардов долларов.

Современные глобальные производители, вроде Nestle и Pepsi, стремятся к так называемой «пластиковой нейтральности», что во многом достигается за счет привлечения третьих сторон для сбора и утилизации отходов. Тем не менее, по-видимому, подобные меры не способны останавливать общий прирост загрязнения окружающей среды. В качестве положительного примера можно привести Уганду, которая ввела полный запрет на использование пластиковых пакетов, что привело к улучшению экологической ситуации в стране. В то время, даже Германия, при всем стремлении к экологическому лидерству, не смогла обеспечить перера-

ботку более 12% одноразовых пластиков при установленной квоте в 36%, предпочитая сжигание данным веществам.

Ранее бóльшую часть пластиковых отходов Евросоюз экспортировал в Китай. Сегодня же ситуация кардинально изменилась, и КНР запретила ввоз твердых отходов, что вынудило европейские страны искать альтернативные пути утилизации, часто в странах Азии и Африки. С другой стороны, страны с крупными отраслями промышленности, эксплуатирующими ископаемое топливо, такие как Саудовская Аравия, Россия и Иран, организовали «группу единомышленников» (на Рисунке 4). Эти страны защищают интересы своих отраслей, опираясь на концепцию, согласно которой проблему пластиковых отходов следует решать через эффективное управление отходами, отходя от идеи сокращения их производства.



Рис. 4. Переговоры о новом договоре, который регулирует весь жизненный цикл пластика.

Специалисту для принятия решений по управлению и работе с отходами производства и потребления необходимо ориентироваться на нормативные документы для внедрения ресурсосберегающих технологий и практик:

– ГОСТ Р 56828.22-2017 «Наилучшие доступные технологии. Ресурсосбережение. Стратегии, принципы и методы экологически ориентированного управления и работы с отходами»

– ГОСТ Р 56828.31-2017 «Наилучшие доступные технологии. Ресурсосбережение. Иерархический порядок управления и работы с отходами».

– ГОСТ Р 53692-2023 «Ресурсосбережение. Обращение с отходами. Этапы технологического цикла отходов» (действ. с 01.01.2024).

Эти документы содержат отдельные нормативные положения Директивы ЕС 2008/98/ЕС* "Об отходах". Декларируется следующее назначение стандартов:

- устранение барьеров в торговле;
- повышение доли производимой продукции на последней стадии ее жизненного цикла.

НДТ, применяемые при обращении с отходами, являются центральным объектом рассматриваемых стандартов. Их основная цель — эффективное использование ресурсов, получаемых из отходов и их минимизация. Реализация таких технологий ведёт к оптимизации промышленного производства, снижению вредных выбросов в окружающую среду и упрощению экологической безопасности.

Концепцию ресурсосбережения, служащую предметом данных стандартов, можно рассматривать как обширную и систематическую практику, ориентированную на сокращение потребления сырья и энергии, а также на повышение эффективности использования имеющихся ресурсов. Это подход, который призван поддерживать экологически устойчивое развитие общества и экономики как в масштабах отдельных предприятий, так и в глобальном контексте.

Иерархический порядок управления и работы с отходами, как фундаментальный аспект этих стандартов, предусматривает последовательность действий по управлению отходами. В вершине иерархии находится предотвращение возникновения отходов, следующий этап — их минимизация, затем максимально возможная переработка и использование вторичных материалов. Удаление отходов без возможности их возврата в экономический цикл стоит на последней ступени иерархии и является наименее предпочтительным вариантом.

В соответствии с положениями в документах ГОСТ Р 56828.22-2017 и ГОСТ Р 56828.31-2017 обращение с отходами следует осуществлять в соответствии с представленным на Рисунке 5 иерархическим порядком управления и работы с отходами (далее - иерархический порядок), причём

максимальный эффект от применения иерархического подхода достигается при предотвращении образования отходов.



Рис. 5. Иерархический порядок управления и работы с отходами и максимальный эффект от предотвращения отходов [4]

Публично-правовая компания «Российский экологический оператор» (<https://reo.ru/about>), которая была создана для реализации нацпроекта «Экология» в сфере обращения ТКО, считает, что в данный момент мы находимся на промежуточном этапе. На Рисунке 6 представлена эволюция иерархическим порядком управления и работы с отходами. Сейчас эта компания ориентирована на национальный проект «Экономика замкнутого цикла».

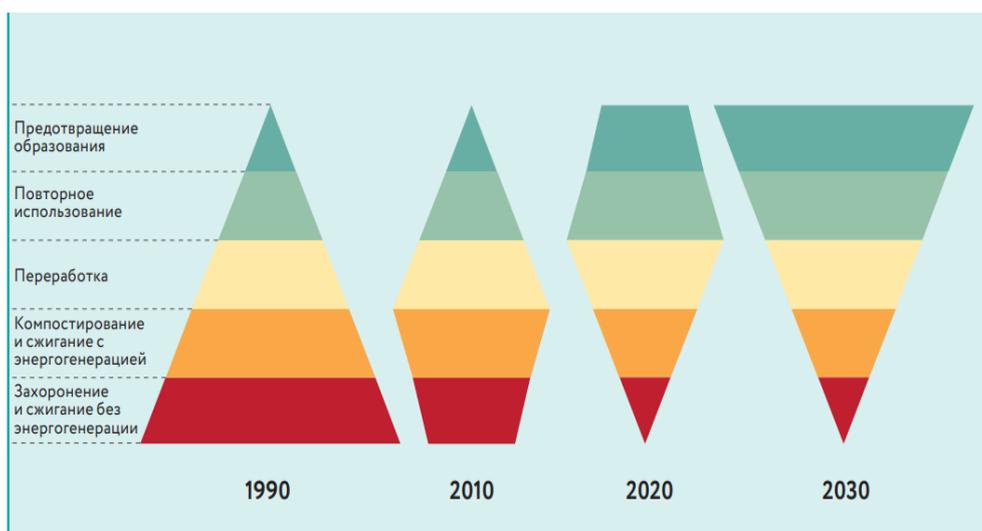


Рис. 6. Эволюция иерархического порядка управления и работы с отходами

В ГОСТ Р 56828.22-2017 для реализации в иерархическом порядке применения методов управления и работы с отходами необходимо развитие инфраструктуры и создание промышленных объектов:

- для обеспечения безопасной утилизации для максимального использования вторичного ресурсного потенциала отходов
- для удаления опасных отходов;
- для сбора, сортировки, утилизации и (или) удаления отходов;
- для обеспечения максимальной приближенности к промышленным объектам для сбора, сортировки и утилизации.

ГОСТ Р 56828.31-2017 регламентирует комплексные стратегии и подходы к управлению отходами производства и потребления на всех этапах жизненного цикла продукции. Данный стандарт отражает принципы рационального природопользования и подчеркивает важность применения наилучших доступных технологий для достижения экологических, социальных и экономических целей. Положения предназначены для применения в нормативно-правовой, нормативной, технической и проектно-конструкторской документации, а также в научно-технической, учебной и справочной литературе применительно к процессам вовлечения отходов в

хозяйственный оборот, обеспечивая при этом защиту окружающей среды, сохранение здоровья людей и их имущества.

Согласно ГОСТ Р 56828.31-2017, иерархия управления и работы с отходами определяется следующими ключевыми этапами:

1. ****Предотвращение образования отходов****: Этот подход имеет наивысший приоритет и направлен на полное исключение или значительное уменьшение отходов на этапе проектирования и производства продукции.

2. ****Подготовка к повторному использованию****: Предполагает восстановление функциональности наработавших свой ресурс изделий, включая их обновление, ремонт и модернизацию для продолжения эксплуатации.

3. ****Утилизация отходов****: Означает переработку отходов с получением вторичных материальных ресурсов.

4. ****Иные методы использования отходов****: Включает в себя, например, получение энергии из альтернативного топлива.

5. ****Конечное размещение отходов на полигонах****: Наименее приемлемый вариант управления отходами.

6. ****Уничтожение опасных отходов****: Последний этап, который используется только в случае, если другие технологии обращения неприменимы или неэффективны.

ГОСТ Р 56828.31-2017 также предусматривает ряд требований к целекологическим индикаторам, например, снижение объёмов выбросов парниковых газов. Реализация таких целей осуществляется через оптимизацию процессов управления отходами, включая, как пример, отдельный сбор и компостирование органических отходов, что содействует производству экологически безопасных продуктов.

На Рисунке 7 представлены обобщённые этапы реализации иерархического порядка управления и работы с отходами. Менеджмент первичных ресурсов заключается в активных мерах по исключению или существенному уменьшению объёма отходов, которые могут быть сформированы посредством оптимизации производственных процессов и использования более эффективных технологий и материалов.

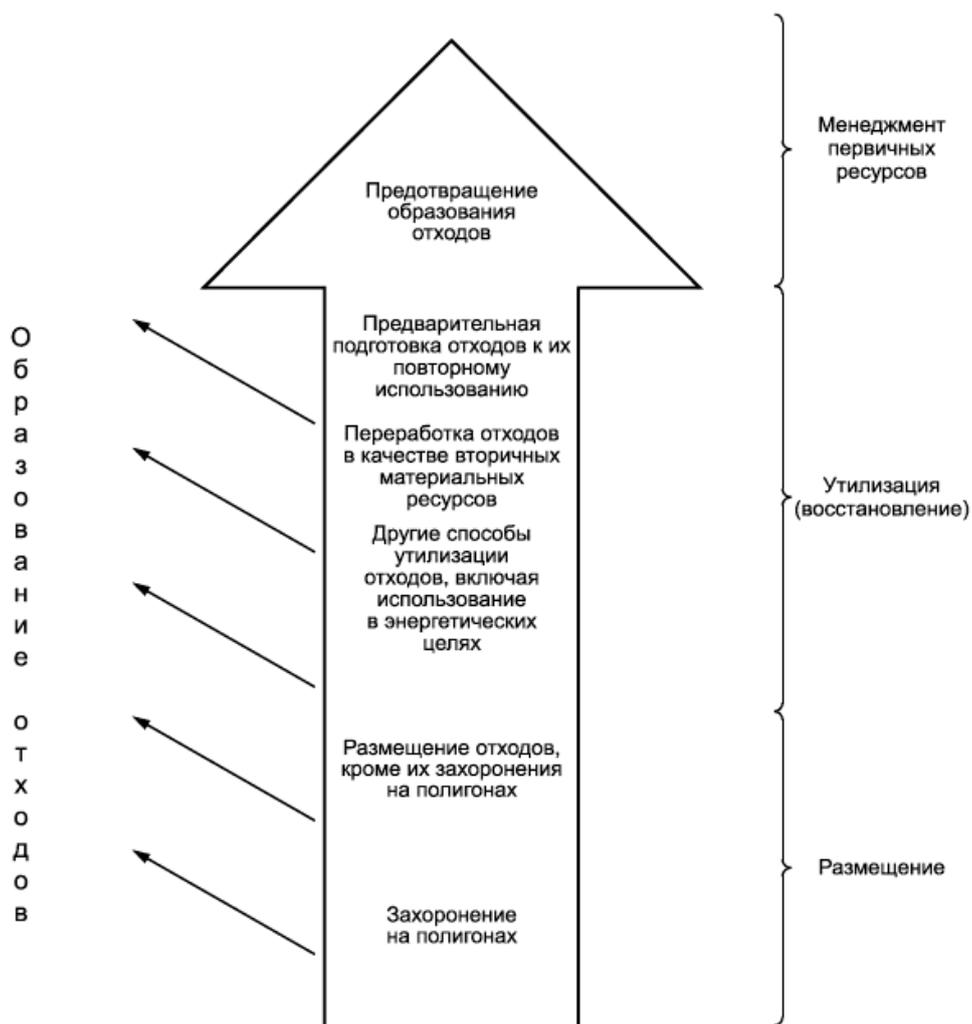


Рис. 7. Обобщённые этапы реализации иерархического порядка управления и работы с отходами [4].

В целом, ГОСТ Р 56828.31-2017 подчёркивает необходимость системного и иерархического подхода к управлению отходами с внедрением наилучших доступных технологий, однако для определённых потоков отходов может потребоваться отклонение от упомянутого иерархического порядка, если это затрагивают требования к защите окружающей среды. В этом контексте хозяйствующий субъект может отклоняться от установленных в иерархическом порядке приоритетов.

Иерархический подход к восстановлению материальных ресурсов из отходов заключается в:

1. ****Подготовка к повторному использованию:**** Это может включать очистку, ремонт или модификацию устройств и изделий для их последующего использования, что позволяет удлинить жизненный цикл продукта и уменьшить необходимость в новых ресурсах.

2. ****Переработка:**** Процесс превращения отходов в вторичные материальные ресурсы, способствующий их повторной циркуляции в производственном цикле.

3. ****Другие способы утилизации:**** Включают методы, позволяющие извлекать полезные компоненты из отходов, такие как извлечение энергии при термической обработке (например, сжигании).

Иерархический подход при размещении отходов заключается всег в двух пунктах: ****Конечное размещение отходов**** и ****Захоронение на полигонах**** .

Определённая иерархия направлена на выбор наиболее приемлемого метода управления и работы с отходами.

3.1. Порядок реализации этапов иерархического подхода

ГОСТ Р 56828.31-2017 регламентирует комплекс мер, направленных на предотвращение образования отходов и оптимизацию их обращения, что предполагает целенаправленную работу на различных этапах жизненного цикла изделий. Процесс предотвращения начинается уже на этапе проектирования продукции и продолжается на этапах её изготовления и использования.

Проектирование изделий предполагает интеграцию методов, позволяющих увеличить срок службы продуктов, облегчить их повторное использование, а также уменьшить содержание опасных веществ. Сокращение количества и токсичности отходов способствует улучшению экологического состояния окружающей среды и здоровья населения.

Подготовка к повторному использованию отработавших свой срок изделий требует осуществления проверки, очистки, ремонта и восстановления, чтобы вернуть им первоначальные потребительские качества, тем самым продлевая их жизненный цикл и предотвращая преждевременное превращение в отходы.

При переработке отходов во вторичные материалы проводятся действия, направленные на получение качественного сырья, которое может быть использовано повторно в производственном цикле. Такие методы, как компостирование, позволяют трансформировать органические отходы в полезные продукты, возвращая их в природный или экономический цикл.

Возможности использования отходов в качестве вторичных энергетических ресурсов включают разнообразные технологии: анаэробное разложение, термическую обработку с выделением энергии, а также газификацию и пиролиз. Такие решения способны преобразовать отходы в ценные энергоносители, тем самым способствуя сокращению доли не возобновляемых энергетических ресурсов.

Конечное размещение отходов и их захоронение на полигонах представляют собой операции, к которым прибегают в случае, если другие методы их утилизации невозможны или неэффективны. Эти процессы должны осуществляться с учётом строгих экологических стандартов, чтобы минимизировать возможные вредные воздействия на природную среду и здоровье людей.

Реализация иерархического подхода в обращении с отходами требует от хозяйствующих субъектов мер, обеспечивающих максимально возможную защиту окружающей среды и здоровья населения на всех этапах производственной и потребительской деятельности. Это включает в себя выбор экологически обоснованных технологий, учёт технической осуществимости и экономической целесообразности, а также соответствие общим принципам устойчивого развития и охраны природных ресурсов.

Критерии выбора лучших доступных технологий заключаются не только в экономической эффективности и технических возможностях их внедрения, но и в оценке уровня воздействия решений на экологическую ситуацию и социальную сферу. Поддержание биоразнообразия, минимизация шумового и вибрационного загрязнения, предотвращение возникновения неприятных запахов, а также восстановление нарушенных природных и исторических объектов являются ключевыми направлениями для сохранения экологического равновесия и улучшения качества жизни общества.

Для практического применения на предприятиях вышеозвученных положений в ГОСТ Р 56828.31-2017 рекомендуют применять английскую алгоритмическую модель опроса руководства и специалистов для созда-

ния вариантов решения по экономически выгодному использованию отходов. Представлена на Рисунке 8.

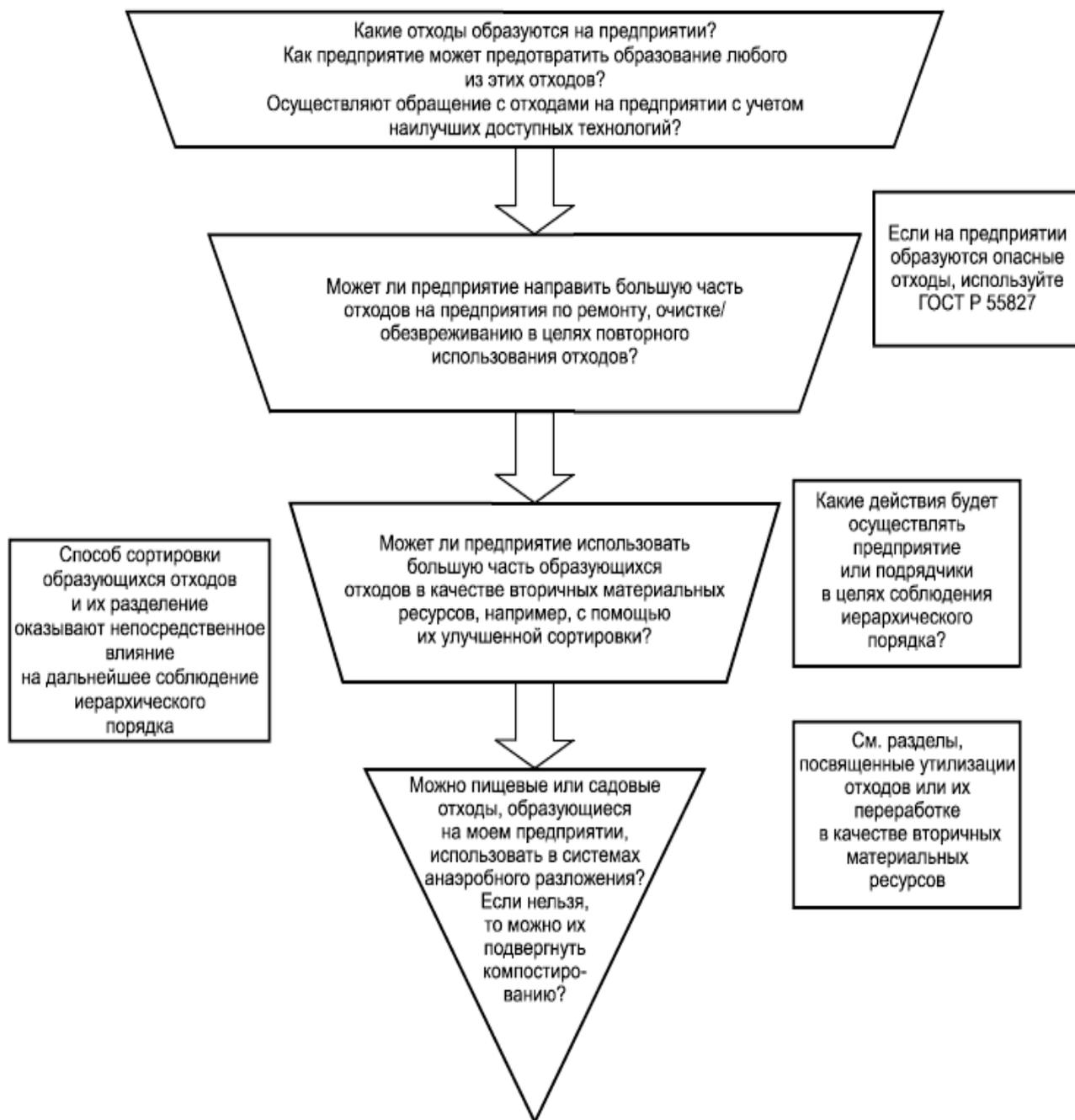


Рис. 8. Анкетный опрос для применения иерархического порядка управления и работы с отходами на предприятиях, где они образуются [4].

В Таблице 5 в качестве примера приведены рекомендуемые элементы иерархического порядка управления и работы с отходами из [4].

Таблица 5

Рекомендуемые элементы иерархического
 порядка управления и работы с отходами [4].

Виды отходов	Рекомендуемые элементы иерархического порядка управления и работы с отходами
Макулатура (бумага и картон)	<ul style="list-style-type: none"> - предотвращение образования - подготовка к повторному использованию - использование в качестве вторичных материальных ресурсов - рекуперация энергии (особенно хорошо подходит для коротких волокон или загрязненных материалов) - конечное размещение
Пищевые отходы	<ul style="list-style-type: none"> - предотвращение образования - анаэробное разложение - компостирование; другие технологии рекуперации энергии - конечное размещение
Садовые отходы	<ul style="list-style-type: none"> - предотвращение образования - анаэробное разложение - компостирование; другие технологии рекуперации энергии - конечное размещение
Текстильные отходы	<ul style="list-style-type: none"> - предотвращение образования - подготовка к повторному использованию - использование в качестве вторичных материальных ресурсов - рекуперация энергии - конечное размещение
Древесные отходы	<ul style="list-style-type: none"> - предотвращение образования - подготовка к повторному использованию - использование в качестве вторичных материальных ресурсов - рекуперация энергии (предпочтительнее использования в качестве вторичных материальных ресурсов применительно к материалам более низкого качества) - конечное размещение
Стеклобой	<ul style="list-style-type: none"> - предотвращение образования - подготовка к повторному использованию - использование в качестве вторичных материальных ресурсов в переплавке - другие виды использования в качестве вторичных материальных ресурсов - конечное размещение

Для других отходов и более подробно можно посмотреть в п.7 ГОСТ Р 56828.31-2017 и в других ИТС НДТ. Например, при разработке документации по обращению с наиболее распространённым отходом – упаковкой – необходимо начинать с ГОСТ Р 54529-2011 (ЕН 13193:2000) «Ресурсосбережение. Упаковка в окружающей среде. Термины и определения (Переиздание)».

3.2. Показатели ресурсной эффективности

Основным стратегическим курсом в области управления отходами является их рециркуляция в экономическую деятельность. В контексте переработки и нейтрализации отходов (за исключением методов сжигания) действия выполняются с пониженным уровнем влияния на экологическую обстановку. В документе ИТС 48-2017 [15], приводится описание технологий, целью которых является получение дополнительной энергии за счет экономии и извлечения ее из отходов.

В рамках НДТ Э-1 предполагается внедрение принципов экономии энергии при управлении и работе с отходами.

НДТ Э-2 нацелена на оптимизацию потребления энергии в данном секторе. Существуют разнообразные меры, которые могут быть реализованы для достижения этой цели:

- Многократное использование теплоносителя сокращает необходимость в новых порциях энергии для выполнения аналогичных процессов;
- Эффективное применение образовавшегося пара может увеличить отдачу от затраченной энергии путём его использования в других процессах;
- Использование тепла от экзотермических реакций обеспечивает дополнительный источник энергии, который в противном случае рассеивался бы без пользы;
- Установка устройств, предусматривающих плавный запуск и частотно-регулируемые приводы двигателей, позволяет снизить пиковые нагрузки и оптимизировать электропотребление в насосных и вентиляционных системах.

Концепция НДТ Э-3 углубляет подход к энергосбережению, акцентируя внимание на разработке стратегического плана потребления энергии

на объектах утилизации и дезактивации отходов. Основные меры, рекомендуемые в этом контексте, включают:

Создание систем контроля за потреблением энергии и связанными с этим финансовыми затратами позволяет чётко отслеживать и оптимизировать расход ресурсов;

б) Проведение энергетического аудита ключевых операций выявляет "узкие места" и предоставляет информацию для улучшения процессов;

в) Модернизация оборудования и внедрение новых систем управления, нацеленных на повышение энергоэффективности, содействует снижению общего уровня энергопотребления;

г) Обучение сотрудников основам энергетической эффективности повышает осведомлённость и компетентность в области рационального использования энергетических ресурсов.

Ключевым аспектом ресурсной эффективности в индустрии управления отходами является уровень их утилизации и переработки. В качестве одного из критериев оценки эффективности используется показатель глубины переработки отходов, который рассчитывается как отношение массы изделий, полученных в результате их переработки, к общему объёму отходов, подлежащих этому процессу. Этот показатель отражает не только количество переработанных отходов, но и степень преобразования первоначального вида отходов в новые, полезные продукты. В Таблице 6 представлены показатели ресурсной эффективности в виде существующей глубины утилизации разных видов отходов. Эти показатели соответствуют технологиям, представленным в НДТ ИТС 15-2021.

Показатели эффективности технологий представленные
в НДТ ИТС 15-2021 [13].

Показатель ресурсной эффективности	Значение, %
Глубина утилизации отходов – резины с получением резиновой крошки различных фракций, сырья вторичного резиносодержащего; – сырья вторичного, содержащего черные металлы; – сырья вторичного текстильного	> 95
Глубина утилизации отходов изделий из полимеров с получением гранул, рассчитанная от массы предварительно обработанных отходов, поступивших на утилизацию	> 90
Глубина утилизации автомобильных аккумуляторов, утративших потребительские свойства, с получением вторичного сырья, рассчитанная от массы отходов, поступивших на утилизацию	> 90
Глубина утилизации отходов изделий из полимеров с получением гранул, рассчитанная от массы предварительно обработанных отходов, поступивших на утилизацию	> 90
Глубина утилизации отходов изделий (упаковки) из полиэтилентерефталата с получением вторичного сырья ПЭТ-флэкс, рассчитанная от массы отходов, поступивших на утилизацию	> 65
Глубина утилизации электрического и электронного оборудования, утратившего потребительские свойства, при его разделке на составные части, распайке и глубокой обработке электротехнических плат с получением	> 55
Глубина утилизации батарей первичных и аккумуляторных (источников бесперебойного питания; марганцово-цинковых источников тока; никель-металлгидридных источников тока; одиночных никель-кадмиевых гальванических элементов (батарейки); аккумуляторов компьютерных кислотных), рассчитанная от общей массы поступивших на утилизацию отходов	> 50

3.3. Энергетическая утилизация отходов

Энергоёмкость экономики — показатель, отражающий количество энергии, используемой для производства единицы ВВП. В Российской Федерации данный показатель существенно превышает средние значения

для развитых стран. Исходя из критерия паритета покупательной способности, данная особенность является одним из ключевых факторов, влияющих на конкурентоспособность российской экономики на международном уровне.

Ряд объективных причин способствует поддержанию высокой энергоёмкости в России. К ним относятся:

1. Природно-климатические условия: обширная территория России охватывает разнообразные климатические зоны, многие из которых характеризуются суровыми и длительными периодами холодной погоды, требующими значительных затрат на отопление и поддержание инфраструктуры.

2. Структура экономики: преобладание в экономике таких энергоёмких отраслей, как тяжёлая промышленность, металлургия, нефтегазовый сектор, энергетика, ведёт к высокому общему уровню потребления энергии на внутренние нужды страны.

В РФ активизированы мероприятия по улучшению показателей энергоэффективности в разнообразных секторах экономического действия. Напутствующие инструкции и методы выявления аспектов энергоэффективности сформулированы в ГОСТ Р 54196-2010 «Ресурсосбережение. Руководство по идентификации аспектов энергоэффективности» и иных регулирующих документах серии «Ресурсосбережение». Выявление аспектов энергоэффективности выполняется с целью систематической оценки факторов внешней и внутренней среды, оказывающих влияние на уровень энергопотребления и эффективность использования ресурсов, что является ключом к созданию адекватной энергетической стратегии промышленного предприятия. Однако настоящая стадия развития экономики характеризуется чрезвычайно высоким потреблением сырьевых и материальных ресурсов, а также интенсивным образованием отходов. Такая ситуация связана с экспортной ориентацией производства и уровнем технологического прогресса, способствуя непрекращающемуся увеличению объёма отходов. Некоторая доля отходов может быть задействована для повышения показателей энергетической эффективности.

Промышленные предприятия генерируют отходы двух разновидностей: актуальные, возникающие на этапах технологического процесса, и

потенциальные, появляющиеся в процессе вывода из эксплуатации продукции или вследствие её брака. Это обстоятельство подчёркивает нарастающую значимость проблем, связанных с обращением отходами, и насущность решения вопросов, касающихся сбора, хранения, транспортировки, комплексной переработки, а также захоронения или уничтожения непригодных для использования отходов, включая опасные.

Вопросы, связанные с накоплением отходов, затрагивают две критические темы: первая – снижение их отрицательных последствий для здоровья населения и экологии, вторая – реализация потенциала отходов в качестве альтернативного источника энергии и вторсырья. Энергетическая утилизация отходов обеспечивает снижение экологической нагрузки, увеличивает экономическую выгоду от производственных процессов, способствует уменьшению объёма производимого мусора и сточных вод, а также сокращает уровень шумового загрязнения. Этот принцип направлен на восстановление повреждённых земель и консервацию биологического разнообразия. Относительно секторов агропромышленного и лесного комплекса России, можно отметить, что около 85% образующихся отходов подвергаются энергетической переработке и нейтрализации. В то же время, при функционировании объектов электроснабжения, газификации и снабжения паром используется и обезвреживается лишь 9% соответствующих отходов. В среднем, для обрабатывающей промышленности данный показатель составляет примерно 54%.

Таким образом, энергетическая переработка отходов имеет потенциал к расширению её применения в различных отраслях для повышения общей эффективности ресурсоиспользования. Основные нормативные документы по ресурсосбережению:

– ГОСТ Р 54196-2010 «Ресурсосбережение. Промышленное производство. Руководство по идентификации аспектов энергоэффективности»

– ГОСТ Р 54198-2010 «Ресурсосбережение. Промышленное производство. Руководство по применению наилучших доступных технологий для повышения энергоэффективности»

– ГОСТ 31532-2012 «Энергосбережение. Энергетическая эффективность. Состав показателей»

– ГОСТ Р 56828.24-2017 «НДТ. Энергосбережение. Руководство по применению наилучших доступных технологий для повышения энергоэффективности»,

– ГОСТ Р 56828.16-2017 «НДТ. Энергосбережение. Методология планирования показателей (индикаторов) энергоэффективности»

– ГОСТ Р 56828.26-2017 «НДТ. Ресурсосбережение. Аспекты эффективного управления и работы с отходами в цементной промышленности».

Согласно действующему законодательству, отходы с положительной теплотой сгорания могут квалифицироваться как вторичные ресурсы, используемые в качестве альтернативного топлива. Определение метода энергетической утилизации такого альтернативного топлива зависит от конкретного применения:

а) В цементной промышленности при "сухом" процессе альтернативное топливо транспортируется пневматическим способом в декарбонизатор.

б) Для "мокрого" способа производства цемента альтернативное топливо подаётся пневмотранспортом на главную горелку.

в) В металлургии при работе доменных печей гранулы альтернативного топлива перемещаются пневматическим способом на фурмы.

г) В твёрдотопливной энергетике гранулированное альтернативное топливо добавляется в топки вместе с традиционным твёрдым топливом.

д) В секторе газовой энергетики альтернативное топливо подаётся в газификатор для получения синтез-газа, который затем используется в качестве топлива для топок.

Цементные заводы, при строгом соблюдении экологических и санитарных стандартов, позволяют утилизировать или нейтрализовать широкий спектр топлив из отходов III-V класса опасности. В их число входят бумага, картон, дерево, резина, разнообразные полимеры, изношенные покрышки, и др. Такие методики способствуют не только уменьшению объёмов отходов, но и ведут к рационализации и повышению эффективности использования энергоресурсов. Энергетическая переработка отходов, таким образом, выступает важной составляющей экологической стратегии устойчивого развития.

Для использования в качестве альтернативного топлива отходов и ТКО предусмотрена специальная обработка, которая описана в следующих нормативных документах:

– ГОСТ Р 56828.30-2017 «Ресурсосбережение. Методология обработки отходов в целях получения вторичных топливно-энергетических ресурсов»

– ГОСТ Р 70719-2023 «Ресурсосбережение. Обращение с отходами. Методические рекомендации по подготовке альтернативного топлива из твёрдых коммунальных отходов. Основные требования (с Поправкой)»

3.4. Классификация промышленных отходов по их энергетической эффективности

Обследования многочисленных химических предприятий показывают, что менее половины используемых ресурсов трансформируются в конечную продукцию, при этом остаток выводится в форме производственных отходов. Сибирским отделением научно-производственного объединения «Техэнергохимпром» выполнен детальный анализ свыше 800 типов отходов, содержащих органические соединения. В результате анализа установлены элементный состав, теплота сгорания, зольность, уровень влажности, температуры вспышки и воспламенения, плотность и насыпная масса, вязкость, а также произведён термографический анализ.

Обычно такие отходы являются сложными многокомпонентными смесями органических и неорганических веществ. Опираясь на результаты, можно разрабатывать специализированные технологические процессы для цементной промышленности, а также специальное огне-техническое оборудование для локальной обработки отходов. К категории твёрдых промышленных отходов принадлежат остатки пищевого производства, зола от котельных и ТЭС, обрезки дерева, металлолом, пластмассы, шламы, отбросы упаковочных материалов и непригодная спецодежда. Жидкие промышленные отходы представляют собой обычно сложные смеси различных соединений с разнообразной вязкостью. В определённых случаях различают отдельную группу – пастообразные отходы, включающие шла-

мы и пасты. Морфологический состав твёрдых отходов нехимических производств разбит по компонентам и систематизирован в Таблице 7.

Таблица 7

Характеристика твёрдых промышленных отходов нехимических производств.

Компоненты	Содержание, % мас.		
	Москва	Санкт-Петербург	Екатеринбург
Древесина	26,9	27,5	3,8
Бумага	4,7	3,0	24,4
Текстильные отходы	4,3	3,6	-
Кожа, шерсть	1,0	1,1	7,1
Резина	2,9	5,1	-
Пластмассы	0,3	0,2	0,2
Мездра	2,0	0,8	-
Стекло	0,3	0,3	5,1
Горелая формовочная земля	26,2	11,3	19,5
Осадки сточных вод	1	6,4	-
Прочие	30,4	40,7	39,9

Такая всесторонняя характеристика и классификация отходов незаменима для разработки научно обоснованных и экологически безопасных подходов к их использованию и переработке. Ключевым моментом является определение наиболее эффективных способов утилизации, которые позволят переработать отходы в полезные продукты или энергию, тем самым снижая нагрузку на экосистему и улучшая экономическую эффективность предприятий.

Энергетическая эффективность процедуры утилизации отходов напрямую связана с величиной теплотворности отходов, определяющейся их химическим составом. Многие отходы, имеют, как правило, невысокую или нулевую теплотворную способность. Это означает, что такие отходы не обладают значительным потенциалом для улучшения энергоэффективности предприятий, так как недостаточно эффективны для генерации тепла при их сжигании или других способов энергетической утилизации.

В Таблице 8 представлен характерный химический состав горючих компонентов индустриального мусора, который включает в себя данные о

содержании углерода, водорода, серы и других веществ, способствующих горению.

Таблица 8

Химический состав горючих компонентов промышленного мусора

Компонент	Состав (на сухую массу), % мас.					Теплота сгорания Q, кДж/кг
	С	Н	S	N	О	
Деревоотходы	49,51	5,5–6,4	0,1	0,1–0,2	41–43	15000–20000
Бумага, картон	43–49	5,7–6,1	0,1–0,2	0,0–0,25	43–45	16660–20000
Текстильные отходы	46,2	6,74	0,2	2,2	41,8	18000–20000
Резина	77,65	10,35	2	–	–	29600
Полиэтилен	84,54	14,18	0,03	0,06	0	46520
Полистирол	87,5	8,45	0,02	0,21	3,96	38402
Масла, красители	66,85	9,65	–	2	5,2	37216

Информация о кодах Федерального классификатора категорий отходов (ФККО) и энергетической ценности отходов авиационной индустрии сведена в Таблице 9. Все коды ФККО принадлежат «Блоку-4» и не дают представления о калорийности отходов.

Таблица 9

Коды ФККО и энергетическая ценность отходов авиационной промышленности.

Код ФККО	Наименования отхода	Элементный состав, %		Показатели технического анализа		Теплота сгорания
		С ^р	О ^р	W ^р , %	A ^р , %	Q ^{рв} , КДж/кг
1. Негорючие отходы						
45592111604	Отходы асбеста	1.9	2.9	3.0	92.0	580
74361111313	Отходы масляной эмульсии, смесь масла с водой	2.3	-	96.5	1.1	905
41612195324	Моечный раствор с содержанием поверхностно-активных веществ (ПАВ)	2.7	0.4	95.0	1.5	1375
40200000000	Оснастка, загрязненная лакокрасочными материалами	4.2	1.8	-	93.2	1982
45142121615	Отходы стекловаты и других изолирующих материалов	5.1	1.6	-	92.6	2341

Продолжение табл. 9

Код ФККО	Наименования отхода	Элементный состав, %		Показатели технического анализа		Теплота сгорания
		С ^p	О ^p	W ^p ,%	A ^p ,%	Q ^{pв} , КДж/кг
41441000000	Отходы лакокрасочных материалов и грунтовок из гидроотстойников	7.9	5.8	49.8	36.0	2550
43412511524	Отходы фольги, стружки фольги с клеями ВК-25, ВКВ-9	6.1	2.0	0.8	90.5	2605
2. Низкокалорийные промышленные отходы						
41443500000	Отходы герметика силиконового ВИК-СИНТ У-2-28	12.3	1.4	-	83.2	10015
41443500000	Отходы герметика фтор-силиконового ВГФ-2 **	17.7	9.2	-	59.9	12016
41442000000	Отходы эмалей Кч-767, ХВ-16, лака ХВ-784	25.9	19.5	-	26.9	12255
41442000000	Отходы шпатлевок ХВ-004, эмалей ХП-5184, ХР-16, лака ХВ-784	30.3	14.0	-	26.1	15630
89211002604	Обтирочный материал, загрязненный маслами, лакокрасочными материалами, клеями	38.1	35.7	-	19.8	16475
71021201494	Сульфоуголь	48.5	0.1	36.4	11.4	17140
40200000000	Отходы войлока, загрязненные лакокрасочными материалами	43.7	45.0	4.1	0.8	17458
41442000000	Отходы лакокрасочных материалов и грунтовок ограждающих конструкций с солидолом	37.8	5.5	40.7	8.0	17496
40596111604	Отходы бумаги, загрязненные лакокрасочными материалами	44.4	48.9	-	0.5	17522
36105313203	Отработанный карбюратор	59.6	15.0	10.6	14.5	18798
40200000000	Шлам с вентсистем, содержащий лакокрасочные материалы и грунт	42.5	16.5	0.8	32.4	20885
41442000000	Отходы лаков АК-113Ф, ЭП-730. эмалей АС-1115, ЭП-64-1-89. ПФ-115, ПФ-223, НЦ-25, ВЛ-02, КО-814, ВЛ-725	41.5	18.9	-	32.3	21278
43510003514	Отходы трубок, пластин, профилей хлорвиниловых	41.7	9.0	1.6	0.5	21327
40300000000	Отходы кожи, кожзамителей	46.2	12.4	-	5.9	21722

Продолжение табл. 9

Код ФККО	Наименования отхода	Элементный состав, %		Показатели технического анализа		Теплота сгорания
		С _p	О _p	W _p , %	A _p , %	Q _{pв} , КДж/кг
41442000000	Отходы мастик	50.8	15.1	-	26.1	24000
40200000000	Отходы тканей термостойких, теплозвукоизолирующих	53.2	-	-	0.1	24448
3. Промышленные отходы средней калорийности						
41442000000	Отходы грунтовок АК-070. ЭП-076, ЭП-0215. ФЛ-086, ВЛ-ОЗК	50.8	15.1	-	26.1	25243
43100000000	Отходы резины сырой 9-2959, НО-68-1, ИРП 51-157, В-М-1, 4670	66.2	4.4	-	19.9	25423
40631211323	Загрязненная жидкость ОЖ-1	45.7	8.6	38.8	-	25658
43510003514	Отходы поролона	64.9	12.6	7.7	-	25663
41443500000	Отходы герметика полисульфидного ВИТЭФ-1НТ	29.8	12.1	-	31.0	26091
43510003514	Отходы паронита	56.8	12.1	14.0	10.0	26613
40300000000	Отходы прессматериалов, текстолитов, пенопласта	64.9	26.0	2.2	0.5	26968
41360001313	Отработанная гидравлическая жидкость НГЖ-4	55.4	25.2	-	11.3	27906
40200000000	Отходы брезента	63.8	-	5.0	1.0	28420
41442000000	Отход эмали Кч-7107	53.5	9.2	-	30.6	29912
43412511524	Отходы лент, различных шнуров	66.2	5.5	-	19.9	30143
43510003514	Отходы гетинакса, миконита, карболита	73.0	16.1	3.1	1.4	30793
43100000000	Отходы резины сырой 3826, 3824	72.7	7.5	-	10.5	32273
43412511524	Защитная пленка АК-20, загрязненная остатками герметика	73.9	2.0	-	11.5	33261
41442000000	Отходы лакокрасочных материалов, грунтовок	75.3	13.3	-	-	34396
41442000000	Отходы клеев	67.6	13.1	-	-	34438
43412000000	Отходы полиамида ПА-610Л	67.6	13.1	-	-	34865
43412511524	Отходы бумаги, пропитанные пленочными клеями	77.4	13.8	-	-	35801
43412511524	Отходы липкой ленты, лент ПХЛ, ЛЭТСАР	80.7	2.1	-	3.5	36230
4. Промышленные отходы высокой калорийности						
40631211323	Шламовые отходы масел (смесь окарины, грязи с маслом, керосином)	77.3	5.5	4.9	0.2	41388
40641001393	Отходы смазки ЛС-1П	81.3	-	-	5.8	42414

Код ФККО	Наименования отхода	Элементный состав, %		Показатели технического анализа		Теплота сгорания
		С ^р	О ^р	W ^р ,%	A ^р ,%	Q ^{рв} , КДж/кг
40641001393	Отходы смазки тугоплавкой	83.1	2.0	-	2.1	42439
43819105524	Полиэтиленовая тара, загрязненная остатками компонентов герметиков	78.1	0.2	-	8.9	42543
40641001393	Отходы смазки УС-2	83.3	3.0	-	1.5	43406
41442000000	Отходы смазок	83.8	2.4	-	0.6	43971
41442000000	Отходы олифы	81.7	3.8	0.8	-	44067
40631211323	Отработанный керосин (Т-1,ТС-1)	86.0	-	-	-	44642
40631211323	Загрязненный керосин (осветительный)	86.0	-	-	-	44642
40641001393	Отработанная смазка Литол-24	83.8	2.4	-	0.6	44968
40641001393	Отходы смазки ЦИА-ТИМ-201	84.5	1.5	-	1.3	45002
40641001393	Отходы смазки К-17 (масло консервационное)	86.5	0.6	-	-	46174
40613001313	Смесь отработанных промышленных масел И-20А, И-40А, И-50А	85.2	0.1	-	-	46567
40641001393	Отработанная пушечная смазка	85.1	0.6	-	-	46600
40613001313	Смесь отработанных турбинных масел Тп-22, АМГ-100, ИГП-18, МС-20, МС-ВП	86.1	0.3	-	-	46835
43412000000	Отходы полипропилена 21030	85.4	-	-	0.6	47070
40613001313	Отработанное трансформаторное масло	86.2	-	-	-	47288

4. МЕТОДЫ ПЕРЕРАБОТКИ ОТХОДОВ

Любые технологии, в том числе по переработке отходов, можно охарактеризовать, беря за основу протекающие в это время физические и химические процессы. Основными признаками являются тип и интенсивность подводимой энергии, характер технологической среды и конечный результат воздействия. Для каждого вида отходов необходимо подбирать оптимальную технологию переработки. Классификация и применяемые технологии описаны в различных НТД, но каждый год появляются новые более экономически выгодные технологии.

Выше отмечалось, что понятие «переработка отходов» в нормативной документации несколько расплывчатое, в том смысле, что для одного и того же процесса иногда используются разные слова. Вероятнее всего, это связано с тем, что базовые нормативные документы создавались на основе европейских директив. В результате, довольно часты неточности контекстного перевода с иностранных нормативных документов. В данном курсе под переработкой понимаются все действия, направленные на достижение *целевых показателей устойчивого развития и качества управления и работы с отходами* или в виде следующей формулы:

Переработка \equiv *обработка* + *обезвреживание* + *утилизация*

Как видно из формулы, под переработкой не понимается захоронение отходов, однако извлечение и использование свалочного газа при этом можно назвать переработкой биогаза. Такой вид газа считается возобновляемым ресурсом и называется Renewable Fuel или Renewable Natural Fuel (RNG). По отчётам компании Montauk (США) одна свалка производит 40 тыс. м³ в день RNG. Для создания на ней системы сбора и очистки биогаза требуются инвестиции порядка 30 млн. долл. США. В г. Новосибирске такими проектами занимается компания «СибБиоГаз» (<https://sibbiogaz.ru/>).

4.1. Классификация методов переработки

Для запуска и проведения процесса переработки отходов необходимо прикладывание определённого количества энергии. Энергия может быть очень разнообразной: механической электрической, тепловой, химической и т.д. В зависимости от типа энергии и основных признаков протекания процесса переработки методы можно поделить на несколько классов.

Методы переработки в ИТС НДТ и других нормативных документах классифицированы на следующие виды:

1. Физические
2. Физико-химические
3. Химические
4. Химико-биологические
5. Биологические
6. Биотермическое компостирование

Физические методы используют воздействие сил различной природы: силы тяжести, центробежные силы, механические силы удара, силы электрического и магнитного поля и т.д.

При использовании *физико-химических методов* для увеличения эффективности воздействия физических методов возбуждают протекание различных химических реакций. К этим методам относятся все виды методы сжигания, а также плазмохимические методы.

Химические методы в первую очередь используют при улавливании и нейтрализации токсичных веществ во время процесса очистки отходов. Это, как правило, происходит с помощью смешивания отходов с соответствующим реагентом, который вступает в химическую реакцию с вредным компонентом отходов, например с ртутью.

Химико-биологические методы обеспечивают щадящее химическое и биологическое разложение токсикантов. При таком способе обезвреживания нефтесодержащих отходов обеспечивается малое воздействие на окружающую среду. В качестве химически активных реагентов используют гуминовые кислоты, оказывающие стимулирующее и протекторное действие на микробиоту и растения.

Биологические методы используют растения, бактерии и организмы для переработки органики и очистки вод, грунтов и атмосферы. В последнее время Фонд Президентских Грантов поддерживает проекты по установке в городах вермикомпостеров – деревянных или пластиковых контейнеры с червями, которые перерабатывают органику в удобрение. При правильной организации процесса компост не пахнет и становится удобрением для бедных городских почв. Ингредиенты для компостирования включают в себя правильный баланс следующих материалов:

- Материалы с высоким содержанием углерода («коричневые»).
- Материалы, богатые азотом («зелень»).
- Вода (влага).
- Воздух (кислород).

Материалы, богатые азотом («зелень»): фруктовые и овощные отходы, скошенная трава, кофейная гуща и бумажные фильтры, бумажные чайные пакетики (без скоб), яичная скорлупа (дроблёная). Измельчённые материалы, богатые углеродом («коричневые»): стебли, веточки, бумага (неглянцевая, неокрашенная), коричневые пакеты, картон (без воскового покрытия, скотча и клея), сухие листья, древесная стружка (не пропитанная и некрашенная).

Чего не следует добавлять в компостную кучу: мясо, рыба и кости, сыр и молочные продукты, жиры, масла и смазки, приготовленная пища (можно в небольших количествах), компостируемая посуда для общественного питания и компостируемые пакеты, обработанные гербицидами растения и травы, агрессивные сорняки/сорняки с семенами, больные и зараженные вредителями растения, обработанная или окрашенная древесина, отходы жизнедеятельности домашних животных и наполнитель для кошачьего туалета, сушилка для ворса, глянцевая бумага, наклейки.

Биотермическое компостирование как метод основан на биоокислении органических отходов микроорганизмами и удержании тепла внутри компостной кучи. Органические вещества-предшественники превращаются с выделением тепла в полимеры-компоненты гумуса, который является основным питательным элементом почвы для роста растений и микроорганизмов. Скорость процесса гумификации очень сильно зависит от температуры, влажности и рыхлости органического субстрата.

Добавление готового компоста в почву: улучшает структуру и здоровье почвы за счёт добавления органических веществ, помогает почве удерживать влагу и питательные вещества, привлекает в почву полезные организмы и снижает потребность в пестицидах и удобрениях, снижает вероятность эрозии почвы, связывает углерод в почве, повышает устойчивость к последствиям изменения климата.

В природе процесс естественной полной регенерации почвы может достигать 3000 лет. Перспективные новые методы, уменьшающие время гумификации до нескольких недель, постоянно появляются и испытываются, в том числе искусственная гумификация с получением биополимеров похожих на естественные. В качестве положительного примера можно привести технологию гидротермальной гумификации при температуре 200 °С и повышенном давлении Humify.

Деление методов на различные классы несколько условно, но полезно с точки зрения упорядочивания информационно-справочной системы. Это позволяет специалисту обеспечить экологически безопасную и экономически эффективную переработку тех или иных отходов, тем самым обеспечить бережное отношение к окружающей среде, снижение ответственности компании за отходы и поддержку репутации.

4.2. Обработка твёрдых коммунальных отходов

Предварительная подготовка мусора в виде сортировки и очистки называют обработкой отходов. Для этой деятельности рекомендуется использовать специальный нормативный стандарт, применяемый на добровольной основе: ГОСТ Р 70717-2023 «Ресурсосбережение. Обращение с отходами. Обработка твёрдых коммунальных отходов для подготовки к дальнейшей утилизации. Общие требования. Применяется с 01.06.2023». В этом документе описана методология обработки твёрдых коммунальных отходов (ТКО) для их подготовки к дальнейшей утилизации. В основе метода лежит сортировка отходов на мусоросортировочном комплексе.

Основу работы современных заводов по переработке отходов составляет идея всесторонней сортировки на фракции всего объёма мусора. Для реализации этого задействуются продвинутое автоматизированные транс-

портерные системы с интегрированным многофункциональным оборудованием.

После аккумуляции, ТКО доставляются на предприятия обработки - мусоросортировочные комплексы (Рисунок 9). На данных объектах происходит процесс их сортировки: извлекаются объёмные элементы для защиты технических устройств и производится выделение вторичных материалов из общего объёма привезённых ТКО.



Рис. 9. Мусоросортировочный комплекс состоит из множества конвейерных лент.

Основным методом обработки ТКО является ручная или автоматизированная в сочетании с ручной сортировка. Автоматически или вручную производится селекция для получения вторичного сырья.

Благодаря оптической сортировочной системе, усиливается эффективность отделения требуемых фракций из общего массива отходов. Оптические датчики идентифицируют объекты по размеру, контуру, составу и цвету, далее автоматика перемещает полезную часть отходов в соответствующие резервуары (Рисунок 10).



Рис. 10. Оптико-механический сортировщик
(завод «Флагман», г. Санкт-Петербург)

Последующий этап - освобождение вторсырья от загрязнений и подготовка его для транспортировки. Пластик, полимерные и плёночные материалы подвергаются мойке, тогда как картон, дерево и текстиль обрабатываются методом сухой очистки. При достижении критического объёма отходов в хранилищах они прессуются в брикеты, которые впоследствии отправляются в перерабатывающие компании. Объёмные отходы первоначально уменьшают в размерах при помощи дробильных агрегатов, а пластмассовые изделия прокалываются для удаления воздуха. Стекло и металлы утилизируются путём повторного использования в качестве сырья, что по объёму сопоставимо с объёмом первичного материала. Из отходов резины создаются разнообразные покрытия, включая резиновые маты, а также покрытия для спортивных дорожек и площадок. Пластиковые остатки перерабатываются в гранулы, служащие материалом для производства преформ для упаковочных изделий.

Одна из ведущих тенденций цифровизации переработки отходов это использование искусственного интеллекта (ИИ). ИИ стремительно меняет отрасль отходов и переработки, стимулируя инновации в области сбора отходов, на объектах вторичной переработки материалов и для мониторинга полигонов. Искусственный интеллект непрерывно самообучается, обрабатывая миллионы изображений материалов и преобразуя их в необходимые для распознавания параметры. Программное обеспечение ис-

пользует распознавание цветов, текстур, форм, размеров и логотипов для идентификации вторсырья и загрязняющих веществ в режиме реального времени, что позволяет использовать новые химические вещества и возможности.

Минимальный состав производственных структур, обязательный на объектах обработки ТКО, включает ряд ключевых участков и сооружений (Рисунок 11) [16]:

1. Въездной контрольный пункт, оснащённый системами видеofиксации для идентификации транспортных средств и контроля их въезда на территорию объекта.

2. Два поста весового контроля предназначенные для определения массы мусоровозов с ТКО при въезде на объект и после разгрузки мусора перед их выездом, что позволяет контролировать количественный объем поступаемых и вывозимых отходов.

3. Пост автоматизированного радиационного контроля и анализа паров ртути, который выполняет функцию мониторинга уровня радиации и концентрации паров ртути в воздухе, обеспечивая детектирование превышения допустимых норм, что критически важно для безопасности процессов и здоровья персонала.

4. Мусоросортировочный комплекс как основное производственное здание, где происходит первичный приём, сортировка и подготовка ТКО к дальнейшей переработке или утилизации.

5. Административно-бытовой корпус включает в себя необходимые служебно-бытовые помещения для работников, такие как гардеробные с душевыми и санитарными узлами, столовая, медпункт, помещение для стирки и сушки спецодежды, а также кабинеты для администрации и персонала обслуживания, что обеспечивает надлежащие условия труда и соответствие санитарно-эпидемиологическим нормам.

6. Другие объекты инфраструктуры, включая склад накопления вторсырья, здание для технического обслуживания автопарка, площадку для мойки транспорта и контейнеров, навес для спецтехники, пожарный резервуар, котельную, трансформаторную подстанцию, а также очистные сооружения для обработки сточных вод и дождевых стоков, а также всех необходимых коммуникационных и технических устройств.

Перечень оборудования мусоросортировочного предприятия [16].

N	Наименование оборудования	Кол-во
1	Площадка разгрузки мусоровозов, разборки КГО, шредер	1
2	Разрыватель пакетов	2
3	Подающий конвейер (цепной) с приямком	2
4	Листы закрытия приямка подающего конвейера	2
5	Кабина климатическая предварительной сортировки	1
6	Платформа предварительной сортировки в комплекте с бункерными перегородками, лестницами, сортировочными воронками	1
7	Конвейер сортировочный (ленточный)	2
8	Барабанный грохот (либо роторный сепаратор)	2
9	Эстакада для барабанного сепаратора мелкой фракции	2
10	Конвейер сбора мелкой фракции (ленточный)	2
11	Перегрузочный конвейер (ленточный) для перемещения "отсева грохочения"	1
12	Реверсивный конвейер (ленточный) - для "отсева грохочения"	1
13	Сепаратор магнитный (подвесной)	3
14	Эстакада магнитного сепаратора	3
15	Кабина климатическая основной сортировки	1
16	Платформа основной сортировки в комплекте с бункерными перегородками, лестницами, сортировочными воронками	1
17	Конвейер основной сортировки (ленточный)	2
18	Сепаратор вихретоковый для отбора цветных металлов	1
19	Эстакада вихретокового сепаратора	1
20	Сортировочная воронка для магнитного сепаратора	3
21	Сортировочная воронка для вихретокового сепаратора	1
22	Реверсивный (ленточный) конвейер	1
23	Эстакада реверсивного конвейера	1
24	Приемно-подающий конвейер цепной с приямком (для подачи вторсырья в пресс)	1

N	Наименование оборудования	Кол-во
25	Листы закрытия приемка подающего конвейера в пресс	1
26	Автоматический гидравлический пресс (для вторсырья)	1
27	Автоматический пресс/пресс-компактор (для "хвостов")	1
28	Автоматическая система управления комплексом	1
29	Дизель-генератор	1

Система оптико-механической сепарации изначально является элементом цифровых технологий, применяемых при сортировке ТКО. Однако, применение оптических сепараторов, как указывается в ГОСТ Р 70717-2023, имеет экономическую целесообразность на объектах с производственной мощностью 100 тыс. и более тонн ТКО в год.

Оптические сепараторы отличаются разнообразием конфигураций, однако типично они включают в себя конвейерную систему, которая транспортирует отходы для дальнейшей обработки световым излучением, испускаемым специфическим оптическим устройством, размещённым над транспортёром. Поток сортируемых отходов равномерно поступает на конвейер, где в последующем освещается с целью определения свойств материала. Процесс распознавания выполняется путём анализа изображения и спектра отражённого света с поверхности и сравнения его с данными в базе системы. Применение современных технологических решений даёт возможность проведения сортировки отходов не только по цветовым характеристикам, но и по химическому составу.

В США, ведущим поставщиком сортировки на основе искусственного интеллекта для отрасли отходов и переработки является AMP Robotics Corp. («AMP»). Также, популярны оптико механические анализаторы компаний с поддержкой искусственного интеллекта «MSS, Inc.» и «Greyparrot». Блоки анализатора устанавливаются над движущимися лентами с отходами. Они записывают изображение каждого объекта, проходящего вдоль ленты, и на основе внутренней записанной в базу данных информации определяют вид и класс объекта, а также вероятность того, что предмет является пищевым материалом. Система Greyparrot включает

отдельную классификацию для 20 предметов из полипропилена, включая белые и черные контейнеры и крышки.

Технологии с поддержкой искусственного интеллекта оперируют данными огромных объемов о характеристиках материалов и на более детальном уровне, чем то, что было доступно ранее. Это способствует увеличению степени извлечения полезных материалов из потока отходов. Накопленные сегодня сведения в базах данных, обеспечивают сортировку по производителям упаковки. В результате, отходы отправляются на предприятия, откуда они появились. Это позволяет получить возврат утилизационного сбора.

После обработки на оптической станции материал перемещается в зону действия блока отбора. Здесь, спустя заданное программным обеспечением время для каждой сепарируемой фракции, активируются соответствующие устройства отбора трех типов:

1. метод экстракции воздуха с положительным давлением, которые вытесняют из общего потока выбранный компонент при помощи сжатого воздуха;
2. роботизированные пневмоприсоски, т.е. с отрицательным давлением;
3. роботы с хватательной функцией в виде киберрук.

В РФ используются оптические сортировщики ТКО норвежской фирмы «TOMRA Sorting» (они же немецкий Titech) и немецкой фирмы Steinert. Оба оборудования 1 типа, при этом функция искусственного интеллекта в РФ у них отключена. Оборудование используется в основном в Северо-Западном регионе. На рисунке 12 показаны 3 типа сортировки и отбора фракции.

К сортировщикам мусора тип 3, в основном строительного, можно отнести производителя роботизированных систем финскую компанию ZenRobotics.

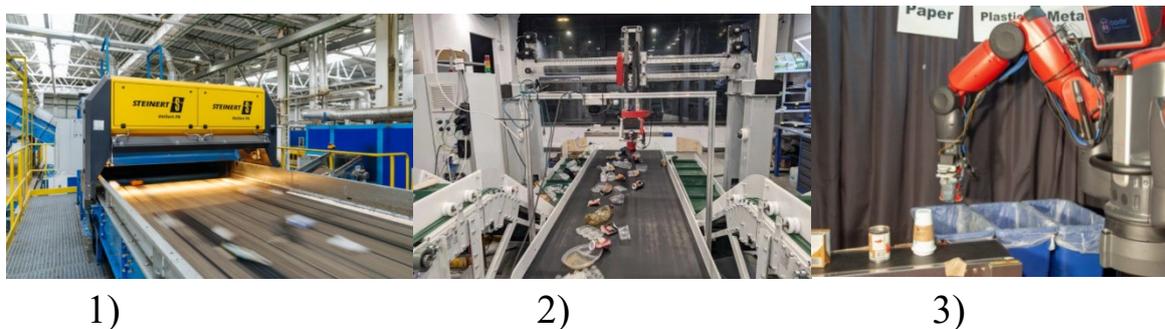


Рис. 12. Три типа сортировки и отбора фракции

Крупнейший оператор по обращению с отходами «РТ-инвест», дочерняя компания «Ростех», использует механизмы 1 и 2 типа: модели собственной разработки «Эстет» и «Гурман».

Интеграция с множеством пневматических блоков (Рисунок 13) позволяет дифференцировать большее количество фракций на едином оптическо-механическом сепараторе. Будущее развитие оптических систем распознавания за мультиспектральным анализом, когда распознаются отходы одновременно по внешнему виду, по форме, по цвету и по химическому составу. Для быстрого определения состава уже применяются методы LIBS (лазерно-индуцированная эмиссионная спектроскопия), рентгеновские сканеры и технология ближней инфракрасной спектроскопии (NIR).

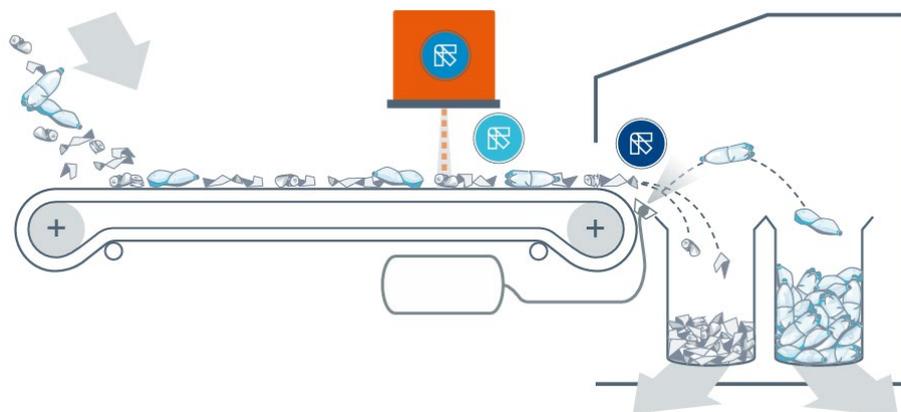


Рис. 13. Пневматический блок с множеством направляющих воздух трубок и схема принципа сортировки.

4.3. Гиперлокальный способ переработки пищевых отходов

Активисты экологического движения стремятся мотивировать общество к интеграции переработки пищевых отходов в ежедневные бытовые практики. Одной из предлагаемых инициатив является внедрение процесса гиперлокального компостирования органических материалов прямо на уровне домашней кухни. Для этого предполагается использование специализированных устройств, способных обезвоживать и измельчать отходы, что способствует сокращению их объёма и устранению неприятных запахов. На Рисунке 14 представлено такое устройство производства компании Mill (США). Компактные устройства для подавления запахов рассматриваются как услуга, способствующая привлечению тех отдельных лиц, которые до настоящего времени избегали хранения не переработанных пищевых отходов в домашних условиях.



Рис. 14. Домашний компостер - home food waste processor Mill

Процесс измельчения и обезвоживания позволяет сократить частоту уборки по сравнению с методом аккумуляции отходов в обычных контейнерах. Mill's обнаружил, что его устройства помогают среднестатистическому пользователю избежать 477 килограммов углекислого эквивалента ежегодно. Клиенты экономят достаточно углерода, чтобы компенсировать углеродный след своего устройства примерно за год. Mill спросил своих пользователей, как изменилось их поведение, чтобы сократить

количество пищевых отходов, и обнаружил, что 60,4% использовали еду по-другому, 49,8% изменили своё покупательское поведение и 46,7% хранили еду по-другому. В целом наблюдалось снижение количества выбрасываемой пищи в среднем примерно на 20%. Однако даже среди сторонников переработки органических отходов иногда возникают трудности в преодолении барьера, связанного с неудобством хранения, особенно для тех жителей, которые изъявляют желание уменьшить количество отходов, но не готовы регулярно иметь дело с необработанными пищевыми отходами у себя дома.

Важной составляющей успешной политики компостирования на месте является создание локальной инфраструктуры, что подразумевает наличие специальных компостных станций в разных районах, оснащённых системами аэрации для статического накопления, где возможна переработка до 20 000 тонн органических отходов в год. На Рисунке 15 совместный проект Compost Crew (D.C., Maryland) и Mill's по внедрению компостирования на кухне.



Рис. 15. Инфраструктура для внедрению компостирования на кухне

5. ФИЗИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ

Физические методы используют для создания условий упрощения последующих действий процесса переработки отходов, а также извлечения сырья, имеющего определённую ценность. Например, механически измельчённые части жёстких дисков компьютеров поступают на линии по извлечению из них золота, серебра и платины.

Оборудование и технологии по характерному признаку использования физического метода переработки можно разделить на 6 групп, которые представлены в Таблице 11

Таблица 11

Методы физического воздействия на отходы

№	Метод	Оборудование и реагенты
1	Воздействие силовых полей (гравитационного, центробежного, электрического, магнитного)	Отстойники
		Гидроциклоны
		Центрифуги
		Электроочистители
		Магнитные очистители
2	Фильтрование через пористые перегородки	Фильтры
		Фильтры-водоотделители
3	Теплофизические технологии (нагревание, выпаривание, водная промывка, атмосферная и вакуумная перегонка)	Испарители (дистилляторы)
4	Комбинированные технологии	Фильтры, магнитные фильтры, термомеханические разделители фаз
5	Дробление, измельчение	Ударные, ротационные, конусные, щечковые Бародеструкционная технология дробления изделий из резины Дробление при низкой температуре Истирание на абразивном круге
6	Метод повторного плавления	Технология литья под давлением Экструзия

5.1. Отстойники

Отстойный пруд, также известный как пруд-отстойник или прудковая зона, представляет собой водоём искусственного происхождения, созданный на территории намывного или наливного накопителя либо как автономное гидротехническое сооружение. Основное предназначение такого пруда — процесс естественного осветления воды, которая поступает в него в результате намыва или подачи пульпы — смеси воды с твердыми частицами взвешенных веществ. В прудах-отстойниках отходы, относящиеся к III, IV и V классам опасности по степени негативного воздействия на окружающую среду, подвергаются естественным процессам оседания. Эти отходы могут обладать различными агрегатными состояниями и физическими формами. К таким формам относятся:

- Жидкие отходы: водные растворы и эмульсии, содержащие взвешенные твердые частицы;
- Твердые отходы кусковой формы: отходы производства и потребления, сохраняющие свою первоначальную форму;
- Волокнистые отходы: текстильные, бумажные и другие волокнистые материалы;
- Твердые отходы в жидком состоянии: шламы и осадки, содержащие значительную долю взвешенной твердой фазы;
- Дисперсные системы: суспензии, гели и другие материалы с тонко диспергированными частицами;
- Сыпучие материалы: отходы, обладающие способностью к свободному пересыпанию;
- Пыль: продукты измельчения, дробления или иного воздействия на материалы, приводящего к образованию мелкодисперсной фракции;
- Опилки: отходы деревообработки.

Процессы, происходящие в отстойных прудах, способствуют уменьшению объёма отходов, поскольку принцип их действия основан на естественной седиментации и последующей декантации (отделении) осветленной жидкости от осадочного слоя. Важным аспектом является проектирование и эксплуатация пруда-отстойника в соответствии с экологическими стандартами и требованиями законодательства, чтобы минимизировать воздействие хранения отходов на окружающую среду. Правильное использование и об-

служивание таких сооружений позволяет сократить риски для экосистем и повышает эффективность обращения с отходами. Отстойники должны соответствовать следующим основным нормативным документам:

– СП 540.1325800.2024 Накопители жидких промышленных отходов. Основные положения проектирования.

– ГОСТ 5180 Грунты. Методы лабораторного определения физических характеристик.

– ГОСТ 12071 Грунты. Отбор, упаковка, транспортирование и хранение образцов

– ГОСТ 22644 Конвейеры ленточные. Основные параметры и размеры

– ГОСТ 25100-2020 Грунты. Классификация

– ГОСТ Р 54098 Ресурсосбережение. Вторичные материальные ресурсы. Термины и определения

– ГОСТ Р 56586 Геомембраны гидроизоляционные полиэтиленовые рулонные. Технические условия

– ГОСТ Р 57446 Наилучшие доступные технологии. Рекультивация нарушенных земель и земельных участков. Восстановление биологического разнообразия

– ГОСТ Р 59057 Охрана окружающей среды. Земли. Общие требования по рекультивации нарушенных земель

– ГОСТ Р 59060 Охрана окружающей среды. Земли. Классификация нарушенных земель в целях рекультивации

– СП 14.13330 "СНиП II-7-81* Строительство в сейсмических районах"

– СП 22.13330.2016 "СНиП 2.02.01-83* Основания зданий и сооружений"

– СП 23.13330 "СНиП 2.02.02-85* Основания гидротехнических сооружений"

На рисунке 16 представлены основные типы конструкций накопителей [13]. При эксплуатации промышленных накопителей жидких отходов важно соблюдать тщательный контроль за их содержимым и условиями работы, включая регулировку объёмов подаваемых жидкостей. В соответствии с технологической дисциплиной, запрещается подача воды, не предусмотренной технологическим циклом и режимом работы накопителя. Это требование действует на всех этапах эксплуатации накопителя, за исключением его начального пускового периода.

Армогрунтовые системы представляют собой конструкционные элементы, состоящие из геосинтетических материалов, таких как георешетки, геосетки и геокомпозиаты. Геосинтетики обычно изготавливаются из разных типов волокон, включая полиэфирные, базальтовые, полипропиленовые и полиэтиленовые. Эти материалы используют для укрепления грунтовых массивов и защиты склонов накопителей от эрозии, способствуя повышению их стабильности и надёжности.

Геосинтетические материалы (ГеоСМ) обеспечивают дополнительную механическую прочность ограждений, распределяя нагрузку и снижая давление на грунт. Они функционируют как армирующий слой, предотвращая образование трещин и разложение грунтовых массивов под воздействием внешних факторов, в том числе высоких гидродинамических нагрузок и колебаний уровня жидкости в накопителе.

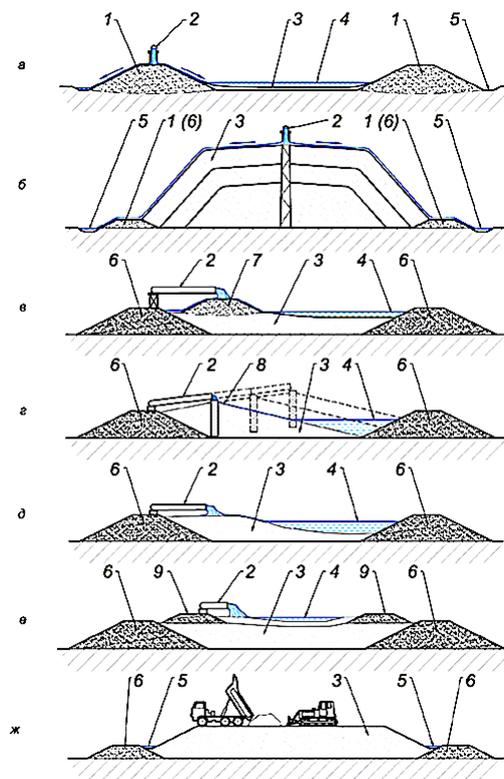


Рисунок 16 – Типы конструкций накопителей (в разрезе) [13]

Обозначения: 1 - намытая ограждающая дамба; 2 - пульповыпуск; 3- намываемые (отсыпаемые) отходы; 4 - отстойный пруд; 5 - водоотводная канава; 6 - насыпная ограждающая дамба; 7 - намываемый ярус наращивания ограждающей дамбы; 8 - намываемый конус; 9 - отсыпанный ярус наращивания ограждающей дамбы

5.2. Гидроциклоны

Гидроциклон — это высокоэффективное устройство, используемое для разделения суспензий на составляющие на основе различия в плотности их компонентов под воздействием центробежных сил. Наименование устройства происходит от греческих слов ὕδωρ, означающего "вода", и κικλῶν, переводимого как "вращающийся". Основное применение гидроциклона лежит в области горной промышленности, а именно для: - отшламливания, то есть удаления частиц глины и прочих мелкодисперсных отложений; - сгущения шламов и продуктов флотации, что позволяет увеличить концентрацию твёрдых частиц; - осветления процессных и оборотных вод, устраняя из них твёрдые примеси; - классификации рудной пульпы в процессе её тонкого измельчения; - обогащения тонких фракций угля и руд в водной среде; - работы с тяжёлыми суспензиями, используемыми при обогащении полезных ископаемых. Принцип действия устройства заключается в использовании центробежных сил для разделения частиц с различной плотностью. Суспензия вводится в гидроциклон под давлением, создавая вращательное движение жидкости внутри аппарата. При этом большие и более плотные частицы вытесняются к внешней стенке конуса гидроциклона и удаляются через нижний (апексный) выход, в то время как менее плотные компоненты, такие как вода, с ценными компонентами или без них, уносятся из центральной части конструкции через верхний (вортексный) выход.

5.3. Центрифуги

Центрифуга представляет собой устройство, применяемое для разделения гетерогенных смесей на различные компоненты или фракции с использованием центробежной силы. Центрифугирование основывается на принципе, согласно которому под влиянием интенсивного вращения частицы с разным удельным весом разделяются: более тяжёлые оседают на периферии, а более лёгкие собираются в центре.

Стиральная машина входит в категорию бытовых центрифуг, в которой центробежная сила используется для вытягивания воды из одежды в процессе отжима. Во время отжима, барабан стиральной машины вращается с высокой скоростью, заставляя воду, контактирующую с текстилем, перемещаться к стенкам барабана и оттуда - в сливной фильтр.

Наилучший результат по разделению фракций достигается с помощью, приведённой на Рисунке 17, осадительной центрифуги с горизонтальным ротором и шнековой выгрузкой осадка - декантерной центрифуги.



Рис. 17. Декантерная центрифуга

5.4. Дробление, измельчение

Переупаковка разнообразных материалов и их последующее повторное использование являются ключевыми элементами современной экологически ориентированной стратегии управления отходами. Стекло, картон, металлы и полимеры—все эти материалы подлежат переработке и превращению в новые изделия, при этом процесс рециклинга полимеров набирает особенную актуальность. Долгий период биологического разложения полимеров составляет серьезную угрозу для окружающей среды, однако их переработка позволяет получение вторичных гранул, снижающих издержки производства новых продуктов без ухудшения качественных характеристик.

Существует несколько типов оборудования для измельчения материалов, подлежащих переработке: дробилки, шредеры, мельницы, гильотины и ножницы. Выбор специфического оборудования для измельчения зависит от характеристик исходного материала, необходимости его инте-

грации в автоматизированную перерабатывающую линию, отведённого бюджета и доступного пространства на производственных площадях.

Сырьё, подвергаемое рециклингу, включает в себя производственные и складские отходы, а также бывшие в употреблении бытовые материалы. Процесс их переработки в первую очередь предполагает мойку и измельчение, которое осуществляется при помощи дробилок или шредеров. В некоторых случаях оборудование может использоваться последовательно: на первичном этапе применяется шредер для грубого измельчения, за которым следует дробилка, доводящая материал до требуемого размера.

Если дифференцировать шредеры и дробилки:

- Шредеры идеальны для предварительного измельчения и работы с крупными объемами твёрдых материалов.

- Дробилки наилучшим образом подходят для последующей обработки и получения конечного продукта с заданными параметрами частиц.

Шредеры классифицируются по количеству работающих в них роторов на одновальные, двухвальные и четырехвальные:

- Одновальные шредеры оснащены одним вращающимся валом с размещёнными на нем ножами. Пресс-пластина доставляет материал к лезвиям, в то время как сито регулирует размер получаемых фракций.

- Двухвальные шредеры работают с двумя валами с лезвиями, которые вращаются в противоположные стороны, позволяя более эффективно измельчать материал и подавать его в зазор между ножами.

- Четырехвальные шредеры имеют два основных и два дополнительных ротора, благодаря чему они подходят для обработки широкого спектра материалов, включая ПЭТ-бутылки и плёнки.

Таким образом, выбор устройства для измельчения зависит от множества факторов, и его необходимо осуществлять с учетом всех аспектов перерабатываемого материала и целей рециклинга.

На рисунках 18 и 19 представлены шредеры для древесины и ТКО производства «Экомашгруп».



Рис. 18. Шредер для древесины

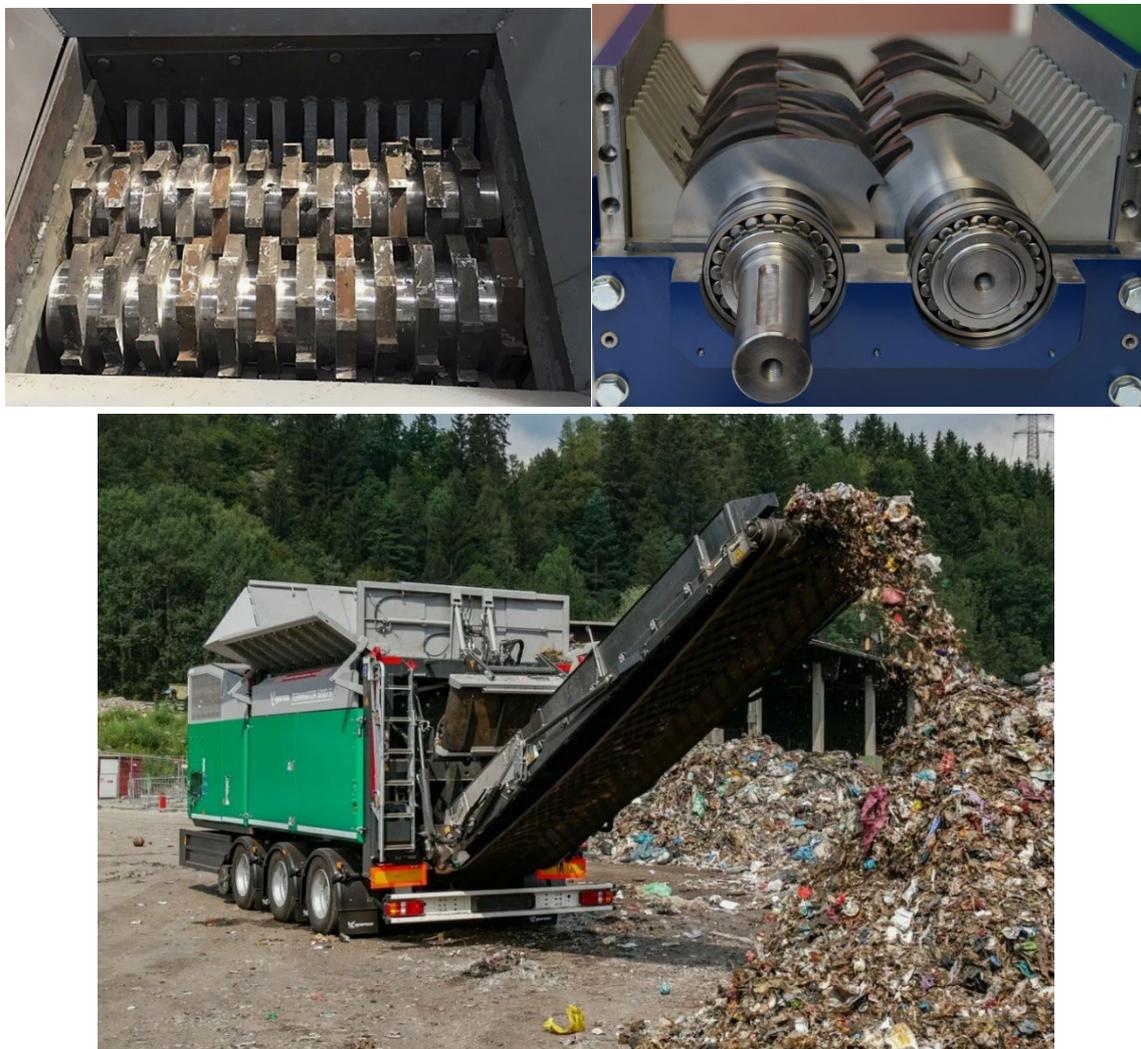


Рис. 19. Шредер для ТКО производства «Экомашгруп»

5.5. Комбинированные технологии

Комбинированные системы очень разные и в первую очередь применяются для сортировки мусора. Все мусоросортировочные заводы можно отнести к комбинированным системам. Основные производители в РФ:

За рубежом популярны малогабаритные системы. Например, Cleaning&recycling systems, производит полный комплекс качественного дробильно-сортировочного оборудования: мобильные и стационарные щековые, роторные и конусные дробилки для переработки бетона и железобетона, различных видов горных пород, асфальта, крупногабаритного строительного мусора; грохоты для сепарации первичной и вторичной сортировки материалов, качественного разделения продуктов дробления, производства щебня различной фракции; мобильные конвейеры перегружатели на гусеничном ходу для транспортировки и складирования различных материалов в отвалы.

- Измельчитель LITE CUTTER 40-85 на гусеничном ходу с дистанционным управлением и поворотной рамой.

- Электрическая молотковая дробилка MILL 40-30 с размером приёмного отверстия 400×300 мм. Величина крупности конечного материала дробления регулируется сменной колосниковой решёткой от 5 до 25 мм. Установка оснащена ленточным питателем с бункером и разгрузочным конвейером.

- Мобильный барабанный грохот TROMMEL 26 на базе двухосного полуприцепа (приведён на Рисунке 20). Специальная конструкция барабана даёт возможность получать до 3-х готовых фракций рассеиваемого материала, а ленточный питатель с бункером обеспечат равномерную непрерывную подачу материала в барабан грохота.



Рис. 20. Мобильный барабанный грохот TROMMEL
на базе двухосного полуприцепа

6. ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ

Физико-химические методы переработки подразделяются на две группы методов:

- Нетермические
- Термические

6.1. Не термические физико-химические методы переработки

В информационно-технологическом справочнике ИТС 15-2021 "Утилизация и обезвреживание отходов (кроме термических способов)" широко представлены альтернативные физико-химические, химические и биологические методы обработки отходов. Настоящее руководство исключает описание методов, основанных на термической обработке материалов, и фокусируется на не термических подходах к утилизации и обезвреживанию. Справочник охватывает целый спектр отходов различного происхождения и состава:

1. Отходы, содержащие органические соединения, для которых требуются специфические методы обезвреживания из-за опасности их термического разложения.

2. Нефтедержащие отходы, включая отработанные минеральные масла и отходы бурения. Эти материалы требуют особого внимания из-за рисков загрязнения окружающей среды.

3. Отходы электрического и электронного оборудования, состав которых может содержать тяжелые металлы и другие вредные вещества, что требует аккуратной переработки и утилизации.

4. Изделия из резины и пластмасс, которые часто являются устойчивыми к распаду материалами, из-за чего их обезвреживание и переработка представляют собой сложную задачу.

5. Отходы медицинские и биологические, представляющие собой серьезную угрозу заражения и требующие особой обработки для предотвращения распространения инфекций.

6. Категории, такие как отходы фильтров, автомобильные аккумуляторы, бытовые химикаты и пестициды, которые содержат вещества, опасные для окружающей среды и требующие особой осторожности при обезвреживании.

7. Отходы оборудования с озоноразрушающими веществами: ввиду их опасности для здоровья человека и воздействия на озоновый слой, эти отходы нуждаются в специализированных подходах к обработке и утилизации.

8. Шлаки, зола от сжигания угля и прочие продукты, образующиеся в ходе промышленных процессов и требующие надлежащей обработки.

9. Отходы металлообработки и гальванопроизводств, содержащие тяжелые металлы и другие токсичные элементы, утилизация которых должна проводиться с учетом возможности вторичного использования материалов.

Справочник является важным научным ресурсом, направленным на информирование специалистов о существующих не термических подходах к управлению отходами. Основные НДТ нетермического обезвреживания и утилизации отходов представлены в Таблице 12 НДТ [13].

Таблица 12

Основные НДТ нетермического обезвреживания и утилизации отходов [13].

Номер НДТ	Наименование НДТ
2.1	Обезвреживание нефтесодержащих отходов биоремедиацией
3.1	Утилизация оборудования, содержащего ртуть, с выделением вторичной ртути
3.2	Обезвреживание оборудования, содержащего ртуть, связыванием ртути в сульфидную форму
4.1	Утилизация изделий из резины, утративших потребительские свойства, в том числе резиновых шин, покрышек и камер, с применением механических методов
5.1	Утилизация изделий из полиэтилентерефталата, утративших потребительские свойства механическим методом
5.2	Утилизация отходов полимерных материалов с получением гранул
6.1	Утилизация электрического и электронного оборудования, утратившего потребительские свойства; отходов оборудования, содержащего озоноразрушающие вещества, предусматривающая тестирование компонентов оборудования
6.2	Утилизация отходов оборудования, содержащего озоноразрушающие вещества
6.3	Утилизация отходов оборудования, содержащего электронно-лучевые трубки
6.4	Утилизация электрического и электронного оборудования, утратившего потребительские свойства, при котором обеспечивается получение вторичного сырья по массе не менее 55% от массы отходов, прошедших разделку.
7.1	Обезвреживание медицинских отходов
8.1	Утилизация биологических отходов с получением кормовой добавки.
10.1	Утилизация автомобильных аккумуляторов, утративших потребительские свойства с получением вторичного сырья и товарной продукции
11.1	Утилизации батарей первичных и аккумуляторных, утративших потребительские свойства
11.2	Утилизации батарей первичных и аккумуляторных, утративших потребительские свойства
12.1	Утилизация фильтров и фильтровальных материалов, утративших потребительские свойства
14.1	Утилизация твердых коммунальных отходов (раздельно собранных органических биоразлагаемых отходов) с получением органических удобрений и биогаза
14.2	Утилизация твердых коммунальных отходов (раздельно собранных пищевых отходов) с получением органических продуктов (кормовые добавки, удобрение, биотопливо)
14.3	Утилизация твердых коммунальных отходов (раздельно собранной органической биоразлагаемой фракции или отсева сортировки) с получением компоста

НДТ 2.1 содержит подходы, связанные с биоремедиацией. Микроорганизмы обеспечивают деградацию остаточных отходов нефтепродуктов.

НДТ 3.1 и 3.2 описывают подходы к обращению с отходами, содержащими ртуть. Первый подход включает выделение вторичной ртути из отработанных продуктов, содержащих этот металл. Процесс этот осуществляется путём сбора и последующей очистки отходов, что способствует не только извлечению ртути для дальнейшего использования, но и обеспечивает защиту окружающей среды от опасных выбросов этого ядовитого вещества.

Второй подход рассматривает процессы нейтрализации ртути путем превращения её в более безопасные формы, например, в сульфид ртути (HgS). Сульфид ртути характеризуется низкой растворимостью в водной среде, что снижает его биодоступность и токсичность. Таким образом, этот подход позволяет существенно сократить экотоксикологический риск от отходов, содержащих ртуть, и делает их обращение безопаснее для окружающей среды и здоровья человека. Применение данных подходов требует тщательной разработки процессов, обучения персонала и ведения контроля за выполнением экологических стандартов, что является составной частью принципов НДТ.

НДТ 4.1 ориентирован на усовершенствование процедур получения из утилизируемой резины крошку различных фракций. Резиновая крошка обладает востребованными свойствами и может быть использована в строительстве, производстве спортивных покрытий, элементов дорожной инфраструктуры, иных изделий, где она заменяет первичное сырьё. Процесс переработки резиновых изделий предусматривает несколько ключевых этапов:

1. Первичная обработка, в которой происходит извлечение металлических и текстильных примесей.
2. Вторичное дробление, где резина измельчается до необходимой фракции.
3. Окончательная очистка полученной крошки от мелких металлических и текстильных элементов для дальнейшего использования.

НДТ 5.1 описывает процесс переработки ПЭТ-тары, потерявшей первичные потребительские свойства, включает механический способ обработки для превращения отходов в полезное вторичное сырьё, известное как ПЭТ-флекс. Определение и особенности такого рода переработки обусловлены необходимостью повторного использования полимерных материалов, минимизации отходов и сокращения негативного воздействия на окружающую среду. ПЭТ-флекс – это результат механической переработки первичных изделий из полиэтилентерефталата, который представляет собой измельчённые частицы полимера. После прохождения процесса измельчения, материал очищается от примесей и может быть повторно использован для производства новых ПЭТ-изделий, таких как упаковки для напитков, текстильные волокна, пищевые контейнеры и другие предметы. НДТ 5.1 ставит перед переработчиками конкретный задачу эффективности: от объёма исходных изделий, подлежащих переработке, подразумевается получение не менее 65% вторичного сырья. Такой количественный показатель служит гарантом экономической целесообразности и экологически благоприятного процесса утилизации отходов ПЭТ.

В рамках НДТ 5.2, процесс утилизации отходов изделий из полимеров, таких как полиэтилентерефталат (ПЭТ), полиэтилен низкого давления (ПНД), полиэтилен высокого давления (ПВД), полипропилен (ПП) и пенополистирол (ППС), направлен на получение вторичного полимерного сырья — гранул. Эти гранулы могут быть повторно использованы в производстве различных изделий, что помогает сократить потребление первичных ресурсов и разгрузить окружающую среду от полимерных отходов.

Оптимизация утилизационных процессов в соответствии с НДТ 5.2 направлена на получение экономически выгодной и экологически чистой продукции из полимеров. Это полиэтилентерефталат (ПЭТ), полиэтилен низкого давления (ПНД), полиэтилен высокого давления (ПВД), полипропилен (ПП) и пенополистирол (ППС). Согласно директивам НДТ 5.2, ключевым показателем эффективности процесса переработки является конверсия исходных отходов в гранулированное сырьё, при которой выход гранул составляет не менее 90% по массе переработанных отходов. Этот критерий подразумевает, что потери материала во время всего перерабатывающего цикла должны быть сведены к минимуму, что, в свою

очередь, подчёркивает необходимость внедрения эффективных технологий и строгого контроля качества на всех стадиях производства — начиная с предварительной подготовки материалов, включая их сортировку, измельчение и очистку, и заканчивая финальной грануляцией. Процесс утилизации и получения гранул из отходов полимеров включает в себя следующие основные этапы:

1. Сортировка отходов по типам полимеров, удаление загрязнений, металлических элементов и других примесей.

2. Дробление очищенных полимерных отходов до состояния фрагментов определённых размеров, так называемой дроблёнки или флейкс.

3. Мойка: очистка измельчённых полимерных отходов от загрязнений с использованием специальной водооборотной системы, позволяющей обеспечить высокую эффективность очистки при снижении потребления воды.

4. Высушивание: удаление воды с поверхности полимерных фрагментов для предотвращения снижения качества получаемой гранулы в дальнейшем процессе переработки.

5. Экструзия: процесс плавления и формирования из фрагментов полимера единой массы, которая затем проходит через шнековый экструдер для получения однородной расплавленной полимерной массы.

6. Грануляция: расплавленная полимерная масса выдавливается через фильеры (отверстия), резка на отрезки под действием ножей, охлаждается (часто в водной ванне) и превращается в гранулы.

7. Сушка гранул.

НДТ 6.1, 6.2, 6.3, и 6.4. описывает подходы утилизация электрического и электронного оборудования (ЭЭО) и нацелены на экологически безопасную обработку и максимально возможное извлечение ценных компонентов, а также на предотвращение попадания опасных веществ в окружающую среду, особенно озоноразрушающих. В соответствии с НДТ, процесс утилизации включает следующие этапы:

1. Предварительная сортировка входящего оборудования с определением его состояния. На этом этапе выделяется исправное оборудование, подлежащее восстановлению и последующему использованию, и неисправное, которое будет отправлено на разборку.

2. Тестирование оборудования. Электрическое и электронное оборудование подвергается проверке на работоспособность, при этом выявляются компоненты, которые все еще могут быть использованы по их первоначальному или альтернативному назначению.

3. Разборка оборудования с целью извлечения комплектующих. В ходе разборки осуществляется отделение ценных материалов и деталей, таких как металлы, пластмассы и редкоземельные элементы, которые могут быть повторно использованы или переработаны.

4. Особое внимание уделяется оборудованию, содержащему озоноразрушающие вещества (например, хладагенты в холодильниках). Такие компоненты требуют специализированного обращения с целью их безопасного извлечения и утилизации.

5. Обработка опасных веществ, извлеченных из оборудования. В эту категорию входят токсичные элементы, например ртуть, свинец, кадмий и другие вещества, которые часто содержатся в электронных приборах. Их необходимо изолировать и подвергнуть обезвреживанию в контролируемых условиях.

6. Утилизация или переработка вторичных компонентов. Металлические детали отправляются на металлургические предприятия, пластмассы — в компании по переработке пластиковых материалов, электронные платы могут подвергаться дополнительной обработке для извлечения драгоценных металлов.

НДТ охватывают процедуры и методологии, направленные на утилизацию широкого спектра электрического и электронного оборудования:

– Компьютеры и периферийное оборудование, включая настольные и портативные компьютеры, мониторы, принтеры, сканеры и др.;

– стационарные и мобильные телефоны

– электронная бытовая техника;

– Оптические приборы и фотографическое оборудование;

– газовые печи и обогреватели;

– холодильники, кондиционеры и системы вентиляции.

Процесс утилизации начинается с предварительного сортировочного этапа, на котором определяется техническое состояние оборудования и делается разделение на пригодное к дальнейшему использованию и подлежащее утилизации. Последующее тестирование и диагностика позволяют

более точно оценить функциональность отдельных элементов для их возможного восстановления и переиспользования или, при невозможности восстановления, предоставляют информацию о том, какие из компонентов могут быть выделены и переработаны отдельно. Ключевые моменты в манипуляциях с оборудованием, содержащим опасные и озоноразрушающие вещества, включают тщательный контроль и соблюдение процедур, направленных на предотвращение утечек и обеспечение безопасной обработки таких веществ. Специализированные методы их извлечения и нейтрализации должны проводиться квалифицированными специалистами в соблюдении всех действующих экологических норм и стандартов.

НДТ 7.1 посвящены методикам обезвреживания медицинских отходов классов Б и В. Эти классы отходов включают в себя материалы, которые могли быть в контакте с инфекционными агентами (класс Б) и материалы, представляющие опасность заражения при контакте (класс В). Обработка таких отходов требует тщательно продуманных и эффективных методов дезинфекции, с тем чтобы исключить риски для здоровья людей и окружающей среды. Данная технология предполагает следующие ключевые этапы:

1. Сортировка медицинских отходов: Первоначальная классификация материалов по категориям с учетом их физико-химических свойств и степени потенциальной опасности.

2. Предварительное измельчение: Понижение размеров отходов для облегчения и усиления эффекта микроволновой обработки.

3. Микроволновое излучение: Подвержение медицинских отходов воздействию микроволн с высокой температурой в специализированных установках, что ведет к разрушению всех микроорганизмов и вирусов.

4. Охлаждение и очистка: После обеззараживания обработанные отходы охлаждают и очищают от побочных продуктов микроволнового нагрева.

5. Выделение вторсырья: Отсортированные и обеззараженные материалы трансформируются в вторичное сырьё, пригодное для последующей переработки и повторного использования в целях производства.

Применение микроволновых технологий не только обеспечивает дезинфекцию медицинских отходов, но и предотвращает распространение опасных вирусов и бактерий, тем самым обезопасивая окружающую среду и здоровье человека. Кроме того, получение вторичных ресурсов из отхо-

дов ведет к снижению потребления первичных ресурсов и уменьшению объема отходов, подлежащих захоронению.

НДТ 8.1 содержит подходы утилизации биологических отходов методом сушки с получением продукции (кормовые добавки, удобрение, биотопливо).

НДТ 10.1 представляет собой комплекс подходов, направленных на утилизацию свинцово-кислотных аккумуляторов, которые утратили потребительские свойства, с целью получения вторичного сырья и товарной продукции. Важнейшей задачей данного процесса является обеспечение высокого уровня переработки компонентов аккумуляторов и преобразование их в ценные материалы:

1. Глубокая утилизация с эффективностью не менее 90%.

2. Получение высококачественного вторичного лома.

3. Одним из значимых результатов процесса является получение кристаллического сульфата натрия в качестве товарного продукта. Это вещество находит широкое применение в различных промышленных сферах, от производства стекла до синтеза моющих средств.

4. Также в процессе утилизации получается вторичный полимерный сырьё, а именно полипропилен.

Утилизация свинцово-кислотных аккумуляторов является экологически значимой задачей, так как свинец – это тяжелый металл, оказывающий токсическое воздействие на живые организмы и биосферу в целом. Процедура должна быть осуществлена с соблюдением всех необходимых мер предосторожности и стандартов безопасности. Процесс включает сегрегацию аккумуляторных батарей, механическую обработку для отделения свинца от других компонентов, очистку и подготовку свинца к дальнейшему применению, а также обработку пластмассовых и прочих несвинцовых компонентов с целью их переработки в вторичное сырьё.

В НДТ 11 регламентируются процессы утилизации батарей первичных и аккумуляторных, которые утратили свои потребительские свойства. Данные нормативы направлены на обеспечение экологически рационального управления и работы с отходами и включают в себя указания о минимальной глубине утилизации.

НДТ 11.1 определяет требования к утилизации аккумуляторных батарей. В соответствии с этим документом, процесс утилизации должен

обеспечивать переработку минимум 50% от общей массы поступивших на переработку отходов. Аспекты утилизации включают, но не ограничиваются следующими типами аккумуляторов [13]:

- Аккумуляторные батареи источников бесперебойного питания;
- Марганцово-цинковые и никель-металлгидридные источники тока;
- Отдельные никель-кадмиевые гальванические элементы;
- Компьютерные кислотные аккумуляторы;
- Стационарные свинцово-кислотные аккумуляторы;
- Аккумуляторы для портативной техники и свинцово-кислотные источники бесперебойного питания.

НДТ 11.2, в свою очередь, выдвигает требования к утилизации батарей первичных и аккумуляторных с достижением 75% глубины переработки от общей массы предоставленных отходов. Под это определение подпадают [13]:

- Литиевые тионилхлоридные источники тока;
- Первичные диоксидмарганцевые литиевые источники тока;
- Тепловые первичные литиевые источники тока;
- Литий-ионные аккумуляторы.

НДТ 12.1 описывает утилизацию фильтров и фильтровальных материалов, которые больше не могут использоваться по своему прямому назначению. Процесс утилизации фильтров подразумевает не только избавление от отходов, но и извлечение вторичных ресурсов, которые могут быть повторно использованы в производственной цепочке.

В рамках НДТ 12.1 предписываются следующие этапы утилизации:

1. Демонтаж отходов фильтров, в ходе которого проводится разборка устройства и удаление запасных частей, которые могут повторно использоваться или перерабатываться.

2. Разделение компонентов отходов на отдельные материальные потоки, в ходе которого извлекаются вторичные материальные ресурсы, такие как металлические части, фильтровальные материалы, пластики и резиновые элементы.

3. Переработка и утилизация извлечённых ресурсов, с целью их дальнейшего использования в различных отраслях промышленности, что способствует снижению потребности в первичных ресурсах и уменьшает нагрузку на природную среду.

Под утилизацию по НДТ 12.1 подпадают:

- Автомобильные масляные фильтры,
- Топливные фильтры,
- Воздушные фильтры,
- А также иные виды фильтров, аналогичные по конструкции с автомобильными.

Эти требования позволяющие обеспечивать обращение со специфическими отходами фильтров на основе установленных норм и принципов эффективности, экологичности и повышение коэффициента их вторичного использования и создание условий для развития циклической экономики. Процесс утилизация фильтров требует регламентации обязанностей относительно сбора, хранения и передачи отходов уполномоченным компаниям, специализирующимся на их переработке.

6.2. Термические методы переработки

Технологии утилизации и обезвреживания отходов, содержащих в своём составе органические вещества, *термическими способами* с деструкцией органических веществ представлены в справочнике ИТС 9-2020 «Утилизация и обезвреживание отходов термическими способами». создан как комплексный источник информации относительно технического и технологического прогресса в сфере утилизации и обезвреживания отходов. Документ структурирован на шесть разделов, которые охватывают все аспекты применения, преимуществ и проблем.

Раздел 1 ИТС 9-2020 содержит обобщённую информацию о состоянии технологий и оборудования для термической утилизации отходов и связанные с ними экологические проблемы.

Раздел 2 посвящён описанию типов реакторов, их преимуществ и ограничений.

В разделе 3 представлен анализ воздействия термических методов на окружающую среду, включая общие и специфические эмиссии, маркерные загрязняющие вещества и уровни их выбросов.

Раздел 4 описывает методологию определения и выбора НДТ для утилизации и обезвреживания отходов

В Разделе 5 приведено сжатое изложение технологий и показателей, которые позволяют добиться высокого уровня энергоэффективности.

Наконец, Раздел 6 ИТС 9-2020 посвящен новейшим технологическим разработкам в данной сфере, находящимся на стадии исследований, опытно-конструкторских работ или опытно-промышленных апробаций, с акцентом на их потенциальные достоинства и сложности, которые могут возникать в процессе практической реализации.

Дополнительно в приложении к справочнику приведены основные специализированные термины и определения, согласно ГОСТ Р 56828.15 "Наилучшие доступные технологии. Термины и определения", для обеспечения точного и однозначного понимания текста. Основной целью данного справочника является предоставление достоверного и актуального материала для специалистов, занимающихся вопросами утилизации и обезвреживания отходов.

Термическая переработка отходов — это технология, направленная на утилизацию и обезвреживание отходов путём разрушения содержащихся в них органических веществ с помощью высокотемпературного воздействия. Эффективность термической переработки обусловлена способностью данных методов преобразовать органические компоненты в менее опасные или более удобные для обращения формы. В числе основных способов термической переработки выделяют:

1. Сжигание отходов — окисление органического материала в присутствии кислорода. Это приводит к выделению тепла, двуокиси углерода, воды и золы. Процесс может использоваться для выработки электричества или тепла, однако требует тщательного контроля выбросов для предотвращения загрязнения воздуха вредными веществами.

2. Пиролиз — термохимическая деструкция органического материала при высокой температуре в отсутствие кислорода. Продукты пиролиза включают газ, жидкое топливо и твёрдый остаток (уголь), которые могут использоваться в качестве источников энергии или вторичного сырья.

3. Газификация — преобразование твёрдых органических материалов в горючий газовый продукт (синтез-газ), состоящий из угарного газа и водорода, обычно путём реагирования с кислородом и паром при высоких температурах. Получаемый газ можно использовать в качестве топлива или для получения химических веществ.

4. Плазменная обработка отходов — использование плазменных источников энергии для достижения чрезвычайно высоких температур, ко-

которые расщепляют молекулы органического материала до их элементарных компонентов. Метод может обрабатывать даже сложные и опасные отходы, превращая их в инертный шлак и синтез-газ.

5. Комбинированные методы — использование двух или более термических процессов последовательно или параллельно с целью повышения эффективности обезвреживания отходов и оптимизации их конечной утилизации.

Термическая утилизация подразумевает следующие процессы при высоких температурах:

- обезвреживание от бактерий и организмов;
- деструкция и разложение при пиролизе;

Пиролиз биомассы состоит из 4 основных этапов: выделение влаги, разложение гемицеллюлозы, целлюлозы и затем лигнина. Гемицеллюлоза, целлюлоза и лигнин являются биополимерами, которые образуют стенки растительных клеток. Помимо лигноцеллюлозных материалов, живые растения содержат значительные фракции белков, крахмалов, сахаров и липидов. При температурах ниже 180 °С биомасса в основном стабильна и пиролиза не происходит, но при температуре свыше 110 С происходит обеззараживание. Диапазон температур пиролиза гемицеллюлозы, целлюлозы и лигнина составляет: 180–240°С, 230–310°С и 300–400 °С соответственно.

Термическая утилизация отходов представляет собой перспективное направление в области управления и работы с отходами, акцентируя внимание на переработке газообразных, пастообразных, односоставных и в конечном итоге твёрдых отходов. Настраиваемый процесс пиролиза и сжигания позволяет не только сократить объёмы отходов, но и извлечь дополнительную тепловую энергию, что способствует решению проблемы ограниченности ресурсов полигонов захоронения.

В зависимости от температуры термического реактора различают три вида сухого пиролиза [14]:

- низкотемпературный пиролиз (450-550°С), при котором максимален выход жидких продуктов и твёрдого остатка (полукокса) и минимален выход пиролизного газа с максимальной теплотой сгорания;
- среднетемпературный пиролиз (до 800°С), при котором выход газа увеличивается при уменьшении его теплоты сгорания, а выход жидких продуктов и коксового остатка уменьшается;

- высокотемпературный пиролиз (900-1050°C), при котором минимален выход жидких продуктов и твёрдого остатка и максимален выход пиролизных газов с минимальной теплотой сгорания.

В таблице представлен результат деструкции RDF на установке флеш-пиролиза TOP-5 при разной температуре. Смесь газов продуктов разложения RDF является горючей. Имеет энергетическую ценность на уровне угля – 23 МДж/кг.

Таблица Результат деструкции RDF
на установке флеш-пиролиза TOP-5 при разной температуре

Название	Формула	650 °C	700 °C	750 °C
метан	CH ₄	36.16	34.69	38.62
этилен	C ₂ H ₄	10.20	7.81	7.82
этан	C ₂ H ₆	3.60	1.53	1.71
пропилен (CH ₂ =CH-CH ₃)	C ₃ H ₆	1.77	0.49	0.84
пропан	C ₃ H ₈	0.03	0.02	0.04
изобутан	i-C ₄ H ₁₀	0.24	0.05	0.11
бутан	n-C ₄ H ₁₀	0.01	0.00	0.00
изобутилен (CH ₃) ₂ C=CH ₂	i-C ₄ H ₈	0.00	0.00	0.11
бутилен	C ₄ H ₈	0.23	0.08	0.13
транс-бутен (trans-2-Butene)	t-C ₄ H ₈	0.03	0.01	0.01
цис-бутен (cis-2-Butylene)	c-C ₄ H ₈	0.02	0.00	0.01
изопентан (2-Methylbutane)	i-C ₅ H ₁₂	0.02	0.00	0.00
пентан	n-C ₅ H ₁₂	0.00	0.00	0.01
гексан	n-C ₆ H ₁₄	0.06	0.02	0.04
бензол	C ₆ H ₆	0.42	0.17	0.26
монооксид углерода	CO	13.51	17.96	16.12
диоксид углерода	CO ₂	12.68	16.47	13.31
Водород	H ₂	8.74	9.83	9.30
Азот	N ₂	11.79	10.88	11.60
Кислород	O ₂	<0.51	<0.51	<0.51
Оксид азота	NO	0.00	0.00	0.00
Оксид азота	NO ₂	0.00	0.00	0.00
Оксид серы	SO ₂	0.00	0.00	0.00
Средняя молекулярная масса	M _{ср}	24.4	24.3	23.5
Низшая теплота сгорания,	МДж/кг	25	21	23
Низшая теплота сгорания,	МДж/м ³	25	21	22

Сложными и дорогими, но перспективными являются реакторы замкнутого типа. Пиролиз в этом случае может осуществляться вместе с различными наполнителями и катализаторами. Например, в КБГУ испытали

термическое разложение измельчённого пластика в нитратно-щелочной среде. При высокой температуре образуется расплав в уоторм протекают экзотермические реакции. Токсичные вещества образуют безвредные соли, а углерод и водород преобразуется в горючий коксовый остаток.

Перед началом термической обработки отходов необходимо провести анализ их состава и свойств, что помогает определить подходящую группу отходов для утилизации. Такой анализ важен для идентификации опасных компонентов, в частности радиоактивных или токсичных веществ, которые требуют особой предварительной подготовки и условий обработки. Следует учитывать, что:

1. Утилизация газообразных отходов часто использует методы очистки и последующего сжигания, что обеспечивает снижение вредных выбросов.

2. Пастообразные и односоставные отходы могут быть подвергнуты непосредственной термической обработке благодаря однородности их состава, облегчая процесс сжигания.

3. В отношении твердых отходов, иногда требуется проведение предварительной сортировки и разделения в целях отсеивания вторичных материалов, подлежащих вторичному использованию, и определения фракций, пригодных для сжигания.

4. С точки зрения экологии, особое внимание уделяется мерам по контролю за выбросами за счёт интеграции систем фильтрации и очистки в процедуры термической переработки.

Вопрос эффективности сжигания отходов по сравнению с их захоронением активно обсуждается в контексте экономической и экологической устойчивости. Сжигание может представлять собой технологически продвинутый способ уменьшения объёма отходов и производства энергии, однако оно сопровождается риском образования опасных продуктов сгорания.

С экологической точки зрения, сжигание, несомненно, уменьшает объём захораниваемых отходов и продлевает срок службы полигонов. Тем не менее, процесс сжигания может приводить к выделению целого спектра загрязняющих веществ, включая диоксины, фураны и тяжелые металлы, которые могут оказывать негативное воздействие на окружающую среду и здоровье людей.

В России, как и во многих других странах, регуляторная политика в отношении МСЗ предполагает постепенное ужесточение экологических норм и стандартов. Развитие технологий очистки дымовых газов позволяет снижать уровень вредных эмиссий и делает сжигание более экологичным. При этом постоянный мониторинг и введение новых ограничений для определенных видов загрязнителей, как полихлорированных бифенилов (ПХБ), является ключевым элементом в управлении рисками для окружающей среды.

Таким образом, выбор между захоронением и сжиганием отходов зависит от комплексного рассмотрения экономических факторов, экологической безопасности, технологических возможностей, а также нормативно-правовой базы. Современная тенденция отражает переход к интегрированным системам управления и работы с отходами, предусматривающим сортировку, переработку и утилизацию отходов с целью максимального извлечения полезных ресурсов и минимизации воздействия на окружающую среду. Эта стратегия соответствует принципам устойчивого развития и циркулярной экономики. В Новосибирске оценки проводились в 2014 году Огневыми технологиями.

Задача сокращения отрицательного воздействия твёрдых коммунальных отходов на экологию является актуальной на международном уровне. В Европейском Союзе и Соединённых Штатах проводятся масштабные исследования с целью научного сопоставления различных способов утилизации отходов. В рамках исследования, инициированного федеральными службами здравоохранения и охраны окружающей среды, было произведено экспериментальное изучение и сравнение процессов открытого сжигания ТКО на свалках и сжигания в специализированных мусоросжигательных заводах (МСЗ). Результаты показали огромную разницу в эмиссиях вредных веществ между данными методами. Открытое сжигание несортированных отходов приводит к катастрофически высокому уровню выбросов полихлорированных диоксинов и фуранов, который в 23 тысячи раз выше, чем выбросы от сжигания на МСЗ. Для летучих органических соединений эта цифра достигает 1.5 миллиона раз. Плохо контролируемое или неконтролируемое открытое сжигание сортированных отходов, таких как пластик, резина и некоторые виды текстиля, из-за неполного сгорания

приводит к образованию вредных загрязнителей воздуха, включая мелкие частицы, полициклические ароматические углеводороды, тяжелые металлы и диоксины. В итоге, данные многих экспериментов и исследований подтверждают, что сжигание ТКО на мусоросжигательных заводах с современными системами контроля выбросов является более предпочтительным методом утилизации по сравнению с открытым сжиганием и захоронением. Это также подчёркивает необходимость продолжения развития и улучшения систем очистки отходов, а также более широкого внедрения процессов отдельного сбора и сортировки отходов, что уменьшает негативное воздействие на экологию и способствует устойчивому развитию.

Диоксины являются полуплетучими органическими загрязнителями, которые относятся к категории стойких органических загрязнителей. Эти химические вещества имеют длительный период полураспада, что позволяет им перемещаться на большие расстояния и накапливаться в высоких концентрациях в различных средах. Концентрации диоксинов и диоксиноподобных соединений в окружающей среде становятся все более важными из-за их канцерогенного воздействия на людей и животных, а также из-за ущерба, который они наносят репродуктивной и эндокринной системам.

Создание МСЗ с многоступенчатыми системами сжигания, дожига и очистки позволяет минимизировать выбросы в атмосферу вредных соединений. Такие технологии включают в себя использование фильтров и других методов очистки дымовых газов, что обеспечивает значительное снижение уровня токсичных веществ.

В последнее время получило развитие тема уничтожения на МСЗ «вечных химикатов» PFAS - это фторированные углеводороды, которые не разлагаются на более простые молекулы в естественных условиях и могут накапливаться в сельскохозяйственных растениях, в почве, воде и даже живых организмах. В случае попадания этих веществ внутрь человека повышается риск раковых заболеваний и бесплодия. Особое внимание учёными уделяется трифторуксусной кислоте (ТФА). Она попадает в окружающую среду через промышленное производство, а также утечки холодильных агентов, используемых в системах охлаждения и кондиционирования для переноса тепла, распад некоторых пестицидов и даже из-за применения анестетиков (лекарственные препараты). Содержание ТФА в листьях деревьев Германии за последние 10 лет выросло в 5-10 раз. Ее

также все чаще в последнее время можно найти в арктических ледяных ядрах, грунтовых водах Дании и реках Европы. Пожарные при тушении некоторых типов очагов горения пользуются водной пленкообразующей пеной с высоким содержанием PFAS.

Мониторингу за выбросами PFAS и содержанию в питьевой воде подлежат 6 видов пер- и полифторалкильных веществ: PFHxS, PFNA, PFBS, HFPO-DA, PFOA и PFOS, а также и GenX. Обязательные максимальные уровни загрязняющих веществ для PFOA и PFOS составляют 4 части на триллион. Агентство по охране окружающей среды США в 2025 году опубликовало результаты исследования, проведенного совместно с МСЗ «Чистые гавани» в штате Юта по вопросу об эффективности уничтожения PFAS. Это важно, поскольку неполное уничтожение PFAS, иногда создаёт короткоцепочечные химические вещества, которые все ещё могут представлять опасность для здоровья. Испытание на МСЗ показало, что современная мусоросжигательная установка смогла достичь эффективности уничтожения от 99,95% до 99,9999% для девяти химических веществ PFAS.

На примере мусоросжигательного завода «Квант», расположенного в р.п. Коченево Новосибирской области, можно рассмотреть эффективность трёхступенчатой технологии переработки медицинских отходов. Этот завод осуществляет нетоксичное уничтожение медицинских отходов с высоким уровнем безопасности для окружающей среды.

Рассматривая цикл захоронения отходов на полигонах, становится очевидной их отрицательная рентабельность, вызванная высокими эксплуатационными расходами и потребностью в больших земельных участках. Напротив, процессы сортировки и сжигания, осуществляемые на специализированных предприятиях, демонстрируют положительную рентабельность за счёт восстановления ресурсов и производства энергии. Из промышленных твёрдых отходов возможно извлечь и вторично использовать до 80% полезных компонентов, в то время как доля перерабатываемых компонентов из бытового мусора не превышает 15%. Глубокое прессование оставшихся отходов дополнительно снижает их объём перед сжиганием. Среди компонентов, идущих на утилизацию, выделяются бумага, картон, полимеры, черные и цветные металлы, стекло.

Углеводородные фракции способны при сжигании генерировать до 3.5 Гкалорий тепла на тонну отходов или 1.75 Гкал/т в форме горячего па-

ра или воды. При средней стоимости тепловой энергии в Новосибирске, равной 1600 рублям за Гкалорию, доходность от продажи тепла может составить около 4000 рублей на тонну утилизируемых отходов. Переработка горячего пара в электроэнергию проводится с КПД около 30%, что означает производство примерно 0.5 МВт*ч электричества на тонну отходов. Если учесть стоимость вторсырья, например, бумаги и картона, которая может достигать 8 тыс. рублей, то доход от продажи переработанных материалов ещё более повышает общую рентабельность.

Трёхступенчатая технология обработки отходов включает сортировку, подготовку и сжигание отходов. Это позволяет не только уменьшить объёмы захоронения, но и существенно снизить количество вредных выбросов в атмосферу, а также сохранить земельные ресурсы для природопользования.

Нестандартное оборудование для обезвреживания отходов, разработанное ООО «Огневая технология»

1. Установки для термического обезвреживания твердых и пастообразных отходов с добавлением жидких отходов производительностью от 100 до 5000 кг/ч. Разработаны агрегаты сжигания твердых отходов с использованием специальных вращающихся печей барабанного типа. (Рисунок 21)



Рис. 21. Установки для термического обезвреживания твердых и пастообразных отходов с добавлением жидких отходов производительностью от 100 до 5000 кг/ч.

2. Комбинированные установки для термического обезвреживания жидких и твердых отходов производительностью от 50 до 500 кг/ч. Для

одновременного обезвреживания твердых и жидких отходов разработан ряд камерных печей, оборудованных вихревыми дожигателями дымовых газов. (Рисунок 22)

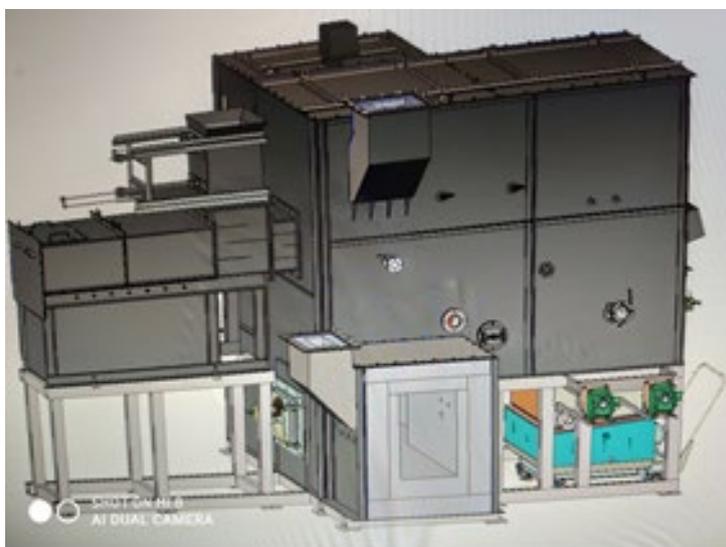


Рис. 22. Комбинированная установка «Спецзавод Квант». р.п. Коченево. ТКО и медицинские отходы.

3. Для обезвреживания газовых выбросов, содержащих органические вещества с концентрацией не более 10 г/м³. разработан дожигатель газов регенеративный – ДГР (Рисунок 23).



Рис. 23. Дожигатель газов регенеративный (г. Ульяновск).

4. Дожигатели газов для обезвреживания газовых выбросов, содержащих органические вещества более 10 г/м^3 , производительностью от 500 до $50000 \text{ м}^3/\text{ч}$ (Рисунок 24).



Рис. 24. Камера сгорания дожигателя газов.

Термическому обезвреживанию подлежат все твердые коммунальные и промышленные отходы после их сортировки.

Также термическому обезвреживанию подлежат медицинские отходы. Отходы классов Г и Д обезвреживаются по специальной технологии.

В основу термического (огневого) метода положен процесс высокотемпературного разложения и окисления токсичных компонентов отходов с образованием практически нетоксичных или малотоксичных дымовых газов и золы. В зависимости от химического состава отходов, дымовые газы могут содержать оксиды серы, азота, хлористый водород. В процессе очистки дымовых газов можно получить соляную, серную кислоты; соли щелочных и щелочноземельных металлов. При разработке технологических процессов производится исследование составов отходов и их физико-химические свойства.

Для обеспечения высокой эффективности обеззараживания процесс сжигания отходов осуществляется в две стадии:

- Озольнение в камере сгорания
- Дожигание дымовых газов в вихревом дожигателе

Для достижения требуемой санитарно-гигиенической полноты обезвреживания отходов при отработке технологии необходимо определять основные условия проведения процесса:

- Температурный уровень процесса не менее 850 °С в камере сгорания
- Температурный уровень процесса в камере дожигания 1100...1250 °С
- Время пребывания газов в установке при температуре не менее 850 °С – более 2 с
- Эффективное перемешивание отходов и газов
- Коэффициент избытка/недостатка воздуха
- Равномерность подачи компонентов горения (отходов, топлива, воздуха)
- Работа установок под разрежением

В каждой технологической линии предусматривается специальная система очистки дымовых газов. В результате такой очистки выходящие в атмосферу дымовые газы по составу выбросов загрязняющих веществ должны соответствовать нормативному документу в области охраны окружающей среды «Технологические показатели наилучших доступных технологий обезвреживания отходов термическим методом (сжигание отходов)» (Приказ Минприроды России от 34.04.2019 № 270). Наименование и нормативные количества представлены в Таблице 13.

Таблица 13

Основные выбросы и их нормативное количество в мг/м³

Наименование	Количество
Азота оксид (NO) Азота диоксид(NO ₂)	Суммарно ≤ 200
Серы диоксид (SO ₂)	≤ 50
Углерода оксид (CO)	≤ 50
Углероды предельные C ₁₂ -C ₁₉ (С орган. сажа)	≤ 10
Взвешенные вещества (пыль)	≤ 10
Бензапирен (C ₂₀ H ₁₂)	≤ 0,001
Хлористый водород (HCl)	≤ 10
Фтористый водород (HF), растворимые фториды (NaF)	≤ 1,0
Диоксины (полихлорированные дибензо-п-диоксины и дибензофураны) в пересчете на 2,3.7.8-тетрахлордибензо-1,4-диоксин	≤ 0,1
Соединения ртути	≤ 0,05
Соединения кадмия	≤ 0,05
Соединения бария, кобальта, никеля, меди, свинца, Хром (Cr ₆₊)	Суммарно ≤ 0,5

Термическая переработка охватывает различные типы отходов, в том числе твёрдые, пастообразные и жидкие, каждый из которых требует спе-

цифических условий для эффективной утилизации. Основные компоненты технологии термической переработки включают:

1. Блок подготовки отходов, в задачи которого входит сортировка, измельчение и возможная дегидратация или дезактивация определённых компонентов.

2. Блок термической обработки - сердце процесса, где отходы подвергаются сжиганию, пиролизу, или газификации. Способ зависит от характеристики отходов и желаемого результата переработки.

3. Блок теплоиспользования где выделяемое тепло может быть использовано для производства электроэнергии или теплоснабжения, повышая тем самым энергетическую эффективность процесса.

4. Блок получения органических продуктов, таких как синтез-газ, жидкое топливо, кокс, в результате реакций разложения органических материалов.

5. Блок получения минеральных продуктов, в который включены процедуры извлечения материалов, таких как керамика, цемент, или даже металлы для их дальнейшего использования.

6. Блок многоступенчатой очистки отходящих газов, обеспечивающий соответствие выбросов установленным экологическим стандартам и их безопасный выброс в атмосферу.

Технологические расчеты для процесса обезвреживания отходов требуют подробных, точных физико-химических данных по отходам. Такие данные учитывают как количественные так и качественные характеристики отходов, что позволяет оптимизировать условия сжигания и необходимые параметры для улавливающих систем, оборудования для обезвреживания и т.д.

Последовательность технологических расчетов предусматривает:

1. Анализ исходных данных по отходам.

2. Определение необходимого количества воздуха для горения с неполным сгоранием.

3. Формирование компонентного состава дымовых газов после неполного сгорания.

4. Вычисление воздуха для горения добавочного топлива.

5. Определение состава дымовых газов после сгорания добавочного топлива.

6. Вычисление компонентного состава газов на выходе из сгорательной камеры.
7. Расчет теплового баланса сгорательной камеры.
8. Подбор подходящей горелки для сгорательной камеры.
9. Расчет теплового баланса для дожигателя.
10. Подбор горелки для дожигателя.
11. Вычисление условий для нейтрализации в скруббере.
12. Тепловой расчет скруббера и определение потребности в охлаждающей воде.
13. Составление аэродинамической схемы и подбор оборудования.

Разработка технологической схемы и конструкторской документации на нестандартное оборудование, как и сама технология переработки, требует высокой квалификации специалистов и тесного взаимодействия между разработчиками процесса, конструкторами и эксплуатирующими организациями.

Учитывая, что существующая практика захоронения отходов на полигонах имеет ограничения по срокам службы, становится актуальной задача модернизации управления и работы с отходами. Интеграция термической утилизации отходов в систему обработки может способствовать продлению срока эксплуатации полигонов, снижению воздействия на окружающую среду и обеспечению более целесообразного использования возобновляемых ресурсов.

Сегодня одной из главных задач в области управления отходами является переход от традиционных методов захоронения к активному внедрению новых технологий переработки. Это важно для создания замкнутого цикла производства, в котором отходы преобразуются в полезные источники энергии и материалы, вновь вступающие в экономический оборот.

6.3. Классификация отходов для термической утилизации

Источники образования отходов, содержащих органические компоненты, включают в себя множество секторов. К ним относятся бытовая деятельность населения, промышленные процессы и функционирование административно-хозяйственных структур. Примеры таких отходов могут быть очень разнообразными и обладать различными характеристиками как по составу, так и по степени опасности. К категориям отходов, содержащих органические вещества, относят:

– Твёрдые коммунальные отходы, образующиеся в результате повседневной активности населения и представляющие собой смешанный мусор различного происхождения.

– Медицинские отходы, включающие использованные медицинские изделия, фармацевтика, просроченные лекарства, биологически опасные материалы.

– Биологические отходы, которые являются результатом сельскохозяйственной деятельности и обработки пищевых продуктов.

– Загрязнённые органическими веществами грунты, возникающие в результате аварийных разливов нефти или химических удобрений, а также в результате других промышленных процессов.

– Пришедшие в негодность и запрещённые пестициды, которые опасны для окружающей среды и здоровья человека.

– Стойкие органические загрязнители, к числу которых относятся полихлорированные бифенилы, накапливающиеся в экосистеме и оказывающие негативное влияние на здоровье.

– Нефтешламы, отходы добычи и переработки нефти, содержащие токсичные нефтепродукты и тяжёлые металлы.

– Отходы хлорорганических производств, которые образуются в химической промышленности и требуют особого подхода к утилизации из-за их высокой токсичности.

– Отходы производства минеральных удобрений и химических средств защиты растений, которые могут содержать вредные компоненты, требующие надёжной и безопасной обработки.

– Отходы производства органического синтеза, такие как кислоты, альдегиды, кетоны, спирты и другие, образующиеся на химических заводах.

– Некондиционное ракетное топливо, представляющее собой серьёзную угрозу из-за взрывоопасности и токсичности.

– Осадки сточных вод, которые собираются на очистных сооружениях и содержат различные загрязнители, в том числе органику.

В зависимости от характеристик и класса опасности отходов выбираются соответствующие технологии и оборудование для их термической утилизации. Важно учитывать физико-химические свойства, состав, объем и частоту поступления отходов для эффективного и безопасного процесса обезвреживания с минимальным воздействием на окружающую среду.

Классификация отходов, утилизируемые термическими методами, структурирована по различным параметрам и включает семь основных критериев.

1) Агрегатное состояние и физическая форма. В соответствии с Федеральным каталогом отходов, приказом Росприроднадзора № 242 от 22 мая 2017 года, они подразделяются на жидкие (код 10), различные формы твёрдых (коды 20-29), дисперсные системы (коды 30-39), твёрдые сыпучие (коды 40-49), твёрдые изделия, кроме волокон (коды 50-59), волоконные (коды 60-69) и смеси твёрдых материалов и изделий (коды 70-79).

2) Горючесть. Отходы делятся на негорючие, которые не поддаются горению; трудногорючие, способные поддерживать горение только при наличии источника зажигания; и горючие, которые могут самовозгораться и гореть самостоятельно.

3) Химический состав продуктов:

- Отходы 1-й группы образуют при сгорании неопасные газы (CO_2 , H_2O , N_2).

- Во 2-й группе содержатся соединения азота, приводящие к формированию NO_x .

- 3-я группа содержит элементы S, P, Cl, F, с образованием оксидов и кислот (например, SO_2 , HCl , P_4O_{10} , HF).

- Отходы 4-й группы приводят к формированию неорганических солей хлориды, сульфаты, фосфаты (NaCl , Na_2SO_4 , $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$, Na_2CO_3 , KCl).

- Отходы 5-й группы содержат металлы и их соединения, приводящие к образованию оксидов металлов (CuO , Cu_2O , TiO_2 , NiO , ZnO , F_2O_3 , Cr_2O_3 , HgO , As_2O_3). Эти категории отходов требуют разнообразных подходов к сжиганию и очистке выхлопных газов, так как продукты их сгорания могут иметь различный уровень токсичности и экологической опасности.

4) Системы газоочистки дифференцируют промышленные выбросы на основе применяемого типа химического нейтрализатора. В соответствии с этим, можно выделить четыре категории:

– Отходы первой категории утилизируются и обезвреживаются с помощью щелочных веществ, таких как гидроксид натрия (NaOH) и гидроксид калия (KOH) а также Na_2CO_3 и K_2CO_3 . Эти химические вещества наиболее активны в условиях повышенных температур, что способствует протеканию газофазных нейтрализующих реакций.

– Вторая группа отходов обрабатывается с применением соединений щёлочноземельных металлов, например, оксида кальция (CaO). Они эффективны при более низких температурах и используются для инициирования гетерогенных реакций нейтрализации.

– Третья категория включает отходы, для нейтрализации которых подходят как щелочные, так и щелочноземельные соединения, обеспечивая гибкость в выборе подходящего реагента.

– Четвертая группа охватывает те типы отходов, утилизация и обезвреживание которых не требуют применения нейтрализующих химических веществ. Эта классификация способствует более целенаправленному выбору методов обработки промышленных выбросов и минимизации их воздействия на окружающую среду.

5) Органические примеси в отходах классифицируют по степени их летучести на четыре главные категории. Для оценки летучести анализируют соотношение точки кипения вещества и температуры равновесного испарения воды при её распылении и контактировании с отходящими газами либо с температурой кипения воды в условиях атмосферного давления. В связи с уровнем летучести вещества из отходов подразделяют на следующие группы: легколетучие, летучие, малолетучие и нелетучие, которые могут пребывать в жидкой или твёрдой формах остатка.

Критерии выделения групп следующие: к легколетучим причисляются вещества, точка кипения которых не превышает 85°C. Вещества, чья температура кипения ограничивается диапазоном от 85°C до 100°C, относят к летучим. Малолетучие включают в себя соединения, кипящие при температуре выше 200°C. Наконец, к нелетучим относят те вещества, что характеризуются незначительным или нулевым испарением при обычных условиях.

6) Минеральные продукты:

– отходы с температурой начала спекания золы больше, чем температура процесса утилизации;

– отходы с температурой начала спекания золы равной температуре процесса утилизации;

– отходы с температурой начала спекания золы меньшей температуры процесса утилизации.

7) Минеральные продукты процесса термической деструкции отходов по свойству возгонки подразделяются на три типа: полностью возгоняющиеся вещества, частично возгоняющиеся вещества и не возгоняющиеся вещества.

7. БИОЛОГИЧЕСКИЕ И ХИМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ

Процесс химической обработки способен обезвреживать и удалять опасные органические и неорганические соединения, такие как токсичные кислоты, щёлочи, тяжёлые металлы, а также различные соли и осадки. Ключевые операции включают в себя смешивание реагентов с целью нейтрализации или коагуляции загрязнителей, осаждение и отделение образующихся осадков, а также эмульгирование, при котором происходит разделение органических компонентов от водной фазы.

Этапы химической обработки могут затрагивать адсорбцию, где вещества связываются с твёрдым носителем, и флокуляцию, при которой происходит объединение частиц загрязнителей в более крупные агрегаты, удобные для последующего удаления. Применение детоксикации помогает обезвредить опасные компоненты, делая их менее токсичными или полностью их устраняя.

Выбор конкретных методов химической очистки определяется особенностями и составом обрабатываемого потока отходов. Кроме этого, существенную роль играет требуемое качество очищенных водных ресурсов, которое должно соответствовать установленным нормативам и параметрам безопасности для окружающей среды и здоровья человека.

Важным аспектом химической обработки является аналитический контроль, который позволяет точно определить количественный и качественный состав отходов, оптимизировать дозирование реагентов и эффективно управлять процессом очистки. Помимо удаления загрязнителей, современные подходы направлены на восстановление и повторное использование отдельных компонентов.

В этой главе рассматриваются вопросы:

- Загрязнение и очистки воды
- Загрязнения и обезвреживания почвы
- Биохимическая утилизация и компостирование
- Биогазовые технологии

7.1. Загрязнение и очистка воды

Пресная вода является неотъемлемым ресурсом для жизнедеятельности человека, обеспечивая жизненно важные потребности в сферах промышленности, сельского хозяйства и быта. В свете этого, проблематика сохранения и рационального использования пресных водных ресурсов получает всё большую актуальность. Растущее внимание к вопросу охраны вод обусловлено повышением уровня их загрязнения, что тревожит даже те регионы, которые отличаются благоприятным обводнением, такие как Томская, Иркутская, Челябинская и Новосибирская области.

Различные сферы использования воды, от производственных процессов до бытовых нужд, способствуют попаданию в водную среду множества загрязняющих веществ, которые могут иметь разнообразную природу и происхождение. Такие загрязнители могут включать в себя нефтепродукты, пестициды, тяжелые металлы, органические соединения, нитраты, фосфаты и многочисленные другие химические и биологические элементы. Чтобы эффективно справляться с проблемой загрязнения водных ресурсов необходимо проводить анализ и классификацию загрязнителей, что служит отправной точкой для выбора подходящих методов очистки. Классификация производится по следующим параметрам примесей:

- по крупности (грубодисперсные, коллоиднодисперсные и молекулярно-дисперсные)
- молекулярно - дисперсные подразделяются на хорошо растворимые и трудно растворимые;
- загрязнители кислотного и щелочного характера;
- неорганические и органические.

Классификация загрязняющих веществ позволяет:

1. Определить степень воздействия на экосистему и возможные пути биологического разложения или накопления веществ в окружающей среде.
2. Выбрать наиболее соответствующий и эффективный метод очистных работ, который может включать физическую, химическую или биологическую очистку.

3. Обеспечить мониторинг и контроль качества воды, предопределяя показатели чистоты основываясь на классификации и концентрации отдельных загрязнителей.

4. Реализовать средства и способы утилизации загрязненной воды, сокращая попадание вредных веществ обратно в природные водоёмы.

Ключевым аспектом в обеспечении сохранения чистоты пресной воды выступает её рациональное использование и повторное применение уже используемой воды в тех случаях, где это возможно. Это может включать в себя меры по снижению водопотребления, использование технологий замкнутого водоснабжения в промышленных процессах, повторное использование обработанной воды для технических целей, накопление и перераспределение стоков, а также внедрение современных водоочистных технологий на производствах и в коммунальном секторе.

Наибольшее внимание в нормативных документах направлено на необходимость утилизации сточных вод, т.е, воды, побывавшей в употреблении и получившей загрязнения.

Прежде всего, вода очищается от механических примесей.

Крупные – грубодисперсные примеси удаляются отстаиванием в специальных ёмкостях; следующий этап – фильтрация. Очищаемая вода пропускается через слой песка. измельчённого кварца или мрамора.

Более мелкие, коллоидные, частицы устраняются коагуляцией, т.е. их слипанием друг с другом и превращением в более крупные, которые постепенно выпадают в осадок под действием собственной тяжести. Чтобы процесс коагуляции происходил, надо посторонним электролитом удалить одноименные заряды коллоидных частиц, которые не позволяют им слипаться.

Вода, загрязнённая хроматами, амфотерными металлами, такими как свинец и цинк, и отходы с некоторым количеством растворимых солей нуждаются в предварительной обработке перед тем, как они подвергаются процессу иммобилизации («неподвижности»). Эта предварительная обработка даёт возможность перерабатывать летучую золу и соли, появляющиеся при удалении хлора из дымовых газов от сжигания бытовых отходов. Это можно также применять для летучей золы, появляющейся как от очистки дымовых газов, так и для очистки бикарбонатом натрия. В последнем случае (бикарбонат натрия) распадается на растворимые и нерас-

творимые твёрдые компоненты, и снижается количество отходов для размещения на полигонах за счёт рециклинга растворимых солей для производства карбоната натрия.

Утилизация сточной воды, загрязнённой молекулярно - дисперсными веществами (ионами или молекулами), как минеральными, так и органическими, осуществляется методами, которые делятся на два большие класса

- деструктивные (разрушающие),
- регенеративные (восстанавливающие).

Деструктивные методы позволяют утилизировать только воду (что уже немало!), а регенеративные приводят к утилизации и воды, и загрязнителя, который не разрушается и может быть вновь использован.

Вода, используемая в промышленности, часто загрязняется ионами тяжёлых металлов, которые практически все являются токсикантами. Особенно опасны ксенобиотики (Hg^{2+} , Pb^{2+} , Cd^{2+}). Недалеко от них ушли Cu^{2+} , Be^{2+} , Zn^{2+} , Mo^{2+} и многие другие тяжёлые металлы, от которых необходимо очищать воду. Катионы большинства тяжёлых металлов образуют с рядом анионов трудно растворимые соединения, которые из перенасыщенных растворов выпадают в осадки.

Перенасыщенным раствором трудно растворимого электролита является тот раствор, в котором произведение концентрации ионов превышает произведение растворимости данного электролита.

Рассмотрим это на примере свинца:

$$PP_{\text{PbSO}_4} = 1.6 \cdot 10^{-8}$$

Следовательно, произведение концентрации ионов не должно быть ниже 10^{-4} степени

$$[\text{Pb}^{2+}] \cdot [\text{SO}_4^{2-}] = 10^{-4} - 10^{-5}$$

Проводят анализ очищаемой воды с целью определения концентрации ионов металла-загрязнителя, учитывают объем воды и по этим данным рассчитывают необходимую массу аниона, который должен осадить токсичный катион. Хотя, как правило, массу осадителя берут с 10%-ным избытком, одноразового избытка недостаточно и операции повторяются.

Метод деструктивный, данный металл больше использован быть не может.

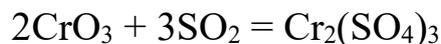
Для утилизации не только пресной воды, но и загрязняющего металла, многие из которых являются весьма ценными, необходимо использовать регенеративный метод. В качестве такового можно использовать давно и хорошо известный электролиз. С учетом перенапряжения водорода можно на инертном катоде восстанавливать металлы вплоть до алюминия.

Рассмотрим это на примере очень ценного металла – серебра.

Очистителем воды серебро является до определённого предела, пока не достигнет концентраций, опасных для человека и высших животных ($E^0_{Ag^+/Ag} = E^0 + 0,8В$).

Этот металл легко восстанавливается. Таким же образом можно восстанавливать и другие металлы, а не выбрасывать их.

Очень опасным загрязнителем является оксид хрома (VI). Оксид основного характера. Легко взаимодействует с кислотными оксидами. Взаимодействие с оксидом серы, SO_2 , восстанавливает хром до безопасного трёхвалентного хрома:



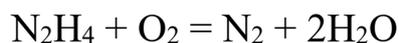
Образовавшаяся соль, сульфат хрома, широко используется в химической практике, поэтому этот метод считать полностью деструктивным не стоит. Но и полностью регенеративным его считать нельзя.

Для утилизации сточных вод широко используются методы окисления, в результате которых высоко токсичные загрязнители превращаются в безвредные вещества.

Например, токсичный цианид, использующийся в гальванических ваннах, окисляется до оксида углерода и азота дешёвым гипохлоритом натрия в кислой среде:



Также можно очистить воду от другого опасного загрязнителя, гидразина, окисляя его кислородом воздуха:



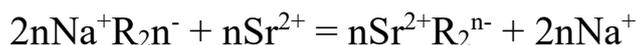
Наиболее полная очистка воды и, следовательно, ее утилизация достигается методами ионного обмена, т.е., обменом ионов между жидкой и твердой фазами. Это дорогостоящий метод, т.к., используются дорогие ионообменники, которые подразделяются на катиониты и аниониты.

У катионитов обменной формой является катион, анион представляет собой неподвижный стержень, к которому в результате обмена с безвредным катионом катионита. прикрепляются токсичные катионы из раствора.

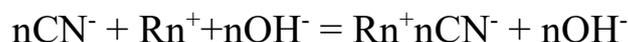
Пример катионита естественного происхождения, алюмосиликата натрия:



Рассмотрим очистку воды от ионов стронция:



У анионитов неподвижным стержнем является катион, а обменной формой – анион. Обменной формой анионитов являются как правило гидроксид – ионы:



В результате анионирования токсичные ионы цианида, прикрепившись к неподвижному остову анионита выпадают в осадок, а в раствор переходят безвредные гидроксид ионы.

Методы очистки воды от органических загрязнителей также подразделяются на деструктивные и регенеративные. Но если электролиз для металлов является регенеративным методом, то для органических примесей это деструктивный метод. Электроокисление органических соединений на инертном аноде приводит к их разрушению.

Рассмотрим электроокисление популярного загрязнителя воды – фенола.



В результате анодного окисления образовался оксид углерода и малеиновая кислота, не широко используемая в промышленности и химии.

К *регенеративным методам утилизации воды* при ее загрязнении органикой относятся:

- перегонка
- экстракция

Регенеративный метод перегонки основан на разнице температур кипения воды и загрязнителя. Так как большинство органических веществ имеют более низкую температуру кипения, чем вода, то для очистки от них воды этот метод широк и используется. Все производства, связанные с вакуумной гигиеной, используют спирт. Но поскольку этиловый спирт (этанол) дорогой препарат, то его заменяют метиловым спиртом (метанолом, CH_3OH).

Метанол – токсикант, как известно, или его употребление приводит или к полной, необратимой слепоте, или к летальному исходу. Воду, загрязнённую метанолом, как и многими другими органическими веществами, очищают методом перегонки. Для этого воду, загрязнённую метанолом, помещают в резервуар, который нагревают до температуры кипения спирта. Спирт испаряется, переходит в газообразную фазу и поступает в отводной патрубке, снабжённый рубашкой, по которой протекает холодная вода. Охлаждаясь, спирт из газовой фазы возвращается в жидкую и в этом виде поступает в приёмник. Утилизируется и вода, и загрязнитель – метиловый спирт, который опять поступает в производство и используется по своему назначению.

Регенеративный метод экстракции основан на законе Нернста - Шиллова, так называемом законе распределения. Если в сосуд с двумя несмешивающимися жидкостями поместить вещество, которое может растворяться в обеих растворителях, то в одном оно будет растворяться лучше, в другом хуже. Количественной характеристикой растворимости данного вещества в этих двух растворителях служит коэффициент распределения:

$$K_{\text{рас.}} = C_A/C_B$$

C_A и C_B - молярные концентрации вещества в растворителях А и В.

При данной температуре коэффициент распределения величина постоянная, не зависящая от общего количества компонентов.

При встряхивании сосуда, содержащего два несмешивающихся растворителя и растворимое вещество, растворители смешиваются, при этом растворимое вещество полностью растворяется в той жидкости, в которой коэффициент его растворения выше. После отстаивания жидкость, содержащая растворенное вещество, сливают. Затем для полноты удаления растворенного вещества операцию повторяют ещё 2 -3 раза. Экстракция проходит тем полнее, чем выше коэффициент распределения между этими двумя растворителями.

Рассмотрим этот закон относительно утилизации сточной воды. Пусть вода загрязнена йодом. По табличным данным известно, что при температуре 18⁰С, йод в 413 раз лучше растворяется в сероуглероде, чем в воде. Таким образом, $K_{рас.} = C_{I_2}(CS_2)/C_{I_2}(H_2O) = 413$

Очевидно, что при таком высоком коэффициенте распределения очистить воду от йода, используя сероводород, не составит труда, т.е., вода будет утилизирована. Но одновременно будет извлечён йод, и его снова можно использовать. Таким образом, он тоже будет утилизирован.

Рассмотренные методы показывают, что способов утилизации воды достаточно много, они разнообразны, некоторые из них позволяют утилизировать не только воду, но и загрязнитель. Выбор метода, как правило, диктуют соображения экономики.

7.2. Загрязнение и обезвреживание почвы

К настоящему времени практически 50% земли, используемой раньше как сельскохозяйственные угодья, выбыла из строя.

Эти угодья заняты:

городами и мегаполисами,

отчуждением земли под железные дороги,

Отчуждением земли под терриконы и отвалы, сопровождающие шахты, необратимые загрязнения почвы. Загрязнение почвы происходит:

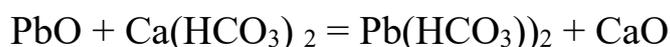
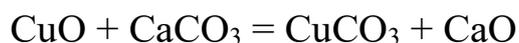
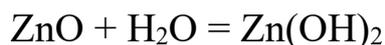
в результате деятельности промышленных предприятий,

работы сельскохозяйственных предприятий,

быта людей.

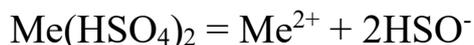
В результате почва получает самые разнообразные загрязнения из топок самых разных промышленных предприятий, а также ТЭС.

В воздух поступает **пыль**, состоящая из многих металлов. Чаще всего эти пылевидные частицы являются прокалёнными оксидами металлов. Постепенно оседания, особенно под воздействием дождей, металлическая пыль попадает в почву. Под влиянием почвенной влаги и солей, содержащихся в почве, оксиды претерпевают следующие изменения:



Часть образовавшихся соединений трудно растворима и поэтому остаётся в твёрдой фазе почвы, не поступая в ее жидкую фазу – почвенный раствор, и, таким образом оставаясь недоступной для растений.

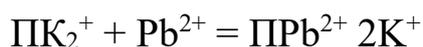
Хорошо растворимые соединения - гидрокарбонаты и гидросульфаты (хлориды, кислые соли) - диссоциируют на ионы:



Ионы тяжёлых металлов поступают в почвенный раствор, но откуда их извлекают растения. Металлы поступают в пищу домашним животным, а от них человеку. Но тут в действие вступает твёрдая фаза почвы. Почва, как дисперсная система, является коллоидным раствором с жидкой дисперсной средой и твёрдыми частицами (мицеллами, размером 10^{-7} - 10^{-9} м) Коллоидная часть почвы, образованная мицеллами, является ее активной частью [9] На поверхности такой мицеллы адсорбируются тонким слоем различные катионы. (Рис Структура мицеллы минерального коллоида почвы)

Коллоиды почв, имея огромную поверхность, адсорбируют значительные количества ионов, сохраняя их от вымывания. Поэтому коллоидная часть почвы называется ее кладовой или **почвенным поглощающим комплексом (ППК)**.

Коллоиды почв легко адсорбируют на себе из почвенного раствора различные катионы: K^+ , Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , NH_4^+ и другие до полного насыщения коллоидных частиц. Далее может происходить лишь обмен катионами между твердой фазой и почвенным раствором. Катионы из твердой фазы почвы легче обмениваются на катионы из раствора, имеющие больший заряд. При равенстве зарядов обмен легче происходит на катионы с большей атомной массой. Записывается этот процесс следующим образом:



Эта запись означает только одно – обмен катионами между твердой и жидкой фазами, в результате которой токсичные ионы, например, свинца уходят из раствора, не попадая в растения.

ППК, т.е. общее количество катионов, адсорбированных 100 г почвы и способных к обмену, называют ёмкостью катионного обмена (ЕКО) и исчисляются в миллиграмм-эквивалентах на 100 г почвы. (мг-экв/100 г)

В зависимости от свойств и количества коллоидов, составляющих ППК, почвы сильно отличаются друг от друга. Так, подзолистые почвы северной лесной зоны имеют ёмкость обмена 6 – 8 мг-экв на 100 г почвы, а чернозёмные почвы - от 40 до 60 мг-экв на 100 г почвы.

Таким образом, благодаря коллоидной составляющей, почвы могут сами противостоять загрязнению и утилизироваться. Но при сильном загрязнении почвы при полном насыщении мицелл токсичными катионами тяжёлых металлов произойдёт обратный выброс этих ионов в почвенный раствор, и почва перейдёт в разряд «бросовой», т.е., не пригодной для сельского хозяйства. Роль человека для недопущения такого состояния может заключаться в одном - не допускать поступления в атмосферу больших количеств металлической пыли из топок.

Как уже упоминалось, наиболее опасные из металлов – ксенобиотики. Это ртуть, свинец, кадмий. В почвах в каком – то количестве они содержатся, в силу как естественных причин, так и антропогенных.

Ртуть в обычных почвах содержится в количествах от 90 до 250 г/га. Используемые в сельском хозяйстве средства протравливания зерна, чаще всего это $C_6H_6Cl_6$ гексахлорциклогексан (тривиальное название – гексахлоран) добавляют ежегодно содержание ртути на 5 г/га. Дополни-

ное повышение содержания ртути в почве вызывается использованием удобрений и компостов. Какое-то количество ртути попадает в почву с дождём. Попадание ртути в организм животных и человека приводит к тяжёлым нарушениям центральной нервной системы. Ртуть - d-элемент, следовательно, легко образует комплексы. Как катионного, так и анионного типа:



Ключевые процессы трансформации, управляющие циклом ртути в водных системах, включают (Рисунок 25):

- 1) окисление Hg(0)
- 2) восстановление Hg(II)
- 3) метилирование Hg(II)
- 4) деградацию MeHg
- 5) деметилирование MeHg.

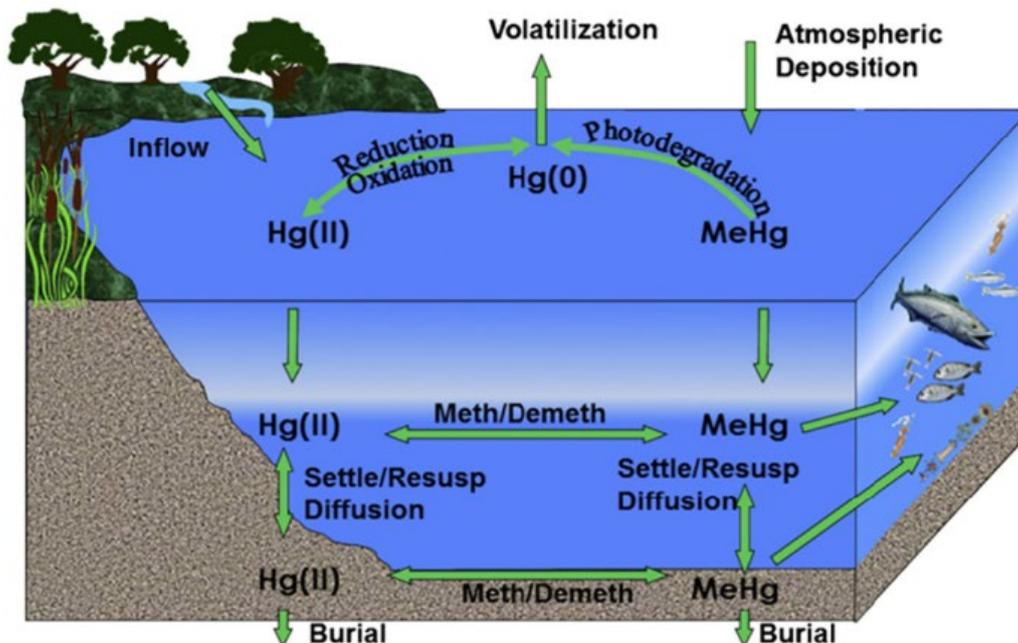
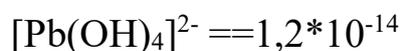
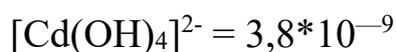


Рис. 25. Биоаккумуляция и круговорот ртути в природе.

Комплексные ионы устойчивые, ртуть связана в трудно растворимый ион. Задача человека не допускать излишки ртути в почвы.

Широкое использование свинца (красители, боеприпасы, электротехнические устройства) приводят к загрязнению почвы свинцом до 550 г/га в год. Малоподвижные катионы свинца имеют чётко выраженную тенденцию к накоплению в почве. Человек и высшие животные очень чувствительны к отравлению свинцом. Растения более устойчивы по отношению к нему и могут аккумулировать большие объёмы этого металла.

Кадмий вносится в почву из воздуха с продуктами сгорания и от предприятий, перерабатывающих кадмий. Массы попадающего ежегодно в почву кадмия оцениваются от 2 до 35 г/га. В кислых почвах (рН не менее 5.5) ионы этого металла подвижны и легко усваиваются растениями. Особенно табаком. Следовательно, от двух ксенобиотиков, свинца и кадмия почва может быть очищена с помощью растений, которые затем должны быть удалены. Таким образом, в утилизации почвы в данных случаях участвует человек. Но и свинец, и кадмий, как и ртуть – комплексообразователи, могут с соединениями, находящимися в почве, образовывать устойчивые комплексные ионы:



7.3. Биохимическая утилизация

Известно более двадцати методов обезвреживания и утилизации биологической части ТКО.

Среди разнообразных подходов к обезвреживанию и утилизации биологической фракции твердых коммунальных отходов (ТКО), одним из наиболее передовых методов является процесс непрерывного компостирования. Данный метод включает в себя аэробное принудительное окисление органических отходов во вращающемся биотермическом барабане. По сути, он сочетает два ключевых фактора - аэрацию и механический разрыв материала, - что значительно ускоряет процесс биодеструкции и стабилизации органических компонентов.

В настоящее время в ряде стран наблюдается тенденция использования уже существующей инфраструктуры сооружений по очистке сточных

вод для биологической переработки органических отходов. Для примера, в Италии потенциально функционирует около 30 подобных установок. В Финляндии же имеется более 500 установок для очистки сточных вод, которые также занимаются обработкой осадков, происходящих в результате очистки септических ёмкостей. Отдельно следует отметить установки для переработки неопасных отходов и для компостирования, обладающие внушительной производительностью.

Хотя общие объемы перерабатываемых биологических отходов могут казаться относительно невеликими по сравнению с общим объемом отходов, поступающих на очистные сооружения, в некоторых случаях их воздействие на показатель химического потребления кислорода (ХПК) может быть значительным, достигая до 50%. Это указывает на наличие высокой концентрации органических веществ в отходах, подлежащих обработке.

Стоит отметить, что ХПК используется как показатель для оценки степени загрязнения воды органическими соединениями. Величина ХПК определяется количеством кислорода, необходимым для окисления органических веществ в 1 литре воды, и измеряется в миллиграммах. Таким образом, ХПК является индикатором загрязнения воды как природной, так и техногенной органикой, что делает его важным параметром для контроля при операциях с отходами.

Необходимо учитывать, что биологическая обработка имеет свои ограничения и возможные риски, включая вероятность загрязнения осадков сточных вод, что может потребовать дополнительных мер очистки. В целях минимизации негативного влияния биологической обработки на экосистему и качество сточных вод целесообразно проводить комплексные исследования и оптимизацию процессов, направленные на повышение эффективности и сокращение возможных вредных воздействий.

Ключевым техническим фактором для выбора соответствующей системы биологической утилизации отходов является возможность надлежащего контакта между органическими составляющими отходов и микробной популяцией. Эта способность зависит главным образом от состояния отходов и концентрации биологического углерода. Эффективность системы биохимической утилизации в виде остаточной концентрации органического углерода графически представлена на Рисунке 26.

Organic carbon concentration (мг/л или мг/кг) - концентрация органического углерода – это количество углерода на единицу массы или объёма почвы или воды, которое показывает качество очистки.

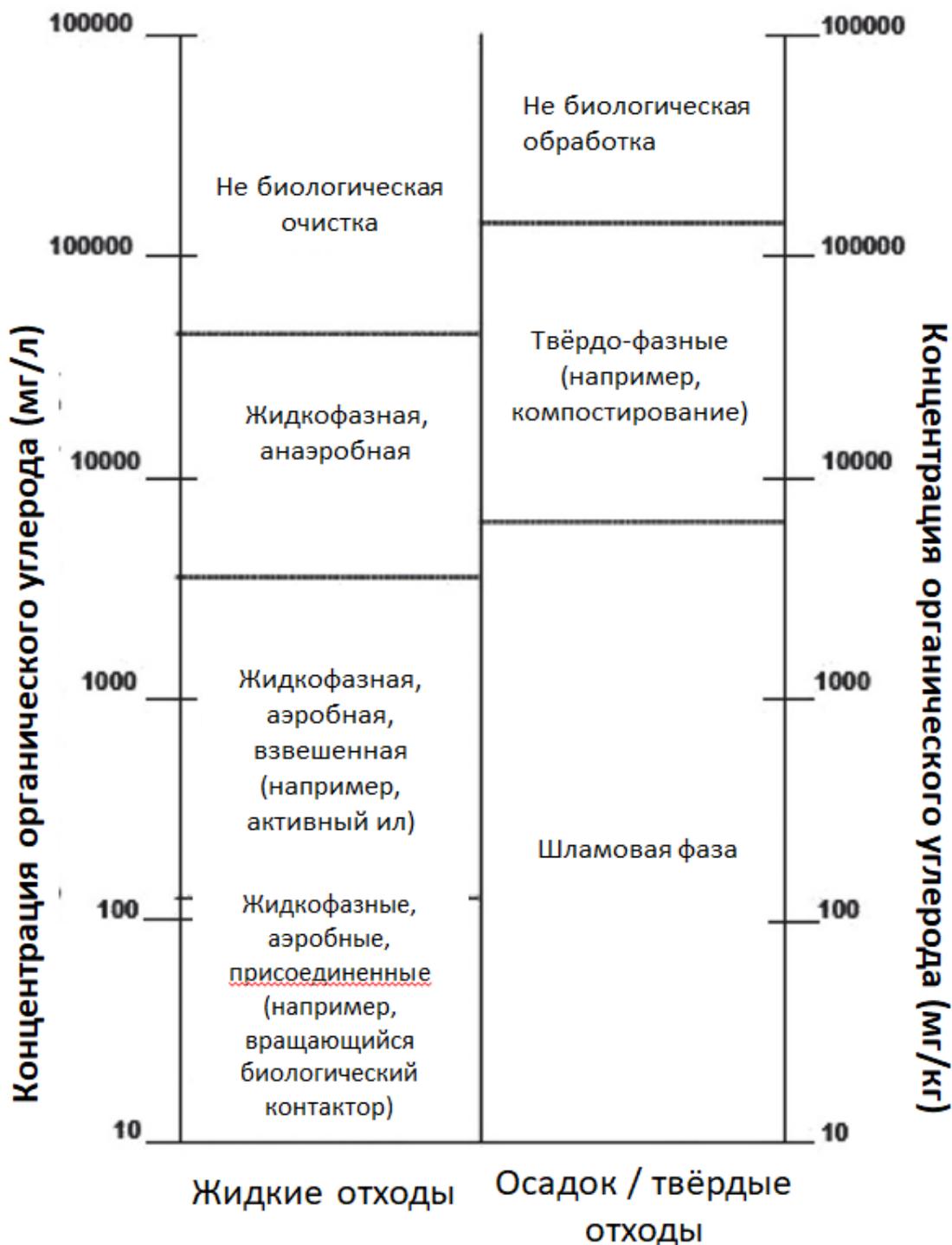


Рис. 26. Эффективность системы биохимической утилизации в виде остаточной концентрации органического углерода.

Полностью закрытые или заключённые в оболочку биореакторы помогают лучше контролировать биологическую обработку и предотвращать неорганизованные выбросы в виде легколетучих органических соединений, запахов и пыли. В Таблице 14 приведены показатели на входе и выходе реактора в виде концентрации контролируемых веществ.

Таблица 14

Концентрация в стоках до и после третичной очистки сточных вод (последовательно-циклическая биологическая очистка).

Австрийская установка.

Параметр	Подача (первично очищенные сточные воды) (мг/л)		Сточные воды после биологической очистки (последовательно-циклический реактор) (мг/л)	
	Минимум	Максимум	Минимум	Максимум
ХПК	2500	12000	600	1500
NH ₄ -N ^{a)}	25	16000	<1	150
Нитриты	10	300	<1	<1
Нитраты	10	1000	<1	<1
Фенолы	10	500	<2	<2
Содержание нефти	-	-	<0,5	-

а) Сточные воды после биологической очистки. Часто около 20 мг/л

7.4. Полевое компостирование органических отходов

Полевое компостирование представляет собой один из наиболее распространённых и экономически выгодных способов переработки органической части ТКО. Процесс особенно целесообразен для городских агломераций с численностью населения свыше 50 тыс. человек, так как позволяет решить проблемы обращения с отходами, минимизируя риски для окружающей среды.

Основная ценность полевого компостирования заключается в том, что при правильном управлении процессом и соблюдении технологии можно обеспечить контроль за возможным антропогенным воздействием на почву, атмосферу и водные ресурсы. В процессе могут быть использованы

различные органические отходы, включая обезвоженный осадок сточных вод, что также способствует уменьшению объёма ТКО.

Ключевым элементом полевого компостирования является биотермический процесс, в ходе которого за счёт аэробной активности микроорганизмов происходит самонагревание материала. В зависимости от стадии процесса активно участвуют разные группы микроорганизмов, которые позволяют достичь оптимальной температуры для разложения органических веществ.

Изначально, при приближении к температуре окружающей среды, работу начинают мезофильные микроорганизмы, которые предпочитают температурный диапазон 25-30 °С. По мере увеличения температуры, мезофилы сменяются термофильными микроорганизмами, которые эффективно функционируют при более высоких температурах, достигая пик активности в диапазоне свыше 40 °С. Это создаёт условия для разложения сложных органических веществ и нейтрализации потенциальных патогенов.

Компост, образующийся в результате разложения органического вещества, богат азотом и фосфором, что делает его ценным продуктом для агрономии. Скорость разложения различных органических компонентов варьируется: сахара и крахмал быстро потребляются микроорганизмами, липиды также восприимчивы к биодegradации, в то время как целлюлоза и гемицеллюлоза разлагаются средними темпами, а лигнин является наиболее устойчивым и поэтому разлагается медленнее.

В процессе компостирования происходит уменьшение массы переработанных веществ до 50% и более, что значительно снижает объёмы ТКО и делает компостирование выгодной альтернативой традиционным свалкам.

Пять принципиальных схем сооружений полевого компостирования ТКО представлены на Рисунке 27 [12]. Приняты следующие номерные обозначения [12]: 1 – приемный бункер с пластинчатым питателем; 2 – дробилка для ТКО; 3 – подвесной электромагнитный сепаратор; 4 – подача осадков сточных вод; 5 – смеситель; 6 – штабеля; 7 – грейферный кран; 8 – закрытое помещение для первой стадии компостирования; 9 – подвижная установка для перелопачивания и перегрузки компоста; 10 – про-

дольные подпорные стенки; 11 – аэраторы; 12 – контрольный грохот для компостера; 13 – биобарабан; 14 – первичный грохот для дроблёных ТКО; 15 – цилиндрический контрольный грохот; 16 – дробилка для компоста.

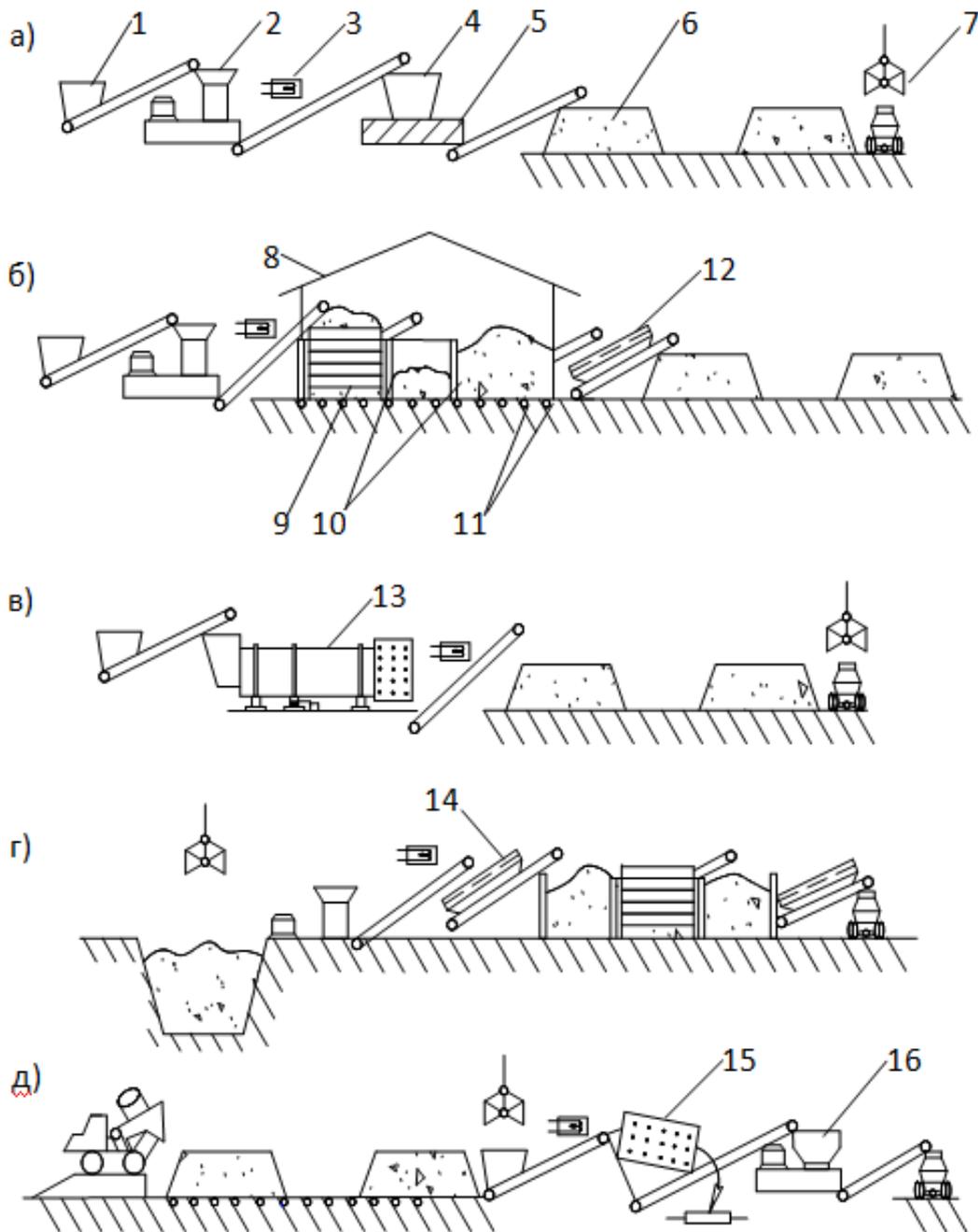


Рис. 27. Принципиальные схемы сооружений полевого компостирования ТКО: а – совместная переработка ТКО и осадка сточных вод; б – двухстадийное компостирование ТКО; в – схема с предварительной обработкой ТКО в биобарабане; г – схема с компостированием в открытых отсеках и предварительным грохочением ТКО; д – компостирование недробленых ТКО [12]

При компостировании сложные белковые соединения легко разлагаются и переходят в более простые соединения – сначала аминокислоты, конечная фаза расщепления которых сопровождается выделением аммиака. Аммиак окисляется сначала в азотистую, а затем в азотную кислоту. Процесс этот называется нитрификацией, так как его вызывают особые нитрифицирующие микроорганизмы.

Аэрация компостируемой массы может происходить как за счет естественной циркуляции воздуха, так и за счёт искусственной подачи воздуха.

Ускоренное компостирование в специальных установках на мусор - перерабатывающих заводах возможно только при использовании принудительной аэрации. Однако избыточная аэрация может усилить теплоотдачу массы отходов и привести к пересыханию и снижению температуры. Поэтому аэрация компостируемой массы осуществляется с регулированием подачи воздуха в зависимости от температуры и влажности.

7.5. Полигоны по утилизации ТКО

Проектирование полигонов для захоронения ТКО осуществляется с учетом концепции, направленной на минимизацию экологических рисков. Эта концепция включает в себя разработку мероприятий, снижающих вероятность загрязнения природной среды, на первом этапе — водных ресурсов, при этом учитываются факторы технической выполнимости и экономической обоснованности предлагаемых решений. Задача специализированных организаций, таких как проектное бюро «ГЕОТЕХПРОЕКТ», которые имеют значительный опыт в области рекультивации и создания объектов по переработке отходов, состоит в обеспечении всех аспектов процесса проектирования, что включает: - Тщательный выбор местоположения для размещения полигонов с учетом экологических, геологических и гидрологических особенностей территории, соблюдая требования к защите окружающей среды. - Создание технического облика полигона, которое предусматривает использование элементов искусственной защиты (таких как геомембраны, системы сбора и очистки фильтрата и т.д.) для предотвращения попадания загрязнений в окружающую среду. - Организацию контроля и экологического мониторинга, что помогает в оценке со-

стояния окружающей среды и эффективности работы системы защиты полигона. Проектировщик, занимающийся разработкой проекта полигона ТКО, должен строго соблюдать общие нормативные требования, в том числе:

- ФЗ №89-ФЗ "Об отходах производства и потребления";
- ФЗ №7-ФЗ "Об охране окружающей среды"
- Градостроительный кодекс РФ;
- Постановление Правительства РФ №1156 "Об обращении с ТКО";
- СП 320.1325800.2017 «Полигоны для твердых коммунальных отходов. Проектирование, эксплуатация и рекультивация»;
- СанПиН 2.1.7.3550-19 "Санитарные требования к размещению и обезвреживанию отходов";
- ГОСТ Р 56059-2014 "Полигоны захоронения ТКО";
- Рекомендаций по проектированию, строительству и рекультивации полигонов ТБО, Москва, 2009г., АКХ им. К. Д. Памфилова;
- Территориальная схема управления и работы с отходами;
- ИТС 17–2021 «Информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям. Размещение отходов производства и потребления».

Процесс проектирования полигона начинается с выбора места его расположения. Этот этап является основополагающим для обеспечения будущей безопасности и эффективности эксплуатации полигона. Решающее значение при выборе участка имеет функциональное зонирование территории с учётом градостроительных решений. Законодательное и нормативное регулирование требует, чтобы такие объекты располагались вне жилых зон и на уединённых территориях с соблюдением установленных норм санитарно-защитных зон.

Для предотвращения загрязнения окружающей среды запрещается строительство полигонов в зоне заболоченных территорий. Коэффициент фильтрации грунта должен составлять $<0,0086 \text{ м}^3/\text{сут.}$.

Подбор материалов для противодиффузионного слоя осуществляется на основе анализа фильтрационных свойств грунта, состава отходов и климатических условий региона. Кроме того, современные полигоны ТКО

должны быть оборудованы дренажной системой для контроля и сбора фильтрата. Дренажный слой обычно располагается поверх гидроизоляционного слоя и включает в себя трубы, через которые происходит отвод фильтрационных вод на очистные сооружения.

На Рисунке 28 представлена схема полигона ТКО из справочника НДТ [12].

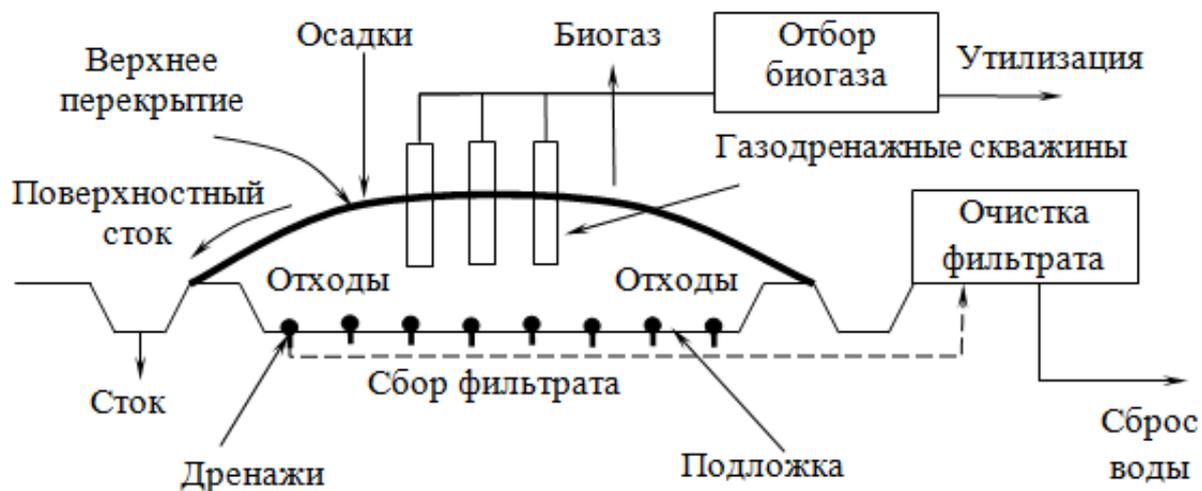


Рис. 28. Схема полигона ТКО [12]



Рис. 29. Фотография американского полигона ТКО

Неотъемлемым элементом полигона является система весового контроля и автоматизированной учетной системы, которая позволяет передавать данные о количестве принимаемых и захороненных отходов в государственную информационную систему учета ТКО. Это позволяет в реальном времени контролировать как вес, так и качество принимаемых на полигон отходов. Для обеспечения контроля за соблюдением правил приема отходов на полигоне и предотвращения попадания недопустимых отходов рекомендуется внедрение систем видеофиксации на контрольно-пропускном пункте. Такая мера позволяет отслеживать движение транспортных средств и предотвращать нелегальный ввоз опасных отходов. Все представленные меры по проектированию полигонов ТКО способствуют надежной защите окружающей среды от потенциального загрязнения, а также обеспечивают соблюдение экологических норм и стандартов.

Процесс верификации проектной документации на соответствие экологическим стандартам и требованиям безопасности занимает центральное место и включает в себя проведение двух основных типов экспертиз:

1. Государственная экологическая экспертиза (ГЭЭ) проводится с целью выявления соответствия проекта требованиям экологической безопасности. Это включает оценку воздействия предполагаемой деятельности на окружающую среду и определение возможных мер по предотвращению или компенсации негативных последствий.

2. Главгосэкспертиза — государственная экспертиза проектной документации и результатов инженерных изысканий, которая подтверждает их надежность, экономическую, технологическую и экологическую целесообразность.

Прохождение указанных этапов экспертизы является обязательным, и от его результатов зависит получение разрешения на строительство объекта, а также обеспечение его экологической безопасности на протяжении всего периода эксплуатации. По завершении строительства полигона ТКО важно соблюдение определённых правил и проведение мониторинговых процедур для предотвращения вредного воздействия на природу:

– Строгое соблюдение запрета на захоронение отходов токсичного, радиоактивного и биологически опасного характера.

– Проведение регулярной диагностики состояния тела полигона, включая измерение степени его уплотнения, не реже двух раз в год для прогнозирования и контроля равномерной просадки.

– Организация процедур увлажнения отходов, особенно в пожароопасные периоды, с целью минимизации риска самовозгорания с расчётом расхода воды в 10 литров на кубический метр отходов.

– Установка и эксплуатация системы наблюдательных скважин для мониторинга качества грунтовых вод, а также своевременного выявления и предотвращения превышения допустимых концентраций вредных веществ.

– Планирование и выполнение мероприятий по рекультивации земель после окончания срока эксплуатации полигона для восстановления природной экосистемы и снижения долгосрочных экологических рисков.

Соблюдение данных мер и процедур способствует созданию условий безопасности для экосистем и человека, а также обеспечивает предотвращение негативных последствий от функционирования полигона ТКО.

Дегазация закрытых полигонов является ключевой мерой обеспечения пожаро- и взрывобезопасности, а также предотвращения неконтролируемого накопления биогаза в массиве отходов. Биогаз, генерируемый в результате анаэробного разложения органических компонентов ТКО, преимущественно состоит из метана (CH_4) и углекислого газа (CO_2), составляя около 98% от его общего объема. Находящийся в биогазе метан и серосодержащие примеси обладают токсическими свойствами и может стать причиной развития острых и хронических отравлений, кроме того, он имеет неприятный запах.

Системы дегазации полигонов ТКО (Рисунок 30) включают в себя установку газоперехватывающих слоёв и скважин, которые позволяют собирать биогаз и направлять его для дальнейшего сжигания или переработки. Таким образом, метан может быть эффективно извлечён и использован как источник энергии, что способствует созданию моделей экономики замкнутого цикла. Эффективное управление органическими отходами, включая дегазацию и утилизацию свалочного газа, имеет решающее значение для снижения негативного воздействия на климат, обеспечения безопасности экосистем и человека, а также повышения устойчивости продовольственных систем на глобальном уровне.

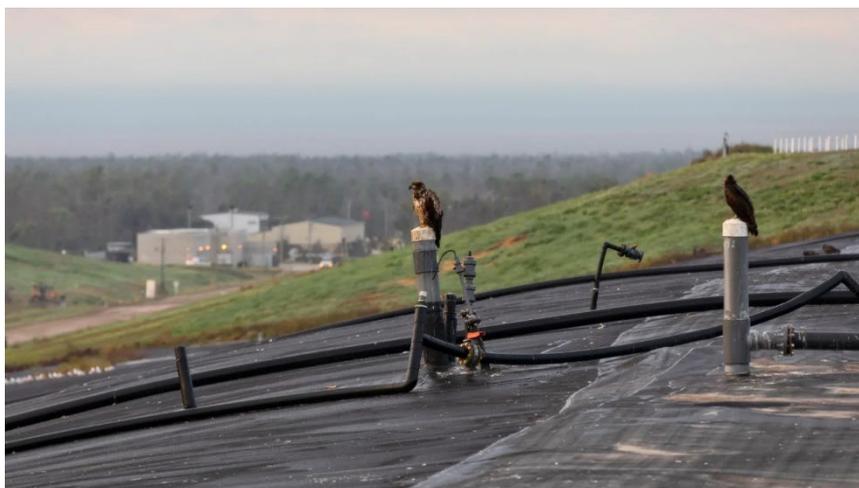


Рис. 30. Система сбора свалочного газа.

Метан является мощным парниковым газом с потенциалом глобального потепления в 25 раз больше, чем у диоксида углерода на протяжении 100 лет, и в 80 раз в течение 20 лет. Это обуславливает важность контроля и управления выбросами метана, особенно в контексте глобального изменения климата. Согласно последнему годовому отчёту Международного энергетического агентства (МЭА), с момента промышленной революции метан способствовал около 30% увеличению глобальной средней температуры. В свете этого международное сообщество усиливает усилия по сокращению выбросов метана.

Все большее число технологий поднимается в небо для дистанционного обнаружения утечки метана. Необходимо очень серьезно контролировать, собирать и утилизировать свалочный газ. Это связано с тем, что международное сообщество разработало ряд взаимосвязанных климатических инициатив для обеспечения и отслеживания прогресса в области выбросов метана. Глобальное обязательство по метану, впервые объявленное на COP26 в 2021 году, направило подписантов, на путь сокращения общих выбросов метана на 30% по сравнению с уровнем 2020 года к 2030 году. Оперативные действия по сокращению выбросов метана из органических отходов имеют решающее значение для достижения целей Парижского соглашения о климате и могут укрепить продовольственные системы во всем мире, используя при этом возможности экономики замкнутого цикла.

Запущенный в 2023 году, спутники обнаружения выбросов MethaneSAT и программа WasteMAP компилирует измерения и оценки метана на свалках в single global map. Спутники, оснащённые спектрометром записывают свет, когда он отражается от атмосферы Земли. В частности, спектрометр точно определяет длину волны, которую отражает метан. Пролетая мимо, аппарат делает снимок того, как ведёт себя специфическая длина волны метана в одном месте (Рисунок 31). Аналитическая система превращает фотографию в оценку того, сколько метана выделяет данное место. Пользователи могут увеличить масштаб конкретных свалок и увидеть, сколько тонн метана, по оценкам, ежегодно выбрасывает каждый объект. Эти данные, размещённые в RMI, основаны на прямых показаниях, таких как Carbon Mapper, а также на отчетах о выбросах от таких программ, как База данных Европейского Союза о выбросах для глобальных атмосферных исследований, и результатах, основанных на модифицированной версии. Хотя на данный момент программа сосредоточена на нефти и газе, спутник в конечном итоге будет регистрировать выбросы от объектов по переработке отходов. Это позволит штрафовать Россию за выбросы.

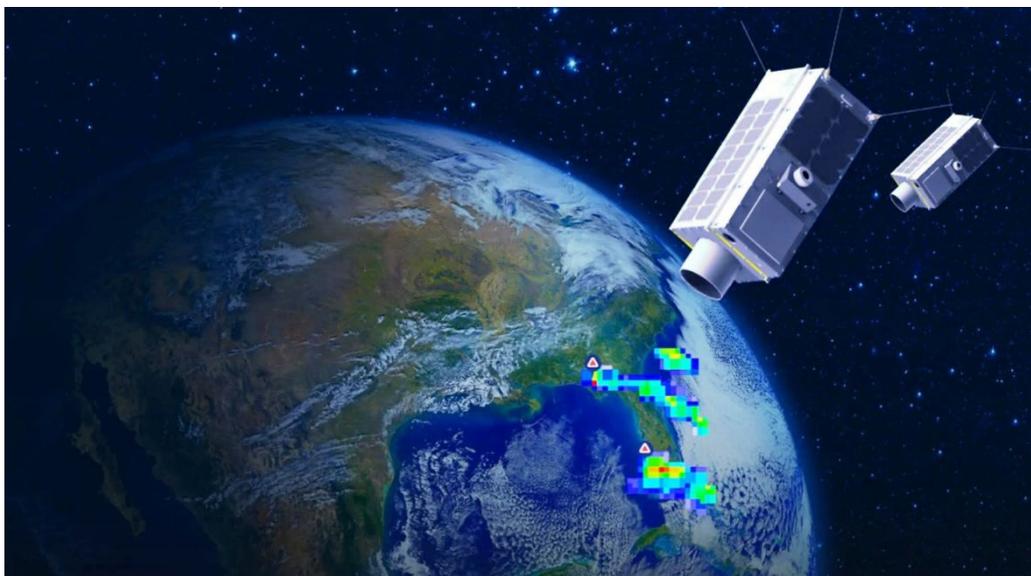


Рис. 31. Спутниковая система мониторинга выбросов метана.

Длительность эксплуатации и последующая рекультивация полигона ТКО являются сложными процессами, зависимыми от комплекса факто-

ров. К ним относятся климатические особенности региона, тип и состав грунтов, на которых размещается объект, а также виды и характеристики отходов, которые будут на него завозиться. Факторы, такие как климат, оказывают существенное влияние на скорость биodeградации отходов, проницаемость и стабильность грунтовых оснований, а также на интенсивность газообразования в теле полигона. Гидрология местности, в том числе уровень грунтовых вод, определяет потребности в дренажных и гидроизоляционных системах. Состав засыпаемого грунта подразумевает собой характеристики уплотнения, которые необходимы для предотвращения подвижек земли и обеспечения стабильности отвала. Кроме того, важно учитывать кислотно-щелочной баланс и химические свойства грунтов, так как они воздействуют на процессы разложения ТКО и газообразования. Виды ТКО, размещаемые на полигоне, также играют важную роль. От них зависят методы размещения отходов, их последующая обработка и состав выделяемого свалочного газа, что влияет на выбор технологий по улавливанию и утилизации этого газа. Эти параметры учитываются на этапе проектирования, составления проектно-сметной документации и получения всех необходимых экологических экспертиз и разрешений. Игнорирование любого из этих факторов может привести к серьёзным последствиям для окружающей среды, повлечь ухудшение экологической ситуации и здоровья населения, проживающего в окрестностях полигона. Поэтому, важно не только грамотно спроектировать объект, но и применять системный подход к его эксплуатации и последующей рекультивации.

Улучшение сбора свалочного газа и его использование в энергетических целях является одной из наиболее экономически эффективных возможностей замедлить потепление в краткосрочной перспективе. Операторы свалок ТКО сократили общие выбросы метана в США почти вдвое по сравнению с базовым уровнем 2023 года в 1,3 миллиарда долларов за счет применения 3 тактик:

- внедрение автоматизированной настройки в режиме реального времени для существующих систем сбора газа
- добавление систем мониторинга, сбора и контроля газа на свалках с высоким уровнем выбросов

– установка систем мониторинга и контроля на ранних стадиях закладки и обустройства полигона

На Рисунке 32 представлены фотографии системы мониторинга реального времени и сбора свалочного газа.



Рис. 32. Система он-лайн мониторинга свалочного газа

В последние годы инженеры и политики пересматривают роль регулирования в формировании сбора свалочного газа. Например, Агентство по охране окружающей среды (EPA, США) выпустило серию официальных документов, в которых рассматриваются различные изменения в правилах подачи воздуха на свалки ТБО, предлагая отменить правила, связанные с климатом. EPA выпустило официальное предложение о прекращении программы отчётности от более чем 8000 промышленных объектов по парниковым газам. Это изменение положит конец 15-летней программе, которая де-факто установила стандарт сбора климатических данных в США. EPA также подтвердило, что закрывает Управление экологической справедливости и всю связанную с этим работу.

В тоже время в Европе наоборот ужесточают эти правила.

7.6. Биотермическое компостирование отходов

В природе непрерывно происходит расщепление бактериями сложных органических веществ на более простые. Реакции расщепления идут не быстро, но с небольшим выделением энергии в виде тепла. Для их интенсификации разработаны разнообразные промышленные и бытовые установки биотермического компостирования. Важной их отличительной особенностью являются использование воздуха. Установки использующие воздух называют аэробными, не использующие – анаэробные. Общий подход представлен в НДТ 14.1, 14.2 и 14.3.

НДТ 14.1, 14.2 и 14.3 представляют собой описание современных методик утилизации специфически раздельно собранных органических био-разлагаемых отходов. Область применения справочника: пищевые предприятия, предприятия агропромышленного комплекса и др..

НДТ 14.1 описывают анаэробный режим. Анаэробное сбраживание — это процесс, в ходе которого бактерии расщепляют органические вещества, такие как навоз животных, твёрдые биологические вещества сточных вод и пищевые отходы, в отсутствие кислорода. Ключевые моменты НДТ 14.1 заключаются в следующем:

1. Процесс утилизации происходит в герметичном сосуде, называемом реактором, который спроектирован и изготовлен в различных формах и размерах в зависимости от площадки и условий сырья. Эти реакторы содержат сложные микробные сообщества, которые расщепляют отходы и производят биогаз и дигестат. Дигестат - твердые и жидкие материалы конечного продукта процесса анаэробного сбраживания.

2. В процессе анаэробного сбраживания активную роль играют метанобразующие бактерии, которые способствуют трансформации органических веществ в биогаз, в основе которого лежит метан.

3. В результате переработки отходов образуется органическое удобрение (эффлюент). Глубина его утилизации может достигать 90%.

4. Полученный биогаз служит источником энергии, которую можно использовать в различных отраслях экономики.

5. Несколько органических материалов могут быть объединены в одном варочном котле, что называется совместным сбраживанием. К со-

перевариваемым материалам относятся навоз; пищевые отходы, энергетические культуры, пожнивные остатки, а также жиры, масла и смазки (FOG) из жироловушек ресторанов и многие другие источники. Совместное сбраживание может увеличить производство биогаза из малопродуктивных или трудно усваиваемых органических отходов.

Биогаз состоит из метана (CH_4), который является основным компонентом природного газа, в относительно высоком процентном соотношении (от 50 до 75 процентов), углекислого газа (CO_2), сероводорода (H_2S), водяного пара и следовых количеств других газов. Биогаз можно очищать путем удаления инертных или малоценных компонентов (CO_2 , воды, H_2S и т.д.) для производства возобновляемого природного газа (RNG). Он может быть продан и закачан в систему распределения природного газа, сжат и использован в качестве автомобильного топлива или переработан для производства альтернативного транспортного топлива, энергетических продуктов или других передовых биохимических и биопродуктов.

Дигестат – это остаточный материал, оставшийся после процесса сбраживания. Он состоит из жидкой и твердой частей. Они часто разделяются и обрабатываются независимо, так как каждый из них имеет ценность, которая может быть реализована с различной степенью постобработки. При соответствующей обработке как твердая, так и жидкая части дигестата могут быть использованы во многих полезных целях, таких как подстилка для животных (твердые вещества), богатые питательными веществами удобрения (жидкости и твердые вещества), основной материал для продуктов на биологической основе (например, биопластик), богатый органическими веществами компост и просто в качестве почвоулучшителя. Разбрасывание дигестата на поле в качестве удобрения - стандартная процедура. Продукты с дигестатом могут быть источником дохода или экономии средств, и часто используются за рубежом для увеличения финансовой и экологической выгоды.

Область применения норматива НДТ 14.1 крайне обширна:

- Пищевые предприятия, которые производят значительное количество органических отходов в процессе своей деятельности;
- Предприятия агропромышленного комплекса;
- Бытовые органические отходы.

Применение такого подхода не только способствует снижению объёма отходов, отправляемых на свалки, но и создаёт дополнительные источники энергии и полезные продукты для аграрного сектора. Таким образом, реализация НДТ 14.1 направлена на стимулирование перехода к технологиям закрытого цикла, когда отходы одного производства становятся ресурсами для другого, что соответствует концепции устойчивого развития.

В контексте управления твёрдыми коммунальными отходами, НДТ 14.2 акцентирует внимание на получение из органической части кормовых добавок, удобрения и биотоплива. Для этого НДТ 14.2 включают:

1. Процесс сушки пищевых отходов, который превращает сырую органику в концентрированные полупродукты.

2. Реализация технологий, позволяющих достигать 100% глубины утилизации отходов в расчете на их сухую массу.

3. Конечные продукты, производимые из переработанных отходов, утилизируются как кормовые добавки для сельскохозяйственных животных, органические удобрения, способствующие улучшению качества почвы и урожайности, либо как биотопливо, служащее экологически чистым источником энергии.

Области применения технологий, предусмотренных в НДТ 14.2, охватывают:

- Пищевые предприятия, которые генерируют значительное количество пищевых отходов в процессе своего производства.

- Предприятия агропромышленного комплекса, интерес к которым обусловлен потребностью в высококачественных кормах и удобрениях.

- Общий процесс утилизации отдельно собранной органической фракции ТКО с другими органическими отходами природного происхождения.

Инициативы по внедрению НДТ 14.2 способствуют сокращению объёмов пищевых отходов, которые в противном случае могли бы быть отправлены на свалки, что снижает воздействие на окружающую среду и способствует созданию циклической экономики. Важным аспектом является не только минимизация экологического ущерба, но и создание дополнительной экономической ценности путем трансформации отходов в полезные продукты.

В НДТ 14.3 установлены принципы утилизации твёрдых коммунальных отходов, в частности отдельно собранной органической биоразлагаемой фракции или отсева сортировки, с целью получения компоста для использования в садоводстве, земледелии и ландшафтном дизайне. Основные аспекты НДТ 14.3:

1. Аэробное разложение материала. Этот процесс включает подачу кислорода, что способствует размножению аэробных микроорганизмов, в отличие от анаэробного разложения, происходящего без доступа воздуха.

2. Контроль температуры. Эффективное компостирование требует достижения температуры не ниже 80 °С, что гарантирует уничтожение большинства патогенных организмов и семян сорных растений.

3. Минимизация выбросов нежелательных газов. К этим газам относятся метан и аммиак.

4. Обратное водоснабжение.

Область применения НДТ 14.3 распространяется на:

- Пищевые предприятия, генерирующие значительные объёмы органических отходов.

- Агропромышленные объекты, где процесс компостирования может интегрироваться в цикл управления отходами и обеспечения удобрения для почвы.

- Утилизация органических биоразлагаемых отходов, собранных отдельно из твёрдых коммунальных отходов, а также использование отсева сортировки для создания высококачественного компоста.

Использование НДТ 14.3 предполагает использование отдельно собранных органических отходов, что способствует снижению объёма мусора, попадающего на свалки, и повышению экологической устойчивости благодаря производству экологически чистого продукта.

Продуктом безвоздушного анаэробного разложения органических отходов может являться биогаз. По всему миру происходит ужесточение законодательства по обеспечению его сбора из-за высокого его влияния на климат. В то же время это энергетически полезный газ. При особых условиях из отходов пищевой и кормовой промышленности можно получить биотопливо.

Промышленные биогазовые установки (ПБУ) представляют собой комплексное инженерное сооружение, предназначенное для производства биогаза путём биологической переработки органических отходов. Основным элементом установки — это биореактор, выполненный из железобетона, который не только обеспечивает необходимую прочность конструкции, но и утепление, необходимое для поддержания оптимальных температур для активности микроорганизмов. На Рисунке 33 показана схема ПБУ. На этой установке получают биогаз и компост. Биогаз в дальнейшем очищается от сероводорода и сжигается с получением электроэнергии, тепла и горячей воды.

Внутри реактора обитают микроорганизмы, которые питаются различными видами органического сырья. Задача оборудования миксеров, или мешалок, состоит в обеспечении равномерного перемешивания субстрата для оптимизации условий биопереработки. По мере потребления сырья бактериями происходит образование биогаза, основными компонентами которого являются метан и углекислый газ. Этот газ собирается в специально предназначенном для этого хранилище, известном как газ-гольдер.

После образования, биогаз проходит через систему очистки, которая необходима для удаления примесей и достижения требуемой концентрации метана. Очищенный газ может быть использован в качестве топлива для котлов, обеспечивающих отопление, или в газовых двигателях для генерации электроэнергии.

В некоторых случаях, для переработки определённых типов субстратов, таких как спиртовая барда, необходим предварительный процесс гидролиза. Гидролиз — это химическая реакция, разбивающая сложные органические вещества на более простые соединения, что упрощает их последующее использование метаногенными бактериями в основном биореакторе.

Компоненты промышленных биогазовых установок включают:

- Ёмкость гомогенизации для подготовки сырья;
- Загрузочное устройство для твердых отходов;
- Биореактор, в котором протекает основной процесс ферментации;
- Мешалки, обеспечивающие равномерность среды;

- Газгольдер для аккумулирования производимого газа;
- Системы смешивания воды и отопления для создания оптимальных температурных условий;
- Газовая система для отвода и очистки биогаза;
- Насосная станция для транспортировки субстрата;
- Сепаратор для разделения твёрдых и жидких фаз;
- Приборы контроля и управления процессом;
- Аварийные факельные горелки и система безопасности, предотвращающие возникновение опасных ситуаций связанных с накоплением газа.

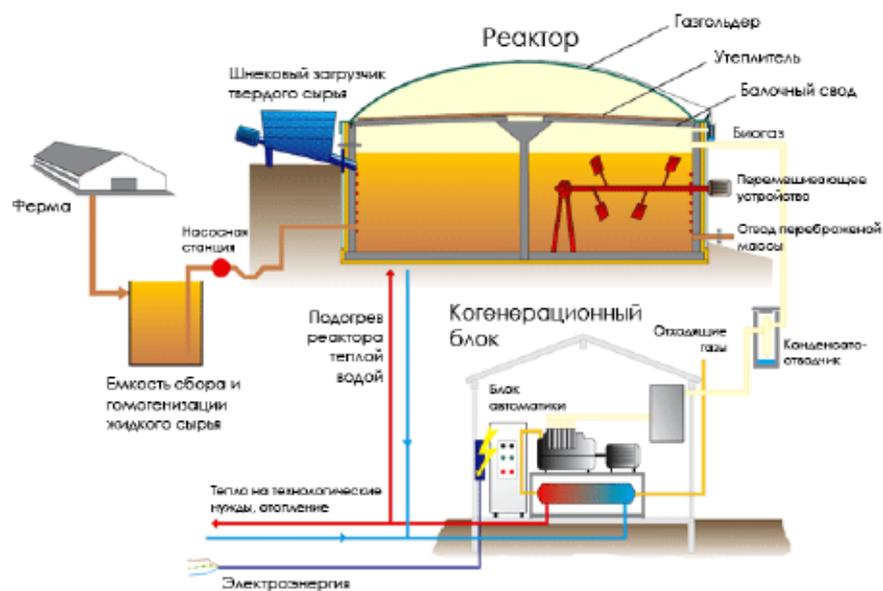


Рис. 33. Принципиальная схема ПБУ zorgbiogas.ru.

Эффективная работа промышленных биогазовых установок требует точного поддержания анаэробных условий, так как основные процессы превращения органических отходов в биогаз осуществляются специализированными метанообразующими бактериями, для которых кислород является ингибирующим агентом. Герметичность биореактора является критическим фактором, обеспечивающим отсутствие кислорода, который может подавлять активность метаногенов и нарушать процесс биогазообразования.

Оптимальная температура для большинства метанообразующих бактерий — мезофильная область, составляющая примерно 30-40°C. Именно

в этом диапазоне достигается наивысшая микробиологическая активность, что обеспечивает эффективное сбраживание и высокие объёмы выработки биогаза.

Для нормального развития и деятельности метанообразующих бактерий необходимо наличие достаточного количества питательных веществ. Это достигается за счёт сбалансированности сырья в биореакторе по основным биогенным элементам.

Кислотно-основной баланс (рН) играет существенную роль в обеспечении благоприятных условий для жизнедеятельности микроорганизмов. Для метаногенных бактерий наиболее благоприятными являются условия с рН в пределах 6,5 до 8. Оптимальные значения рН способствуют устойчивому протеканию анаэробного сбраживания и предупреждают подавление метаногенных бактерий.

Соотношение карбон (углерод) и азот (C/N) также имеет важное значение. Например, оптимальным считается соотношение C/N в диапазоне 20-30 к 1. При отклонении от этого диапазона возможно замедление метанового брожения или даже его прекращение из-за недостатка или избытка азота.

Поддержание правильной влажности субстрата в установке критично для обеспечения адекватного доступа микроорганизмов к питательным веществам. В случае недостаточной влажности активность бактерий падает, а избыточная влажность может привести к уплотнению массы и обеднению газообмена.

Регулярное перемешивание помогает предотвратить образование зон с разными концентрациями субстрата и продуктов метаболизма, равномерно распределяя массу и обеспечивая качественный контакт между субстратом и бактериями.

Для устранения угрозы ингибирования метаногенов следует обеспечить отсутствие в сырье ингибиторов процесса, таких как тяжёлые металлы, соли аммония в высоких концентрациях, антибиотики и другие биоцидные вещества, которые могут негативно влиять на работу анаэробных микроорганизмов.

Эффективная биодеструкция многокомпонентных пищевых коммунально-бытовых отходов часто требует применения синергетического подхода, в котором различные микроорганизмы взаимодействуют для

ускорения процесса разложения сложных органических веществ. В этом контексте применение специализированного консорциума микроорганизмов, включающего в себя бактерии и археи, является наиболее перспективной стратегией.

Выбор микроорганизмов для консорциума определяется составом и свойствами перерабатываемых отходов. Так, бактерии рода *Bacillus*, включая вид *Bacillus subtilis* (сенная палочка), обладают способностью расти в анаэробных условиях при наличии нитратов и способствуют расщеплению органических макромолекул, таких как белки и углеводы. *Bacillus subtilis* или Сенная палочка - подвижные короткие палочки, края обрублены в виде запятой (Рисунок 34). Способна расти в анаэробных условиях в присутствии нитратов в питательной среде.

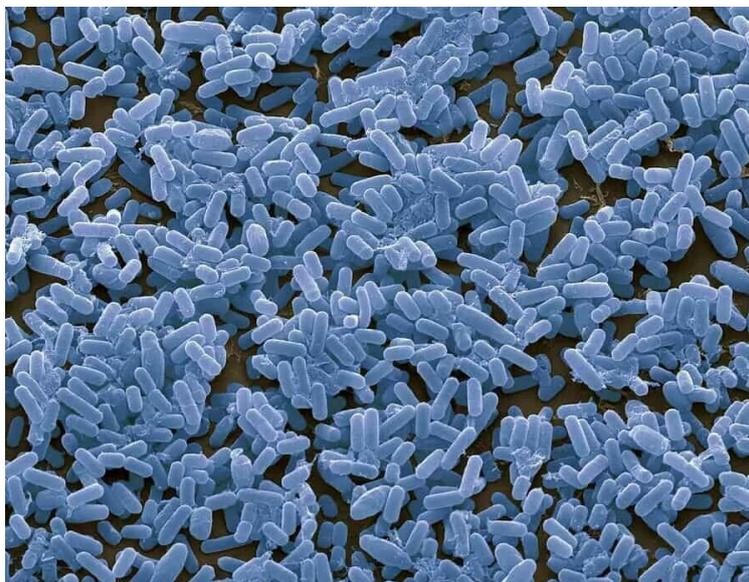


Рис. 34. Микрофотография сенной палочки

Pseudomonas aeruginosa является прототипным представителем рода *Pseudomonas* и обширно исследуется в области бактериологии и фитопатологии. Эти бактерии широко распространены в окружающей среде, включая почву, водоёмы, воздух, а также могут быть обнаружены в гнойных ранах и сточных водах. В биологических характеристиках *Pseudomonas aeruginosa* наблюдается выраженное разнообразие, однако вид имеет целый спектр типовых морфологических и физиологических

признаков. Бактерии этого вида окрашиваются по Граму отрицательно и имеют форму палочек размером примерно 1,0 - 1,5 x 0,5 микрон, находящихся в состоянии одиночек или пар, оснащённых одним-двумя, реже тремя полярно расположенными жгутиками. Оптимальная температура развития данных бактерий составляет приблизительно 37 °С.

Метод биодegradации играет ключевую роль в создании устойчивых и экологичных сельскохозяйственных систем в странах Западной Европы. Благодаря этому подходу, фермерские хозяйства могут существенно сократить их зависимость от ископаемого топлива и химических удобрений, повысить собственную энергоэффективность и улучшить экологические показатели деятельности. Как отмечается в хозяйственной практике стран ЕС, одна биогазовая установка средней вместимости может производить до 250 кг гумуса за 4-6 дней. Это обеспечивает фермерам не только собственные потребности в органических удобрениях, но и дает возможность ведения реализации излишков сельскохозяйственной продукции на рынке. В дополнение к производству удобрений, ценность биогазовых установок также в возможности производства до 15 метров кубических биогаза, что соответствует значительным объемам энергии. Содержание метана в биогазе до 70% делает его достаточно энергоёмким и полезным для генерации удовлетворяющих потребности хозяйства тепловой и электрической энергии. На Рисунке 35 показана фотография системы сбора биогаза анаэробного реактора на молочной ферме.



Рис. 35. Фотография системы сбора биогаза анаэробного реактора на молочной ферме.

В США производство биогаза увеличилось почти на 600% с 2015 года, однако, инвестиции отрасли утилизации отходов в системы свалочного газа и парки сжатого природного газа частично основаны на кредитных ценах, установленных обновлениями RFS. RFS была создана актом Конгресса в 2005 году. С 2023 года ЕРА установило ежегодные обязательства по объёму возобновляемых источников энергии, которые обязаны выполнять производители альтернативного топлива. Затем они генерируют кредиты, которые должны покупать нефтеперерабатывающие заводы и импортеры топлива. Тем самым стимулируется спрос на альтернативное возобновляемое топливо.

На Рисунке 36 показана фотография лагунных реакторов компании Maas Energy Works. Компания производит возобновляемый природный газ и целлюлозное биотопливо этанол на основе сельскохозяйственных культур, которые приносит прибыльные кредиты в соответствии с федеральным стандартом возобновляемого топлива. В то же время потребность в таких видах топлива может постепенно снижаться, поскольку технологии электромобилей развиваются гораздо быстрее, чем предполагали политики, когда впервые создавали RFS.



Рис. 36. Крытые лагунные реакторы Maas Energy Works в Коркоране, штат Калифорния

7.7. Биоразлагаемые упаковки

Пластиковая упаковка стала важной частью повседневной жизни, благодаря своей универсальности, лёгкому весу и долговечности. Использование пластмасс охватывает широкий спектр продуктов, включая мусорные пакеты, разнообразную упаковку, бытовые и промышленные контейнеры, а также бутылки.

Индустрия пластиковой упаковки представляет собой высокодоходный сегмент рынка с оборотом в размере \$23,5 миллиардов. Ведущие позиции в данной отрасли занимают полимеры, такие как полиэтилен и полипропилен, которые производятся на основе нефти. Эти материалы характеризуются высокой прочностью и долговечностью, однако при микробиологическом разложении образуют вредный микропластик, который представляет серьёзную угрозу для окружающей среды, в частности, водных экосистем и организмов, обитающих в них. Ключевой проблемой является тот факт, что большая часть пластмассы является плохо биоразлагаемой. Например, стандартная пластиковая бутылка для воды имеет оценочный период разложения до 1 тысячи лет. В то время как пластиковые пакеты, используемые в розничной торговле и быту, разлагаются в течение примерно 100 лет, и более толстый пластик утилизируется ещё дольше. Коктейльные соломинки — ещё один пример одноразового пластика — могут существовать до 500 лет до того как начнутся процессы их разложения.

В ответ на экологический вызов, с которым сталкивается планета из-за накопления пластиковых отходов, научное сообщество активно работает над разработкой и совершенствованием биопластиков и биоразлагаемых пластиков.

Биоразлагаемые пластики получают добавляя соединения стеарат кобальта, стеарат марганца и другие соединения металла. Под действием окружающей среды они катализируют процессы окисления. Разрушение пластика в объёме приводит к появлению хрупких низкомолекулярных фрагментов. Скорость разложения пластика в природе увеличивается, но все равно это плохо решает проблему микрочастиц пластика.

Биопластик представляет собой группу полимеров, производимых из возобновляемых ресурсов, таких как: крахмал, целлюлоза, пшеница, куку-

руза, сахарный тростник, отработанные жиры и масла растительного происхождения и многие другие биологические субстраты. По своим свойствам биопластики обладают потенциалом уменьшить загрязнение окружающей среды, так как в идеальных условиях могут полностью разлагаться на воду, углерод диоксид (или метан в анаэробных условиях) и биомассу. Однако перед широким применением биопластиков стоит ряд проблем, свойственных этой категории материалов. Одним из основных ограничений является физическая прочность биопластиков, которая может быть меньше по сравнению с традиционными нефтяными пластиками. Это делает их менее подходящими для некоторых применений, требующих высокой износостойкости и длительного срока эксплуатации. Кроме того, биоразлагаемость биопластиков часто достигается только в условиях высокотемпературного компостирования, которое не всегда доступно для конечного потребителя. Такие условия достигаются в промышленных компостирующих заводах, но не в домашних или природных условиях. Наиболее распространённые виды биопластика похожие на полипропилен и полиэтилен изготавливаются методом полимеризации из характерных полиэфиров:

- полигидроксидобутрат
- полигидроксидалканонат
- полигидроксидвалерат
- полимолочную кислоту

Объединив биопластик с целлюлозными нановолокнами можно получить биопластик, получивший название многослойная экологичная композитная плёнка (LEAFF, Вашингтонского университета в Сент-Луисе). Нановолокна имитируют структуру листьев – фибриллы. LEAFF разлагается при комнатной температуре и обладает важными свойствами для упаковки — низкой проницаемостью для воздуха и влаги, а также пригодностью для печати, что облегчает маркировку. Целлюлозная структура обеспечивает материалу прочность на разрыв выше, чем у традиционных нефтяных пластиков, полиэтилена и полипропилена.

Японская корпорация NEC привнесла вклад в область экологически чистых материалов, предложив новый композитный материал NeCycle. Этот материал отличается прочностью, сопоставимой с традиционными

пластиками, при этом его влияние на окружающую среду существенно ниже. NeCycle содержит около 50% целлюлозы, которая экстрагируется из растительных отходов древесины и соломы. Эта особенность позволяет сократить зависимость производства от ископаемых углеводородных ресурсов, поскольку целлюлоза является возобновляемым ресурсом и более приемлема в контексте устойчивого развития. Одним из ключевых преимуществ NeCycle перед обычными пластиками является его способность к биоразложению в течение четырех лет в натуральных условиях. В процессе производства изделий материал NeCycle может подвергаться литью, что является распространённым методом в пластмассовом производстве и позволяет создавать изделия разнообразных форм и размеров. Такая технологическая совместимость упрощает интеграцию нового материала в существующие производственные циклы без существенной модернизации оборудования.

8. ПЕРЕРАБОТКА МЕДИЦИНСКИХ ОТХОДОВ

Отходы медико-санитарной деятельности включают в себя широкий спектр материалов, представляющих потенциальную опасность для здоровья человека и состояния окружающей среды. Именно поэтому управление медицинскими отходами является предметом строгой регуляции и постоянного развития новых подходов к их обезвреживанию.

Медицинские отходы включают, но не ограничиваются, отходами человеческих и животных тканей, биологическими жидкостями, использованными медицинскими принадлежностями, просроченными или ненужными фармацевтическими препаратами, израсходованными бинтами и прочими сопутствующими материалами.

Инфекционный компонент медицинских отходов представляет собой особую опасность, поскольку может содержать патогенные микроорганизмы, способные вызывать болезни у людей и распространяться в популяции. Химическая угроза заключается в наличии в отходах токсичных химических веществ, которые могут быть опасны при прямом контакте с ними или при их попадании в воду и почву. Радиоактивные отходы, возникающие, например, при использовании радионуклидов в диагностике и лечении, представляют угрозу из-за своих долговременных деструктивных воздействий на живые ткани.

Обращение с медицинскими отходами включает в себя ряд этапов, от сбора и классификации до их транспортировки и финальной утилизации. Как правило, медицинские отходы классифицируются по степени риска и типам угроз, что диктует подход к их обезвреживанию. В ряде стран действуют особые нормативы и протоколы, направленные на минимизацию рисков для людей, работающих с медицинскими отходами, и для предотвращения неблагоприятного воздействия на окружающую среду.

Современные методы утилизации медицинских отходов включают термическую обработку (сжигание), химическую нейтрализацию, стерилизацию под давлением (автоклавирование), иррадиацию и плазменное

разложение. Каждый из этих методов имеет свои преимущества и недостатки, и выбор конкретного метода зависит от типа и объема отходов, а также от экономических и экологических ресурсов региона.

Работа по обращению с медицинскими отходами и разработки новых подходов и технологий в этой области продолжается, поскольку глобальное сообщество стремится к снижению общего уровня загрязнения и защите здоровья населения. Обязанности по соблюдению установленных норм и правил возлагаются как на организации, работающие в сфере медицины, так и на специализированные учреждения, ответственные за рабо

8.1. Классы опасности медицинских отходов

Отходы медико-санитарной деятельности подразделяются на классы опасности.

- А – неопасные или безопасные отходы, не требующие специализированных методов утилизации;
- Б – малоопасные, имевшие контакт с патогенной средой, требуют обезвреживания;
- В – опасные, содержащие инфекционные агенты, могут вызвать заражение при контакте;
- Г – токсичные, содержащие ядовитые вещества и требующие особой осторожности при обращении;
- Д – радиоактивные, представляют особую опасность и требуют контролируемой утилизации в строгих условиях.

Класс А.

В рамках классификации медицинских отходов класс А включает в себя эпидемиологически безопасные, нетоксичные отходы, по своему характеру и составу аналогичные твердым бытовым отходам. Эта категория медицинских отходов, как правило, не содержит патогенных микроорганизмов и не представляет прямой инфекционной угрозы. Примерами таких отходов могут служить канцелярские принадлежности, упаковочные материалы, мебель и инвентарь, утратившие потребительские свойства, а также бытовые отходы лечебно-профилактических учреждений, за исклю-

чением тех, которые связаны с обслуживанием инфекционных и фтизиатрических отделений.

Включение отходов класса А в состав твердых коммунальных отходов (ТКО) облегчает процесс их обращения и утилизации, поскольку они не требуют дополнительного обеззараживания перед утилизацией. Это нововведение особенно актуально для крупногабаритных отходов, таких как мебель или инвентарь, утилизация которых ввиду размеров может быть затруднена.

Отдельно стоит отметить, что в прошлом применение дезинфекции химическими средствами для предметов, соприкасавшихся с биологическими жидкостями или неинфекционными больными, таких как подкладные пеленки, подгузники и средства интимной гигиены, сопровождалось необходимостью использования значительных объемов дезинфицирующих растворов. Однако данная практика предъявляла высокие требования к обеспечению адекватных условий химической обработки и нагружала систему обращения с медицинскими отходами излишним количеством используемых реагентов и необходимостью обеспечения безопасного и эффективного их отвода. (Рисунок 37).



Рис. 37. Отходы медико-санитарной деятельности класса А, собираются в герметичные пакеты

Класс Б.

Медицинские отходы класса Б представляют собой категорию отходов, обладающих потенциалом инфицирования и требующих особого

внимания в связи с возможностью вызвать распространение инфекционных заболеваний и провокацию эпидемий. К таковым относят:

- Материалы и инструменты, на которых присутствуют следы биологических жидкостей, включая кровь. Из-за высокой вероятности содержания возбудителей инфекционных заболеваний, эти отходы требуют пристальной обработки и обеззараживания.

- Патологоанатомические отходы, включающие в себя органы и ткани, полученные в результате патологоанатомических вскрытий или хирургических вмешательств. Такие отходы могут быть заражены широким спектром патогенов.

- Органические послеоперационные отходы — удаленные органы, участки тканей и другие биологические материалы, возникшие в результате проведения хирургических операций.

- Пищевые отходы из инфекционных отделений, которые, в контексте своего возможного контакта с инфекционными больными или их микробиологической флорой, могут служить средой для распространения инфекций.

Управление отходами класса Б имеет свои специфические аспекты и подчиняется строгим правилам, направленным на предотвращение рисков для здоровья населения и безопасность окружающей среды. Обязательным является сбор таких отходов в герметичные емкости или пакеты жёлтого цвета с соответствующей маркировкой (Рисунок 38), однозначно сигнализирующей о содержании потенциально опасных биомедицинских материалов.

Следует придерживаться герметичности упаковки и обеззараживания этих отходов перед их транспортировкой и утилизацией. Методы обработки иногда включают термическое уничтожение, химическое обеззараживание, стерилизацию и другие технологии, обеспечивающие полный разрыв жизнедеятельности микроорганизмов и обеспечение безопасности последующей утилизации.

Работа с классом Б медицинских отходов осуществляется сотрудниками, прошедшими специальную подготовку и использующими защитные средства, чтобы минимизировать любые риски инфицирования. Это ключевой элемент системы обращения с медицинскими отходами, требующий

внедрения и соблюдения строгих протоколов безопасности на всех этапах процесса: от момента образования отходов до их финальной утилизации.



Рис. 38. Отходы медико-санитарной деятельности класса Б.

Класс В.

Чрезвычайно эпидемиологически опасные отходы, которые контактировали с инфекционными болезнями и могут спровоцировать распространение инфекции (Рисунок 39).



Рис. 39. Отходы медико-санитарной деятельности класса В.

Класс В включает следующие типы отходов:

- Отходы лабораторий и фармацевтических производств, имеющие в своем составе микроорганизмы первой и второй групп патогенности, которые могут быть источником заразных болезней.

- Отходы фтизиатрических стационаров, где обслуживаются пациенты с диагнозом туберкулез, представляющие высокий риск распространения данной инфекции.

- Опасные отходы из микробиологических лабораторий, занимающихся исследованиями возбудителя туберкулеза.

- непригодные к использованию живые вакцины, которые содержат живые измененные микроорганизмы и могут представлять опасность при неправильном обращении.

- Отходы, связанные с использованием генно-модифицированных организмов (ГМО) в медицинских и научных целях, учитывая возможные риски для биоразнообразия и здоровья человека.

- Отходы от лекарственных производств и от хранения биомедицинских клеточных препаратов, включающие в себя материалы и субстанции, которые могут быть опасными из-за своих токсических, мутагенных свойств или разнообразия биологических агентов.

Учет и сбор медицинских отходов класса В осуществляется с особым вниманием к их потенциальной опасности. Такие отходы размещаются в специально предназначенные для этой цели герметичные красные пакеты или контейнеры, обозначенные соответствующей маркировкой, которая информирует об уровне биобезопасности и требуемых precautionary measures. Эта мера направлена на предотвращение случайного контакта с опасными веществами и минимизацию рисков распространения инфекционных болезней.

Важно отметить, что работа с отходами этой категории должна производиться квалифицированными специалистами, прошедшими специальное обучение в области биобезопасности и владеющими техникой безопасного обращения с подобными отходами. Кроме того, обязательна строгая адгеренция к нормативным актам, регулирующим процедуры сбора, хранения, транспортировки и утилизации отходов класса В. Эти процессы часто включают использование специального оборудования и технологий, таких как автоклавирование, инцинерация или химическое обез-

вреживание, для обеспечения полной нейтрализации опасных веществ до отправки материалов на окончательную утилизацию.

Класс Г.

Токсикологически опасные отходы, близкие по составу к промышленным. В их числе:

- просроченные лекарственные средства и антисептики;
- цитостатики и химиопрепараты;
- ртутьсодержащие предметы, приборы и оборудование;
- отходы фармацевтических производств;
- отходы от эксплуатации оборудования, систем освещения и др.

Класс Д.

Материалы с радиоактивностью.

8.2. Порядок действия при управлении и работе с отходами медико-санитарной деятельности

Современная схема обращения с медицинскими отходами предусматривает строгое соблюдение определенного порядка действий. Цель данных мер — обеспечить безопасное и эффективное обеззараживание опасных отходов и предотвратить потенциальное распространение инфекций. Рассмотрим поэтапно обновленный алгоритм обращения с медицинскими отходами:

1. ****Сбор отходов****: На первом этапе медицинские отходы собираются непосредственно в местах их образования. Используется одноразовая тара, которая должна соответствовать классу опасности отходов. Это может быть, например, красный контейнер для отходов класса В или жёлтый — для класса Б.

2. ****Транспортировка до места хранения****: Далее отходы помещаются в многоразовые контейнеры, предназначенные для их транспортировки в места временного хранения. Данные контейнеры должны быть прочными, плотно закрывающимися и также соответствовать требованиям безопасности.

3. ****Временное хранение****: Отходы хранятся в специализированных или подсобных помещениях в течение срока до 24 часов. При необходимости хранения более длительного периода используются холодильные

или морозильные камеры для предотвращения размножения микроорганизмов и снижения рисков инфекционной опасности.

4. ****Обеззараживание****: Медицинские отходы класса опасности В и Б подвергаются дезинфекции или обеззараживанию. Используются методы, такие как термическая обработка, химическое обеззараживание, автоклавирование или облучение в зависимости от типа вида отходов и наличия соответствующего оборудования. Важным аспектом обновленных правил является четкое определение действий сотрудников в случае остановки техники для обеззараживания, чтобы исключить риск распространения инфекции.

5. ****Транспортировка к месту утилизации****: Наконец, отходы транспортируются к месту окончательной утилизации на специально оборудованных автомобилях. Перевозка осуществляется специализированными компаниями, которые имеют соответствующие лицензии и заключили договоры с лечебно-профилактическими учреждениями (ЛПУ).

Кроме того, в новых правилах акцентируется внимание на последовательности дезинфекции многоразового оборудования, что включает в себя четкие инструкции по обработке и необходимые периодичность и методы дезинфекции, гарантирующие уничтожение вредных микроорганизмов и предотвращение их распространения.

Все этапы процесса - от сбора отходов до их утилизации - должны строго контролироваться и документально фиксироваться для обеспечения полной прозрачности и соответствия нормативно-правовым требованиям. Обращение с медицинскими отходами - ключевая задача для обеспечения экологической безопасности и предотвращения риска для общественного здравоохранения.

Медицинские учреждения несут ответственность за строгое соблюдение санитарно-эпидемиологических норм, чтобы поддерживать необходимый уровень безопасности при обращении с медицинскими отходами. Определенные требования предполагают создание специализированных участков для эффективного и безопасного сбора, накопления, обеззараживания и утилизации медицинских отходов. Рассмотрим основные аспекты, определяющие конструктивные и функциональные характеристики такого участка:

1. ****Разделение на зоны****: Участок должен включать четко обозначенные "чистые" и "грязные" зоны. Целью такого разделения является

предотвращение перекрестного загрязнения между зонами, что помогает минимизировать риски распространения инфекционных агентов.

2. ****Коммуникационное обеспечение****: Инфраструктура участка должна обладать всем необходимым, начиная от сетей канализации и водоснабжения до систем отопления и электроснабжения. Обязательным условием является наличие автономной вентиляционной системы, обеспечивающей поддержание необходимых условий и предотвращение распространения запахов и возбудителей инфекций.

3. ****Холодильное оборудование****: Для длительного хранения отходов класса Б, которые необходимо держать в условиях низких температур более 24 часов для предотвращения разложения и роста бактерий, должно быть предусмотрено соответствующее холодильное оборудование (Рисунок 40).

4. ****Материалы покрытий****: Поверхности стен, полов, потолков и мебели должны быть изготовлены из материалов, устойчивых к активному мытью и дезинфекции, что важно для поддержания санитарных условий на участке.

5. ****Вентиляционные системы****: Они должны быть спроектированы таким образом, чтобы воздух из "грязных" зон не проникал в "чистые", предупреждая тем самым распространение инфекционных агентов по территории и вне ее.

6. ****Специальное оборудование****: В зонах накопления и обработки отходов необходимы установки для мытья и полоскания оборудования – краны с водой и поддоны, а также раковины для санитарной обработки рук персонала.

7. ****Терморегуляция и влажность****: Поддержание оптимального микроклимата в помещениях обрабатывающего участка с температурным режимом от +18 до +25 °С и относительной влажностью не выше 75% обеспечивает стабильное состояние хранения отходов и комфортные условия работы персонала.

Приведенные требования являются необходимыми для создания контролируемой среды, обеспечивающей должное санитарно-эпидемиологическое состояние в контексте работы с медицинскими отходами. Строгое следование этим стандартам позволяет учреждениям здравоохранения минимизировать риски для здоровья персонала и пациентов, а также для окружающей природной среды.



Рис. 40. Холодильное оборудование для хранения отходов медико-санитарной деятельности

Современные СанПиН уже не предусматривают строгих требований к высоте помещения, вместо этого рекомендуется ориентироваться на указания производителей используемого медицинского оборудования. Контроль качества воздуха и микроклимата в рабочих зонах хоть и не является уже обязательным, но для обеспечения высокого стандарта безопасности добросовестные руководители продолжают соблюдать эти показатели.

С учетом обновленных регуляторных требований, критическим моментом в сфере управления медицинскими отходами является их хранение в условиях, исключающих возможность доступа неавторизованных лиц. Класс В медицинских отходов, которые содержат в своем составе биологические вещества и материалы, способные стать источником инфекционных заболеваний, требуют особого внимания.

Специально обустроенные участки для хранения медицинских отходов класса В представляют собой закрытые территории или помещения, в которых поддерживаются контролируемые условия. Такие участки оснащены всеми необходимыми средствами безопасности и изоляции, а также снабжены системами контроля доступа, что является важной мерой предосторожности против несанкционированного входа.

Доступ к этим участкам строго регламентирован и предоставляется исключительно квалифицированному персоналу, обладающему соответствующей подготовкой и разрешениями. Это минимизирует риск распространения инфекций и предотвращает возможный контакт с опасными

веществами для тех, кто не участвует в процессе обработки и утилизации медицинских отходов.

Конструктивные и функциональные требования к таким участкам включают в себя (Рисунок 41):

- Физическую изоляцию участка от других зон медицинского учреждения и общественных территорий;
- Внедрение систем ограничения доступа, например, через применение замков, электронных карт доступа или шлагбаумов;
- Установку видеонаблюдения и систем безопасности для контроля за соблюдением регламента доступа;
- Организацию контроля за состоянием отходов в процессе их хранения с точки зрения температурного режима, влажности и других параметров, которые могут влиять на безопасность.



Рис. 41. Участки для хранения отходов медико-санитарной деятельности

Меры предосторожности по хранению медицинских отходов класса В направлены не только на защиту здоровья человека, но и на поддержание

экологической безопасности. Профессиональное управление медицинскими отходами способствует снижению потенциальных рисков для окружающей среды и здоровья населения.

Допускается временное хранение отходов медико-санитарной деятельности класса А и Б на специализированных межкорпусных площадках, предназначенных исключительно для этих целей. Это позволяет упорядочить процесс обращения с медицинскими отходами и обеспечить высокую степень контроля за их сбором, хранением и утилизацией.

Для перевозки отходов медико-санитарной деятельности используют специализированный транспорт (Рисунок 42).



Рис. 42. Транспорт для перевозки отходов медико-санитарной деятельности

В СанПиН, определён свод правил и рекомендаций, регламентирующих действия персонала медицинских учреждений в случае нечаянного разлива или просыпания медицинских отходов классов Б и В, которые, в силу определённых обстоятельств, ещё не прошли процедуру обеззараживания. Обращение с медицинскими отходами в таких экстраординарных ситуациях должно проходить с особой осторожностью и с соблюдением следующего порядка действий:

1. Сбор разлитых или просыпавшихся медицинских отходов следует выполнять, используя одноразовые уборочные принадлежности или сред-

ства индивидуальной защиты (СИЗ), что минимизирует прямой контакт сопровождающего персонала с зараженными веществами.

2. Собранные отходы укладывают в новые пакеты или контейнеры, которые должны иметь желтую или красную окраску, соответствующую классу опасности собираемых отходов. После сбора следует осуществить герметичную упаковку собранных отходов и надлежащую их маркировку.

Место, на котором произошла утечка, необходимо тщательно обработать используя растворы дезинфицирующих средств. Это позволяет предотвратить дальнейшее распространение возбудителей инфекций и обеспечивает санитарную безопасность.

4. Инвентарь и СИЗ, применённые для сбора и уборки разлитых медицинских отходов, также следует упаковать в специальную ёмкость, цвет которой соответствует классу опасности отходов. Закрытие такой емкости осуществляется с использованием бирки-стяжки, после чего емкость маркируется.

5. Пакет или контейнер с отходами, а также емкость с использованными средствами защиты и инвентарём, необходимо доставить в заранее определённое место для последующей дезинфекции или временного хранения до момента окончательной утилизации.

Соблюдение установленных СанПиН процедур обращения с медицинскими отходами классов Б и В при аварийных ситуациях позволяет сократить риски для здоровья персонала, посетителей медицинской организации, а также для окружающей среды, обеспечивая высокую степень контроля над инфекционным загрязнением.

8.3. Дезинфекция отходов медико-санитарной деятельности

Существует несколько способов дезинфекции и обеззараживания эпидемиологически опасных медицинских отходов, качество обработки находится под контролем специально обученного персонала, который должен вести журналы учёта. Журнал учёта ведётся в целях регламентации процесса обращения с медицинскими отходами в медицинских организациях введены строгие требования к ведению документации.

Подробное документирование каждого этапа обращения с медицинскими отходами и соответствующей спецодеждой позволяет повысить контроль за безопасностью биологических и инфекционных рисков, которые несут в себе медицинские отходы.

Эффективный учёт и контроль за оборотом медицинских отходов через систему документации также способствует прозрачности и ответственности всех процессов управления и работы с отходами.

Физические методы обеззараживания медицинских отходов считается эффективнее химических, но требует покупки дорогостоящего оборудования и организации специальных мест для утилизации. Боксы с инфракрасным излучением поддерживают стерильность предметов после обработки.

Применение растворов на основе хлора или четвертичных аммониевых соединений является одной из наиболее доступных методик химической дезинфекции. Хлорсодержащие средства эффективны против широкого спектра микроорганизмов, включая бактерии, некоторые вирусы и грибы. Четвертичные аммониевые соединения также известны своими антимикробными свойствами, в особенности в отношении грамположительных и грамотрицательных бактерий.

Важно отметить, что нет универсального дезинфектанта, и химические реагенты могут не обладать достаточной эффективностью против всех типов микроорганизмов. Например, проблематичным остаётся уничтожение определенных типов бактериальных спор и некоторых вирусов, резистентных к химическим средствам. В связи с этим, химическая дезинфекция рассматривается как промежуточная стадия подготовки к последующей более интенсивной обработке, такой как стерилизация с использованием высоких температур или иных методов, способных гарантировать уничтожение всех форм микроорганизмов на обрабатываемых поверхностях.

Применение химических дезинфектантов для обработки медицинских отходов также может использоваться в качестве временной меры до момента их утилизации. Это позволяет снизить риск распространения инфекций в период между накоплением отходов и их окончательной обработкой.

В дезкамерах КД/КПД ЗАО «Турмалин» (<https://turmalin.ru/dezkamery>) применяется паровоздушный (физический) метод дезинфекции (Рисунок 43).

Автоклавирование с применением насыщенного водяного пара является одним из наиболее эффективных и широко применимых методов стерилизации медицинского инструментария и материалов. Преимущество данного метода заключается в его способности уничтожать широкий спектр микроорганизмов, включая бактерии, вирусы и бактериальные споры.

Механизм действия автоклавирования основывается на воздействии высокотемпературного насыщенного водяного пара под давлением на материалы, помещённые в автоклавную камеру. Данный процесс приводит к коагуляции и денатурации белков клеток микроорганизмов, что является необратимым процессом и ведёт к их гибели.



Рис. 43. Обеззараживание на паровоздушноформалиновые дезкамеры КПД-ЗР

Для достижения полного эффекта стерилизации, важно обеспечить прямой контакт пара с обрабатываемой поверхностью. В связи с этим, метод автоклавирования наиболее подходит для изделий с гладкими покрытиями и простой конструкцией. Предметы должны быть расположены таким образом, чтобы стерилизационный пар свободно циркулировал между ними и достигал всех поверхностей.

Обработка автоклавированием неэффективна для изделий с скрытыми отсеками, деталями сложной формы или пористыми поверхностями, так как в таких участках пар может не обеспечить нужное воздействие из-за ограниченного доступа. В таких случаях требуются альтернативные методы стерилизации или специализированные автоклавы, способные устранять проблемы с диффузией пара.

Параметры процесса автоклавирования, такие как время воздействия, температура и давление, строго регламентированы стандартами и должны контролироваться при каждом цикле стерилизации для гарантии достиже-

ния полного стерильного эффекта и безопасности обработки медицинских инструментов.

Обработка отходов медико-санитарной деятельности ионизирующим излучением подходит для пластиковых предметов, однако есть риск облучения персонала (Рисунок 44).



Рис. 44. Обезвреживание отходов медико-санитарной деятельности излучением

Микроволновая обработка, упомянута в НДТ 7.1, представляет собой технологию, обеспечивающую полное обеззараживание отходов. Этот метод позволяет не только нейтрализовать возбудителей инфекций в отходах класса Б и В, но и, что немаловажно, позволяет извлекать из этих отходов вторичные ресурсы. В ходе обезвреживания происходит термическая обработка материалов, что приводит к полному уничтожению микроорганизмов и вирусов без использования химических реагентов, которые могут представлять угрозу при обработке токсичных отходов 1-2 классов. Преимущества микроволновой обработки: - Высокая эффективность и гарантия стопроцентного обеззараживания отходов; - Отсутствие необходимости в дополнительных химических агентах, что делает процесс экологически безопаснее; - Сокращение объема и массы отходов путем их высушивания; - Возможность извлечения вторичных материалов, таких как пластмассы, металлы и стекло, для последующего использования в промышленных и производственных целях.

На Рисунках 45-48 представлены установки термической утилизации разных производителей.



Рис. 45. Малогабаритная установка термической утилизации.



Рис. 46. Крупногабаритная установка термической утилизации.



Рис. 47. Установка термической утилизации в р.п. Коченево, «Спецзавод Квант»

9. ПЕРЕРАБОТКА НЕФТЕСОДЕРЖАЩИХ ОТХОДОВ

В процессе хранения и транспортировки нефтепродуктов, строительства, испытания и ремонта нефтяных и газовых скважин образуются различные по составу и физико-химическим свойствам нефтесодержащие отходы (НСО). До 5% добытой нефти теряется при осуществлении технологических операций от добычи до потребления, но сколько неизвестно (Рисунок 48). По данным Минприроды объем НСО составляет 1.5 млн. тонн/год, а по данным Росприроднадзора 17 тыс. тонн/год.



Рис. 48. Загрязнение НСО при добыче нефти.

Нефтяные осадки, скапливающиеся в очистных сооружениях на промышленных предприятиях, могут быть классифицированы на две основные группы в зависимости от времени их хранения:

1. Долго хранящиеся осадки – это отходы, которые находились в накопителях в течение нескольких лет. За это время в составах накапливаются изменения, влияющие на физико-химические свойства смесей.

2. Свежие нефтяные шламы – это более недавно сформированные отложения, которые характеризуются другими физико-химическими характеристиками.

В процессе хранения происходит перемешивание и разбавление водой нефтяных осадков, что позволяет временно восстановить их текучесть. Это обусловлено «тиксотропными» свойствами нефтяного шлама, при которых его вязкость снижается при воздействии сдвиговых нагрузок и увеличивается в состоянии покоя. Однако такое разбавление приводит к увеличению объёма нефтяного шлама и, как следствие, возрастанию содержания воды в осадке. Это происходит из-за неполной деструкции коллоидных агрегатов шлама, что способствует формированию коллоидно-связанной воды и препятствует агломерации твёрдой фазы.

Длительное хранение нефтяных осадков приводит к их стратификации, то есть разделению на слои, каждый из которых имеет свои особенности:

1. Верхний слой – представляет собой водо-нефтяную эмульсию, в которой нефтепродукты стабилизированы за счёт мелкодисперсных механических примесей коллоидных размеров. Удаление данного слоя требует применения специальных методов обработки, например, экстракции или сжигания в качестве вторичного топлива.

2. Средний слой – содержит загрязнённую воду, которую можно подвергать дополнительной очистке для возможности её возврата в производственные или природные циклы.

3. Донный слой – является наиболее плотной частью шлама, включая твёрдые частицы и относительно стабильное количество нефтяных компонентов, что делает его наименее подверженным влиянию времени по сравнению с верхним и средним слоем.

Рациональная утилизация и обработка каждого из слоёв нефтяных осадков требуют детального понимания их свойств и состава и выбора соответствующих методов переработки, ориентированных на минимизацию воздействия на окружающую среду и восстановление потенциально полезных ресурсов.

НСО накапливаются в специальных накопителях очистных сооружений. Сюда поступает нефтяная эмульсия, формирующаяся в результате работы системы сбора ловушечной нефти, зачистки резервуаров, пена флотации, утечек в трубопроводной системе, образования продуктов промывки трубопроводов. На Рисунке 49 представлен состав нефтешламов в элементах очистных сооружений.

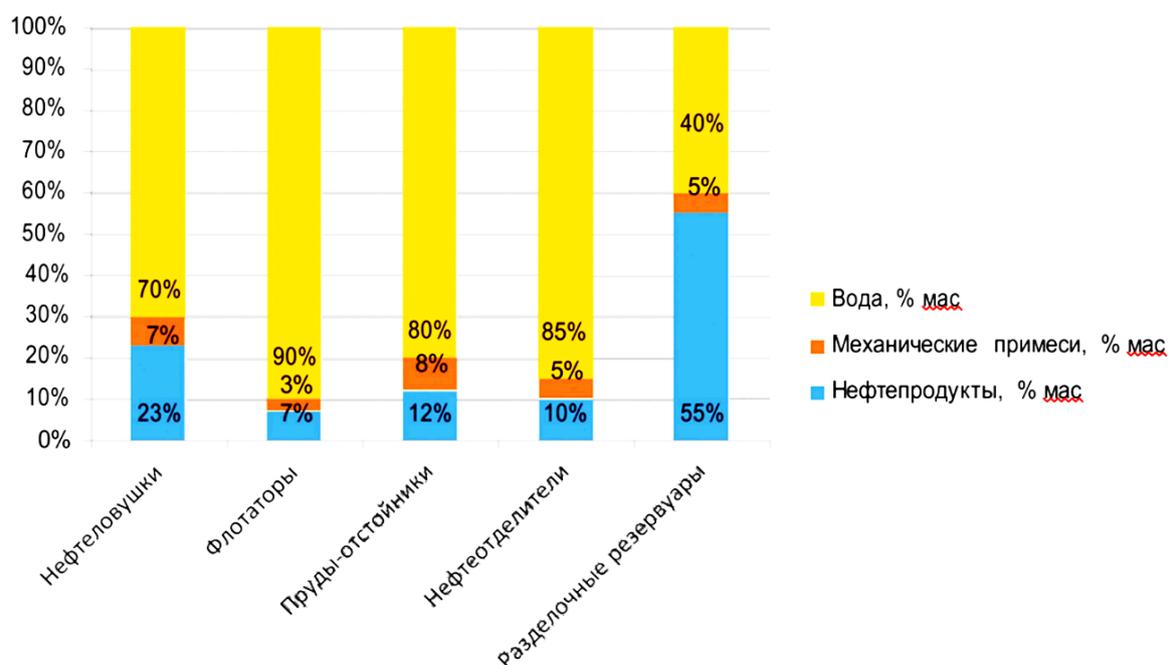


Рис. 49. Состав нефтешламов в очистных сооружениях предприятия

Утилизацией и обезвреживанием НСО занимаются порядка 51 нефтедобывающие и нефтеперерабатывающие предприятий. В Таблице 15 представлены некоторые.

Таблица 15

Нефтедобывающие и нефтеперерабатывающие предприятия РФ.

	Регион, город	Предприятия
ПАО «НК «Роснефть»		
1	ХМАО-Югра, г. Нефтеюганск	ООО «РН-Юганскнефтегаз»
2	ЯНАО, г. Губкинский	ООО «РН-Пурнефтегаз»
3	Самарская область, г. Самара	ОАО «Самаранефтегаз»
4	Томская область, г. Томск	ОАО «Томскнефть» ВНК
16	Саратовская область, г. Саратов	ПАО «Саратовский НПЗ»
ПАО «ЛУКОЙЛ»		
17	ХМАО-Югра, г. Когалым,	ООО «ЛУКОЙЛ-Западная Сибирь»
18	Республика Коми, г. Усинск	ООО «ЛУКОЙЛ-Коми»
19	Пермский край, г. Пермь	ООО «ЛУКОЙЛ-

Основными направлениями управления и работы с отходами нефтепродуктов, утративших потребительские свойства, и нефтесодержащих отходов являются нетермические и термические способы [13]:

- очистка от примесей с целью восстановления исходных характеристик качества масел и дальнейшее их использование по прямому назначению;
- подготовка к использованию в качестве вторичного сырья;
- биоремедиация;
- термические.

Необходимо учитывать, что после очистки вторичные отходы, как правило, содержат накопленные загрязнители и должны подвергаться дальнейшей обработке или обезвреживанию в соответствии с экологическими стандартами и нормам.

9.1. Физическая очистка для последующего использования НСО

Отходы, содержащие нефть и нефтепродукты можно физически очистить используя отстаивание, фильтрация, центробежная очистка, адсорбция, коагуляция, термовакуумная сушка, селективное растворение.

Метод отстаивания является традиционным способом разделения жидких смесей, используемым в промышленности нефти и нефтепродуктов. Принцип действия этого метода основан на разделении компонентов смеси под действием гравитации, при котором более тяжелые элементы, такие как вода и механические примеси, оседают на дно емкости.

Эффективность процесса отстаивания зависит от нескольких ключевых факторов:

- Удельные веса нефтепродуктов и примесей: Чем больше разница в удельных весах компонентов смеси, тем быстрее и эффективнее будет процесс разделения.

- Вязкость масла: Низкая вязкость нефтепродуктов способствует более быстрому оседанию примесей по причине меньшего сопротивления движению частиц сквозь нефтяную матрицу.

- Состояние нефтепродуктов: Необходимо обеспечить покойное состояние смеси в резервуаре-отстойнике, чтобы не допустить взбалтывания и перемешивания слоев, что может замедлить разделение компонентов.

- Время отстоя: Оптимальный период для отстаивания обычно составляет не менее десяти дней, как это позволяет полнее отделить чистые нефтепродукты от воды и механических примесей.

Используемые для отстаивания резервуары могут быть как горизонтальными, так и вертикальными, при этом ключевым является достаточный объем емкости для проведения процесса без переполнения и создания устойчивых слоев.

Фильтрация представляет собой параллельно используемый метод очистки нефтепродуктов, который позволяет удалить механические примеси и смолистые соединения. Процесс фильтрации заключается в пропускании масла через материалы с порами или ячейками определенного размера, что позволяет удерживать частицы примесей и пропускать более чистую фракцию.

На схеме установки фильтрации, которую можно наблюдать на рисунке 50, показаны основные компоненты системы и каналы потока масла. Система фильтрации включает в себя фильтрующие элементы, которые могут быть выполнены в виде сетчатых, фиброзных или иных пористых структур в зависимости от требуемого уровня очистки и свойств обрабатываемого нефтепродукта. Обеспечивая тщательное удаление примесей, фильтрация является неотъемлемым шагом при подготовке нефтепродуктов к дальнейшему использованию или утилизации.

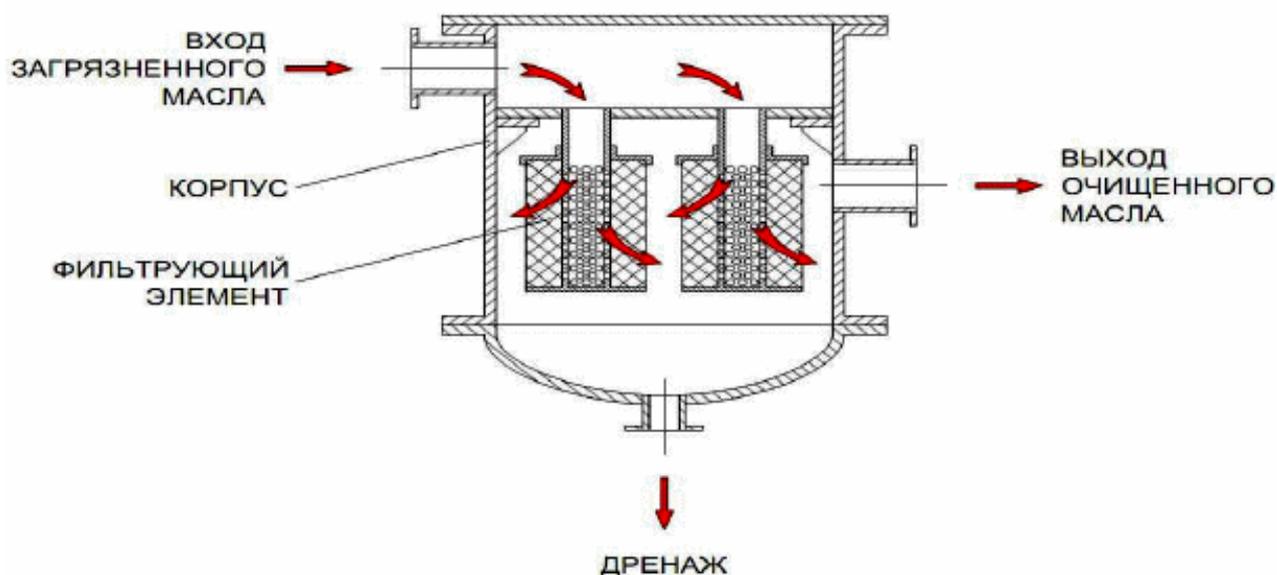


Рис. 50. Методика фильтрации

Декантеры – это разновидность осадительных центрифуг, оснащённых горизонтальным вращающимся барабаном и шнековым механизмом для непрерывной выгрузки осадка.

Эти устройства предназначены преимущественно для эффективного отделения твёрдых частиц различного размера (от 5 миллиметров до нескольких микрон) от жидкой фазы и способны работать с широким спектром концентраций твёрдой фазы в суспензии. На Рисунке 51 представлена схема работы декантера.



Рис. 51. Схема работы декантера

Принцип действия декантера заключается в следующем:

1. Исходный материал подаётся в барабан декантера через центральный трубопровод, который проходит в полый вал шнека.

2. Продукт выходит из трубы и распределяется вдоль барабана, начиная вращаться под воздействием центрифуги. Ротор барабана плавно разгоняется до достижения максимальной угловой скорости.

3. Вследствие действия центробежной силы, которая может достигать значений свыше 3000 G, частицы твёрдой фазы перемещаются к внутренней стенке барабана, а затем – к его коническому концу благодаря шнеку.

4. Транспортировочная функция шнека обусловлена разницей скоростей вращения барабана и самого шнека. Таким образом, твёрдые частицы осадка продвигаются в сторону узкой части барабана, где и собираются для последующего удаления.

5. Жидкая фаза, уже очищенная от твёрдых частиц, собирается с противоположного конца барабана и выгружается из декантера.

Процесс разделения происходит в цилиндрической части барабана, что обеспечивает максимально эффективное и непрерывное отделение твёрдой фазы от жидкой.

Применение декантерных центрифуг позволяет проводить процесс сепарации быстро и с высокой эффективностью, что делает их незаменимыми в промышленности, особенно при обработке стоков, шламов и других суспензий.

9.2. Физико-химические методы

Физико-химический метод реагентного капсулирования заключается в использовании реагентов, которые вступают во взаимодействие с отходами, превращая их в безопасные для окружающей среды соединения.

Процесс реагентного капсулирования включает следующие этапы:

1. Обработка отходов оксидом щелочноземельного металла.
2. Использование поверхностно-активных веществ (ПАВ)
3. Смешивание отходов с предварительно обработанным оксидом в определённых пропорциях, где соотношение "отходы-реагент" может колебаться в зависимости от конкретных требований, по диапазону от 1:1 до 1:10.
4. Взаимодействие оксидов щелочноземельных металлов с водой в отходах, при котором происходит образование гидроксида.
5. Формирование капсулы.

Полученный после капсулирования материал характеризуется следующими свойствами инертен к воздействию воды и почвы.

На Рисунке 52 показана схема установки обезвреживания нефтесодержащих отходов физико-химическим методом [13]. Процесс обработки нефтесодержащих отходов начинается с их поступления в специальный бункер (1), где они аккумулируются для последующей подачи в систему. С

помощью шнека (2) отходы транспортируются в реактор-смеситель (3), где производится их обработка с применением различных реагентов. Необходимые химические реагенты хранятся в отдельном резервуаре (4). Из него они подаются через дозирующее устройство (5), которое обеспечивает точное соблюдение пропорций ингредиентов. После дозирования реагенты перемещаются шнековым конвейером (6) и поступают в реактор-смеситель (3), где смешивание с отходами приводит к их обезвреживанию. После обработки полученный очищенный и обезвреженный продукт удаляется из системы посредством ленточного транспортера (7). Такой подход позволяет автоматизировать процесс отвода очищенных нефтесодержащих отходов. Весь процесс управления установкой осуществляется оператором с контрольного пульта (8). Это позволяет мониторить ход процесса, регулировать параметры подачи реагентов и отходов, а также реагировать на любые изменения в системе для обеспечения её эффективного функционирования.

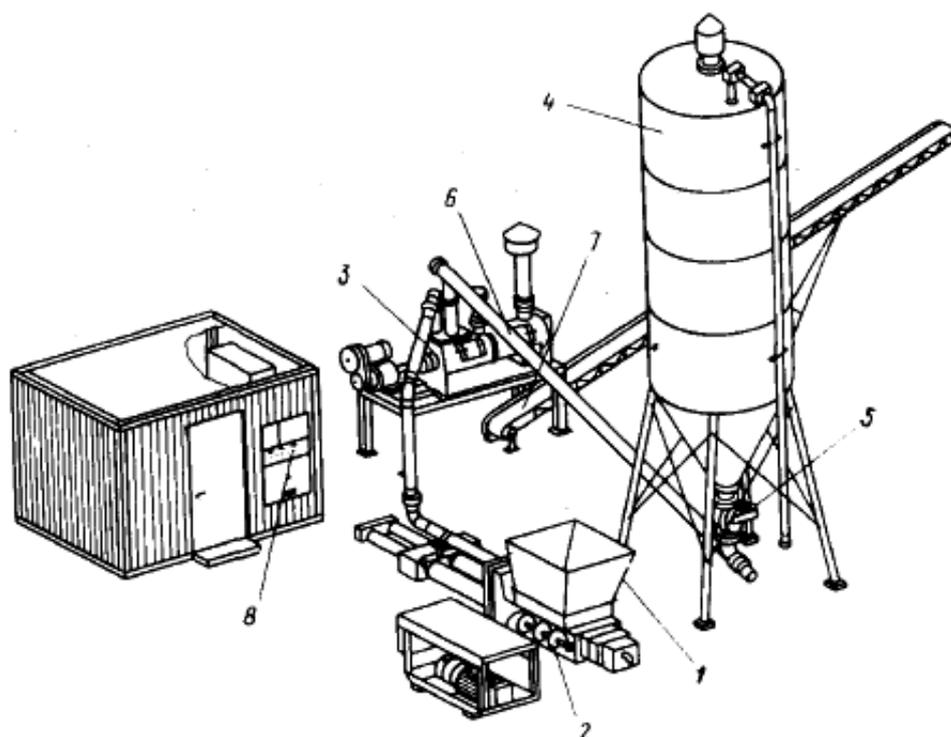


Рис. 52. Схема установки обезвреживания

нефтесодержащих отходов физико-химическим методом [13]

- 1 - загрузочный бункер; 2 - шнек; 3 - реактор-смеситель; 4 - резервуар для реагентов; 5 - дозатор; 6 - шнековый конвейер; 7 - ленточный транспортер; 8 - пульт управления

В ходе процесса обработки нефтесодержащих отходов могут образовываться вредные выбросы, такие как пыль, легкие фракции углеводородов, меркаптаны и сероводород. Чтобы минимизировать воздействие этих загрязняющих веществ на окружающую среду и здоровье человека, предусмотрено применение специализированных очистительных систем. Ионообменные вентиляционные фильтры являются одним из эффективных решений для такой очистки. Принцип работы ионообменных фильтров заключается в поглощении и необратимом удержании частиц металлов и других загрязнителей с помощью ионообменных смол. Эти фильтры представляют собой заполненные ионообменной смолой контейнеры, через которые пропускается загрязненный воздух. Ион-обменные реакции, происходящие в смоле, связывают вредные компоненты и препятствуют их выбросу в атмосферу, тем самым обеспечивая безопасность экологической системы и здоровья людей.

9.3 Биоремедиация нефтесодержащих отходов и грунтов

Биологические технологии переработки нефтесодержащих отходов — это направление экологически ответственной утилизации и обезвреживания, использующее естественные биологические процессы. Основой этих технологий является введение специализированных микроорганизмов, способных разрушать нефтяную фазу в отходах через процессы микробной биодеструкции углеводородного компонента.

Применение микроорганизмов ориентировано на стимулирование и ускорение естественных процессов биodeградации нефтяных веществ. Множество разработанных биопрепаратов и агротехнических приёмов направлены на эффективное разложение нефти и нефтепродуктов. Однако эффективность применения биологических методов зависит от нескольких ключевых параметров, включающих:

- спектр активности биопрепаратов, то есть их способность разлагать конкретные типы углеводородов;
- температурные показатели окружающей среды, влияющие на активность микроорганизмов;
- уровень рН среды, так как кислотность может сдерживать биологическую активность;

– наличие кислорода, необходимого для жизнедеятельности аэробных микроорганизмов.

Биоремедиация – это метод, при котором в нефтесодержащие отходы вносят микроорганизмы, способные осуществлять окисление углеводов. Фиторемедиация использует способность растений и связанных с ними микроорганизмов поглощать, накапливать и разлагать загрязнители. При этом в почву вносятся удобрения для усиления роста отдельных видов трав, которые способствуют очищению почвы от нефтяного загрязнения.

В случаях, когда нефтесодержащие отходы возникают при очистке емкостей и резервуаров, а также при аварийных разливах или в ходе повседневной деятельности предприятий, они могут быть подвергнуты обработке с применением биоагентов. Такие методы позволяют возвращать экологически нарушенные участки к естественному состоянию, обеспечивая детоксикацию и восстановление почвенного плодородия. Биоремедиация и фиторемедиация также могут использоваться в комбинации для повышения общей эффективности очистки загрязнённых участков. Технологическая схема процесса утилизации и обезвреживания нефтесодержащих отходов биологическими методами приведена на Рисунке 53 [13].



Рис. 53. Технологическая схема процесса утилизации и обезвреживания нефтесодержащих отходов (НСО) биологическими методами [13]

Одним из типов технологий, применяемых при биоремедиации, заключается в том, что нефтесодержащие отходы размещаются на специально обустроенной площадке и засеваются сообществом бактерий *Bakterium*, *Actinomyces*, *Artrobactes*, *Thiobacterium*, *Desulfotomasilium*, *Pseudomons*, *Hydiomonas*, *Bacillus* и другие, а также низшие формы грибов *Candida*. Для стимуляции роста и метаболизма микроорганизмов проводят аэрацию, обеспечивают питательными веществами и водой.

В случае её долговременного использования площадка должна соответствовать своду правил СП 540.1325800.2024 «Накопители жидких промышленных отходов».

Для улучшения работы бактерий – нефтеструктураторов при низких температурах РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина предложил использовать пероксид кальция, который способен к генерированию свободного кислорода. Экспериментально найденная оптимальная доза пероксида кальция способствует обезвреживанию до 93% загрязнений.

9.4. Термические способы переработки НСО

Отходы, которые нельзя подвергнуть повторному использованию для исходных целей или переработать вторичным образом для получения материальных ресурсов, должны быть ликвидированы с применением наиболее эффективных термических технологий. Такие технологии предусматривают восстановление энергии путем сжигания в специализированных мусоросжигательных установках.

Основная цель применения мусоросжигательных установок для обработки опасных отходов – это минимизация воздействия на окружающую среду и одновременное повышение уровня энергоэффективности. Термическая обработка предоставляет возможность не только уничтожить опасные вещества, но и извлечь из них энергетический потенциал, что способствует созданию более устойчивой и экономичной системы управления и работы с отходами.

Перед использованием в МСЗ необходимо контролировать состав отходов. Ориентироваться необходимо на руководящие документы [14, 17].

Термическое обезвреживание опасных нефтесодержащих отходов (НСО) представляет собой сложный процесс, соответствующий опреде-

ленным нормативно-документальным требованиям (НДТ). Для его реализации необходимо тщательно проанализировать и обеспечить надлежащее выполнение каждого из следующих этапов:

1. ****Приём поступающих на обезвреживание отходов:****

Организация приема отходов должна учитывать их класс опасности, количественные и качественные характеристики для последующей корректной обработки.

2. ****Хранение (накопление) обезвреживаемых отходов:****

Процесс хранения должен минимизировать риски утечки и воздействия на окружающую среду и здоровье человека, а также обеспечивать сохранение свойств отходов до их обработки.

3. ****Предварительная подготовка отходов (сырья):****

Необходима классификация, сортировка и, при необходимости, предварительная обработка сырья для улучшения эффективности его последующего обезвреживания.

4. ****Технологии, применяемые на этапе термического обезвреживания:****

Выбор технологии должен определяться типом и свойствами обрабатываемых отходов, стремлением к максимальной эффективности и минимизации вредных воздействий на экологию.

5. ****Энергоэффективность и теплоиспользование:****

Повышение энергоэффективности и использование тепла, генерируемого в процессе обезвреживания, позволяют сокращать экологический след и операционные расходы.

6. ****Технологии очистки газообразных продуктов сгорания:****

Очистка выхлопных газов должна обеспечить снижение выбросов загрязняющих веществ до уровня, не превышающего нормативные показатели.

7. ****Обработка остатков, образующихся при очистке газообразных продуктов сгорания:****

Остатки, такие как шлаки и зола, требуют определения перспективных способов их утилизации или обезвреживания.

8. ****Удаление остатков, образующихся при очистке газообразных продуктов сгорания:****

Обращение со шлаками и другими отходами должно сопровождаться их безопасным и экологически рациональным вывозом и утилизацией.

9. ****Мониторинг (производственный контроль) и регулирование выбросов:****

Постоянный контроль за выбросами в процессе сжигания позволяет оптимизировать процесс обезвреживания и своевременно корректировать его параметры.

10. ****Контроль и обработка сточных вод:****

Эффективная очистка сточных вод, возникающих в процессе термического обезвреживания, критична для предотвращения загрязнения водоемов.

11. ****Обращение со шлаками и зольными остатками, образующимися в результате сжигания:****

Рациональное использование или утилизация шлаков и зольных остатков является важной частью в цикле обращения с отходами после их термической обработки.

Применение комплексного подхода на каждом из этапов с соответствующим контролем и регулиацией, обеспечит не только эффективное обезвреживание опасных НСО, но и минимизацию воздействия на окружающую среду и здоровье человека.

На Рисунках 54-57 представлены некоторые установки термической утилизации НСО.



Рис. 54. Установки ТДУ ФАКТОР-500



Рис. 55. Один из первых инсинераторов ИИ 50



Рис. 56. Схема установок КТО-50, КТО-100, КТО-150, КТО-1000.БМ.КСЖ/ КТО-1000.БМ.Ц



Рис. 57. Комплекс КТО-150. Группа "Безопасные Технологии"

9.5. Уровни эмиссии в окружающую среду при переработке НСО

В ходе проведения работ по переработке нефтесодержащих отходов (НСО) возникает ряд экологических вызовов, связанных с выбросами в окружающую среду.

Загрязняющие вещества, которые выделяются в результате работы техники в составе выхлопных газов автомобилей, погрузчиков, электрогенераторов, могут включать в себя:

- Неорганическую пыль — частицы, образованные в результате разрушения материалов в процессе механической обработки;
- Углеводороды, включающие летучие органические соединения (ЛОС)
- Продукты горения: оксиды углерода, азота, серы

Также, технологические площадки могут стать источником шума и вибрации, что также требует внимания и регулирования в соответствии с нормами и стандартами.

Работы по переработке НСО могут приводить к образованию вторичных отходов, для которых необходимо разработать и реализовать безопасные методы обращения и удаления. Упомянутые выше выбросы в виде пыли, легких фракций углеводородов, меркаптанов, сероводорода могут быть очищены с использованием современных фильтрующих устройств — например, ионообменных или вентиляционных фильтров, способных задерживать и нейтрализовать указанные загрязнители.

Процессы переработки НСО несут в себе риски для подземных вод, что обуславливает необходимость конструктивных и процессуальных мер по их предотвращению и минимизации. Реализация комплексных систем мониторинга и контроля выбросов, а также внедрение закрытых циклов для воды снижает риски.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Федеральный проект «Экономика замкнутого цикла» является частью национальной стратегии развития устойчивого обращения с отходами и формирования циркулярной экономики. Введение проекта обусловлено необходимостью оптимизации системы управления отходами, уменьшения их негативного воздействия на окружающую среду и увеличения доли вторичного использования ресурсов.

Анализ целей проекта позволяет выделить три основные задачи к 2030 году: достижение 100% уровня сортировки твердых коммунальных отходов (ТКО), сокращение объема захоронения ТКО до 50%, вовлечение в хозяйственный оборот не менее 25% отходов производства и потребления. К 2036 году планируется обезвредить и утилизировать не менее 50% отходов I-II классов опасности, что требует применения передовых и безопасных технологических решений, обеспечения контроля за содержанием и перемещением таких отходов, а также развития сети специализированных объектов для их обработки. Реализация этих масштабных планов невозможно без наличия квалифицированных специалистов.

Данная монография является кратким изложением сведений необходимых для подготовки специалиста по управлению отходами по дисциплине «Физико-химические методы переработки медицинских и отходов производства и потребления» по направлению 20.03.01 «Техносферная безопасность (уровень магистратуры)», профиль подготовки: «Управление технологическими процессами в сфере управления и работы с отходами на объекте экономики».

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. ФЗ №89-ФЗ "Об отходах производства и потребления";
2. ФЗ №7-ФЗ "Об охране окружающей среды"
3. Федеральный проект «Экономика замкнутого цикла» https://www.mnr.gov.ru/activity/environmental_well-being/federalnyy-proekt-ekonomika-zamknutogo-tsikla/?ysclid=mdo19vfi3u762869248
4. ГОСТ Р 56828.31-2017 «Наилучшие доступные технологии. Ресурсосбережение. Иерархический порядок управления и работы с отходами».
5. ГОСТ 30772-2001 «Ресурсосбережение. Обращение с отходами. Термины и определения».
6. ГОСТ Р 54533-2011 (ИСО 15270:2008) «Ресурсосбережение. Обращение с отходами. Руководящие принципы и методы утилизации полимерных отходов».
7. Градостроительный кодекс РФ;
8. Постановление Правительства РФ №1156 "Об обращении с ТКО";
9. СП 320.1325800.2017 «Полигоны для твердых коммунальных отходов. Проектирование, эксплуатация и рекультивация»;
10. СанПиН 2.1.7.3550-19 "Санитарные требования к размещению и обезвреживанию отходов";
11. ГОСТ Р 56059-2014 "Полигоны захоронения ТКО";
12. ИТС 17–2021 «Информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям. Размещение отходов производства и потребления».
13. ИТС 15-2021 Утилизация и обезвреживание отходов (кроме термических способов)
14. ИТС 9 - 2020 Утилизация и обезвреживание отходов термическими способами
15. ИТС 48-2017 "Повышение энергетической эффективности при осуществлении хозяйственной и (или) иной деятельности"
16. ГОСТ Р 70717-2023

17. ГОСТ Р 56828.25-2017 «Национальный стандарт российской федерации. НДТ. Ресурсосбережение. Контроль качества отходов, поступающих на мусоросжигательные заводы»

18. Бернадинер М.Н. Высокотемпературная переработка и обезвреживание жидких, пастообразных и твердых промышленных и медицинских отходов / М.Н.Бернадинер, И.М.Бернадинер // Экология и промышленность России. - 2011. - Апрель. - с.19-21

Научное издание

Чернов Анатолий Альбертович
Татаренко Валерий Иванович

ПЕРЕРАБОТКА ОТХОДОВ ПРОИЗВОДСТВА И ПОТРЕБЛЕНИЯ

Издается в авторской редакции

Компьютерная верстка *Я. А. Лесных*

Изд. лиц. ЛР № 020461 от 04.03.1997.

Подписано в печать 04.03.2026. Формат 60 × 84 1/16.

Усл. печ. л. 10,69. Тираж 500 экз. Заказ 22.

Гигиеническое заключение

№ 54.НК.05.953.П.000147.12.02. от 10.12.2002.

Издательско-полиграфический центр СГУГиТ
630108, Новосибирск, ул. Плахотного, 10.

Отпечатано в издательско-полиграфическом центре СГУГиТ
630108, Новосибирск, ул. Плахотного, 8.