



Министерство образования Республики Беларусь

Учреждение образования  
«Гомельский государственный технический  
университет имени П. О. Сухого»

Кафедра «Металлургия и технологии обработки материалов»

# **МЕТАЛЛУРГИЧЕСКАЯ ПЕРЕРАБОТКА ОТХОДОВ**

**ПОСОБИЕ**

**для студентов специальности**

**1-42 01 01 «Металлургическое производство  
и материалобработка (по направлениям)» направление  
специальности 1-42 01 01-01 «Металлургическое  
производство и материалобработка (металлургия)»  
специализации 1-42 01 01-01 02 «Электрометаллургия  
черных и цветных металлов»  
дневной формы обучения**

Гомель 2017

УДК 669.1(075.8)  
ББК 34.32я73  
М54

*Рекомендовано научно-методическим советом  
механико-технологического факультета ГГТУ им. П. О. Сухого  
(протокол № 11 от 05.12.2016 г.)*

Составитель *Т. М. Заяц*

Рецензент: начальник технического управления БМЗ – управляющая компания холдинга БМК канд. техн. наук *С. В. Терлецкий*

**Металлургическая** переработка отходов : пособие для студентов специальности 1-42 01 01  
М54 «Металлургическое производство и материалобработка (по направлениям)» направление специальности 1-42 01 01-01 «Металлургическое производство и материалобработка (металлургия)» специализации 1-42 01 01-01 02 «Электрометаллургия черных и цветных металлов» днев. формы обучения / сост. Т. М. Заяц. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2017. – 102 с. – Систем. требования: PC не ниже Intel Celeron 300 МГц ; 32 Mb RAM ; свободное место на HDD 16 Mb ; Windows 98 и выше ; Adobe Acrobat Reader. – Режим доступа: <https://elib.gstu.by>. – Загл. с титул. экрана.

Рассмотрены вопросы рационального ресурсопользования, образования и классификации отходов. Приведены технологии переработки промышленных отходов и получения из них ценного сырья. Описана нормативно-правовая база Республики Беларусь в области обращения с отходами.

Для студентов специальности 1-42 01 01 «Металлургическое производство и материалобработка (по направлениям)».

УДК 621.745.3(075.8)  
ББК 30.604я73

© Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», 2017

## СОДЕРЖАНИЕ

1 ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ РЕСУРСОПОЛЬЗОВАНИЯ .	5
1.1 Экологическая ситуация в Беларуси .....	5
1.2 Механизмы регулирования ресурсопользования.....	7
1.3 Экологический паспорт предприятия .....	11
1.4 Основные источники загрязнения окружающей среды....	12
2 ОБРАЗОВАНИЕ И КЛАССИФИКАЦИЯ ОТХОДОВ .....	17
2.1 Образование отходов .....	17
2.2 Классификация отходов .....	22
3 ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ ПРИ ПЕРЕРАБОТКЕ ОТХОДОВ.....	29
3.1 Измельчение и разделение отходов по крупности.....	30
3.2 Агрегирование отходов .....	34
3.3 Смешение материалов .....	37
3.4. Физические методы сепарации отходов .....	39
3.5 Гидро- и аэродинамические процессы, используемые при переработке отходов .....	42
3.6 Теплообменные процессы, используемые при переработке отходов .....	46
3.7. Диффузионные процессы.....	48
3.8 Химические процессы переработки отходов.....	54
3.9 Биохимические процессы.....	57
4           НОРМАТИВНО-ПРАВОВОЕ                           ОБЕСПЕЧЕНИЕ УПРАВЛЕНИЯ ОТХОДАМИ.....	60
4.1 Регламентация сбора, заготовки и поставки отходов для использования в качестве вторичного сырья.....	64
4.2 Требования к трансграничным перемещениям опасных отходов .....	64
4.3 Государственная экологическая экспертиза.....	66
5 ПЕРЕРАБОТКА ОТХОДОВ МЕТАЛЛОВ .....	69
5.1 Образование металлолома и значение использования вторичных металлов.....	69
5.2 Классификация металлических отходов .....	71
5.3 Технология и оборудование для подготовки металлолома к переплаву .....	73
6 УТИЛИЗАЦИЯ ШЛАКОВ, ЗОЛЫ, ОГНЕУПОРОВ, ПЫЛИ ОТХОДЯЩИХ ГАЗОВ .....	81
6.1 Направления утилизации шлаков .....	81

6.2	Производство строительных материалов из металлургических шлаков .....	82
6.3	Утилизация золы и топливных шлаков.....	86
6.4	Утилизация отработанных огнеупорных материалов.....	88
7	УТИЛИЗАЦИЯ ОТХОДОВ ГАЛЬВАНИЧЕСКИХ ПРОИЗВОДСТВ И СЕРНОЙ КИСЛОТЫ.....	91
7.1	Переработка отходов гальванических производств.....	91
7.2	Регенерация отработанной серной кислоты .....	95
8	ЗАХОРОНЕНИЕ ОТХОДОВ .....	97
8.1.	Полигоны для захоронения отходов.....	97
8.2	Использование биогаза из захоронений отходов .....	100
	БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	102

# 1 ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ РЕСУРСОПОЛЬЗОВАНИЯ

## 1.1 Экологическая ситуация в Беларуси

Экология – наука, изучающая отношения живых организмов между собой и с окружающей средой. До появления человека на земле в природе многие тысячелетия существовали собственные законы, на основании которых она сохраняла свои первозданные черты. С появлением человека природа стала непосредственной сферой его деятельности, сферой, которую уже первобытные люди стали перестраивать на свой лад. До определенного времени вмешательство человека в природу особенно не ощущалось, поскольку окружающая среда обладала способностью саморегулироваться и самообновляться. Однако со вступлением человечества в промышленную стадию развития ситуация резко изменилась, а в XX веке проблема загрязнения окружающей среды стала доминирующей в обществе. Объяснением этому служит постоянное воздействие людей на природу, в результате чего она утратила многие свои особенности. На сегодняшний день производительные силы общества достигли чрезмерных высот. Люди освоили космическое пространство, проникли в земные недра, создали искусственные водохранилища и морские заливы, лишили землю миллиардов тонн полезных ископаемых, построили атомные электростанции, что и привело к конфликту человеческого сообщества с природой, возможности которой с каждым годом все больше ограничиваются.

В целом, экологическая ситуация Беларуси перекликается с положением дел в Европе. Но существует ряд особенностей.

Огромный вред наносят радионуклиды, оставшиеся на территории Беларуси вследствие аварии на Чернобыльской АЭС (26 апреля 1986 года). Некоторые районы Беларуси по-прежнему имеют повышенный радиационный фон. Загрязнены были воды, почва и воздух. Наибольшую опасность несет загрязнение почв, так как из нее растения получают минеральные компоненты, а значит, есть риск попадания радионуклидов в организм с пищей.

Отрицательное воздействие на экологию Беларуси оказывают и другие техногенные факторы – промышленный, военный, транспортный, сельскохозяйственный и т.д. После окончания II

мировой войны Беларусь вступила в индустриальную стадию развития. На ее территории были построены крупнейшие промышленные предприятия не только в СССР, но и в Западной Европе. Они существенно изменили облик, культурный ландшафт республики, а также негативно повлияли на окружающую среду. Речь идет, прежде всего, о предприятиях химической отрасли, крупнейшими из которых являются: «Химволокно» в Могилеве, Светлогорске, Гродно, «Нафтан» и «Полимер» в Новополоцке, «Беларуськалий» в Солигорске и др. Создание подобных предприятий привело к техногенной перегрузке природной среды и к загрязнению значительной части территории РБ. Самыми экологически опасными по насыщенности воздуха фенолом, формальдегидами и другими канцерогенами являются все крупнейшие города Беларуси, а также Новополоцк, Солигорск, Борисов, Светлогорск и т.д. Промышленные предприятия загрязняют не только воздух, но также и водный бассейн РБ. Большинство предприятий сбрасывают в реки и водоемы свои отходы, в том числе и очень опасные для жизни и здоровья человека: хром, цинк, никель и другие тяжелые металлы. Кроме предприятий, значительно загрязняют воздух транспортные средства. Вредные вещества, которые выбрасывают в атмосферу автомобили, отрицательно влияют на нервную и умственную деятельность человека. Ко всему этому, через Беларусь проходят газопроводы и нефтепроводы, на которых нередки аварии. Они приводят к значительному загрязнению почвы, водоемов и воздуха вредными, опасными для здоровья человека, веществами.

В целом экологическая ситуация в Беларуси остается очень сложной, а вопросы охраны окружающей среды решаются очень медленно и неэффективно. В РБ каждый год накапливается до 45 млн. тонн отходов, большинство из которых не может быть переработано. В воздух выбрасывается около 3 млн. тонн вредных веществ, 10% промышленных и бытовых отходов сбрасывается в водоемы неочищенными. Это приводит к увеличению количества заболеваний, а также повышению уровня смертности жителей Беларуси. Граждане республики живут и работают в напряженной обстановке, созданной перечисленными выше проблемами, а также Чернобыльской катастрофой. Смертельной угрозе подвергается генофонд белорусской нации. Охрана природы, рациональное использование сырьевых и материально-технических ресурсов – большая и

ответственная задача, важнейшее условие выживания и прогресса человечества, в том числе и белорусского народа.

## **1.2 Механизмы регулирования ресурсопользования**

Управление в сфере взаимодействия общества и природы представляет собой совокупность предпринимаемых соответствующими субъектами действий, направленных на обеспечение исполнения требований законодательства об окружающей среде.

Цель управления природопользованием и охраной окружающей среды – предупреждение негативного воздействия общественной деятельности на окружающую среду, которое выходит за рамки необходимого для общества потребления природы.

Особенности управления в сфере взаимодействия общества и природы:

1. Юридическим основанием управления экологией является преимущественное право государственной собственности на природные ресурсы и политический суверенитет (право территориального верховенства) государства на территории расположения природных ресурсов.

2. Комплексный характер управления. В силу взаимосвязанности и взаимообусловленности природных ресурсов и природных явлений управление природными ресурсами и охраной окружающей среды может осуществляться только в комплексе. Это означает, что распределение и перераспределение, планирование и другие действия в отношении природных ресурсов в одном регионе должны осуществляться с учетом влияния этих мер на другие природные ресурсы в другом регионе, что использование природных ресурсов не может осуществляться без одновременной их охраны и наоборот.

3. Управление экологией осуществляется не только по административно-территориальному (область, регион) признаку, как это принято в отношении других объектов, но и по природно-географическому.

4. Разделение хозяйственно-эксплуатационных и контрольно-надзорных функций в области экологии. Речь идет о том, что одни субъекты эксплуатируют природные ресурсы, а другие – контролируют правильность их эксплуатации. На практике такое

разделение имеет место. Так, одни министерства организуют добычу, переработку и использование природных ресурсов, другие, например, Министерство природных ресурсов, осуществляют контроль и надзор за правильным, рациональным использованием природных ресурсов и охраной окружающей среды.

Механизм управления природопользованием состоит из методов, функций и субъектов управления, т.е. организационной структуры (органов управления).

В зависимости от субъекта, выполняющего функции управления в сфере взаимодействия общества и природы выделяют следующие виды управления:

*Общественное управление.* Общественное управление охраной окружающей среды и природопользованием – проявление демократизации экологического права. Масштабы и эффективность осуществления данного вида управления свидетельствуют, с одной стороны, об уровне самосознания граждан, с другой – о степени демократизации власти в государстве. Данный вид управления осуществляется общественными формированиями и гражданами. Участие общественных формирований и граждан в управлении регулируется рядом законодательных и подзаконных актов, уставами общественных формирований. Наиболее значимыми функциями общественного управления является участие граждан и общественных формирований в подготовке экологически значимых хозяйственных решений в рамках оценки воздействия планируемой деятельности на окружающую среду, в принятии таких решений посредством проведения общественной экологической экспертизы, экологический контроль.

Значительную роль в организации контроля за состоянием окружающей среды и использованием природных ресурсов выполняют общественные организации и объединения: Белорусское общество охраны природы, Белорусское общество охотников и рыболовов, Белорусское молодежное движение «Белая Русь», Белорусский социально-экологический союз, Белорусская экологическая партия «зеленых».

*Производственное управление.* Его содержание определяется задачами конкретного предприятия по выполнению адресованных ему правовых экологических требований. Эти задачи с учетом специфики предприятий могут быть связаны с обеспечением рационального использования какого-либо природного объекта. При

этом наиболее специфическими функциями производственного управления являются планирование, учет вредных воздействий на природу, координация природоохранительной деятельности различных подразделений, экологический контроль. Управление осуществляется как функциональными службами (инженера, механика, технолога, энергетика, сбыта, контроля), руководителями производственных подразделений, так и специально создаваемыми отделами (службами) по охране природы. Если ранее на многих советских предприятиях создавались природоохранительные службы, то сейчас ответственность за охрану природы, как правило, возлагается на руководителя одного из функциональных подразделений, чаще всего главного инженера. Производственное управление природопользованием и охраной окружающей среды регулируется преимущественно локальными актами, т.е. актами предприятия, с учетом его специфики.

*Государственное управление* – осуществляется тремя ветвями власти: законодательной, исполнительно и судебной. Каждая из них выполняет свои функции и имеет подразделения, специально уполномоченные для регулирования экологической сферы. Организационно управление природопользованием осуществляется посредством территориального и отраслевого принципов.

**Методы управления** – это способы воздействия на поведение и деятельность управляемых объектов с целью обеспечения рационального природопользования и охраны окружающей среды. Основные из них:

*Административные* (командно-распорядительные) – обеспечиваемые возможностью государственного принуждения.

Основными инструментами административного регулирования являются стандарты, нормы, нормативы, законы, постановления, руководства, применяемые государственными природоохранными органами, а также ряд разрешений или запретов на природопользование, ограничения, лимиты, система надзора за деятельностью субъектов хозяйствования и т.п.

*Экономические* – создающие непосредственную материальную заинтересованность субъектов хозяйствования в выполнении необходимых экологических мероприятий, решений органов управления в сфере природопользования. Это использование стоимостных рычагов, побуждающих все хозяйственные звенья к реализации государственной экологической политики. К таким

рычагам относятся: рентные платежи; платежи за использование природных ресурсов и загрязнение окружающей среды (экологический налог); компенсационные выплаты за изъятие природного ресурса из целевого использования или ухудшение его качества в результате производственной деятельности; штрафы за нарушение экологических стандартов и лимитов природопользования; система налоговых льгот, льготное кредитование и субсидирование и др.

*Социально-психологические* – методы морального стимулирования, которые реализуются посредством мер как поощрительного характера, так и воздействия на нарушителей (благодарности или, напротив, выговоры, устные или в приказах администрации и т.п.).

Управление природопользованием предполагает осуществление целого ряда специфических функций, то есть видов деятельности, воздействующих на эколого-экономические отношения. Общими для всех отраслей и звеньев управления природопользованием являются:

**Функциями управления в области природопользования** – направления деятельности по обеспечению охраны окружающей среды и рационального природопользования. Ими являются:

- создание системы органов управления в сфере взаимодействия общества и природы;
- подзаконное нормотворчество;
- распоряжение (управление) природными ресурсами;
- экологическое планирование;
- экологическое нормирование;
- экологическая экспертиза;
- экологический контроль;
- экологическое лицензирование; экологический аудит;
- наблюдение за состоянием окружающей среды;
- оценка воздействия на окружающую среду;
- учет состояния и использования отдельных природных объектов;
- экологическое воспитание и образование;
- разрешение в административном порядке споров о праве природопользования и охраны окружающей среды;
- привлечение к ответственности лиц, виновных в нарушении экологического законодательства, и др.

Перечисленные функции управления могут осуществляться физическими и юридическими лицами, а также государственными органами.

### **1.3 Экологический паспорт предприятия**

Экологический паспорт предприятия - локальный нормативный документ, содержащий информацию об уровне использования природопользователем ресурсов (природных, вторичных и др.) и степени воздействия его производств на окружающую природную среду.

В соответствии с требованиями статьи 37 Закона РБ «Об охране окружающей среды» при эксплуатации зданий, сооружений и иных объектов юридические лица и индивидуальные предприниматели обязаны вести экологический паспорт предприятия.

Порядок разработки, ведения экологического паспорта предприятия, а также порядок внесения изменений и дополнений в него установлен в Инструкции о порядке ведения экологического паспорта предприятия, утверждённой постановлением Минприроды от 07.06.2013 № 25.

Правовым актом, устанавливающим требования к оформлению экологического паспорта предприятия, является государственный стандарт Республики Беларусь СТБ 17.01.00-01-2012 «Охрана окружающей среды и природопользование. Экологический паспорт предприятия. Основные положения».

Ведение экологического паспорта предприятия обязательно для юридических лиц и индивидуальных предпринимателей (в том числе являющихся арендаторами), предоставляющих статистические данные в области охраны окружающей среды, хотя бы по одной из четырёх указанных форм государственной статистической отчётности.

Паспорт должен содержать следующие обязательные разделы:

- общие сведения о природопользователе;
- производственная характеристика природопользователя;
- охрана атмосферного воздуха;
- использование земельных ресурсов;
- водопотребление и водоотведение;
- обращение с отходами производства;
- сведения о транспорте предприятия;

- мероприятия по рациональному использованию природных ресурсов и охране окружающей среды;
- программа осуществления производственного аналитического контроля и (или) локального мониторинга в области охраны окружающей среды.

В паспорт также включается картографический материал, названный в п. 6.13 Стандарта.

Порядок ведения паспорта определен Инструкцией и не зависит от количества работников, системы налогообложения, экономических показателей работы организации.

Экологический паспорт предприятия предназначен для:

- осуществления государственного контроля по соблюдению юридическими лицами и индивидуальными предпринимателями нормативов в области охраны окружающей среды, в том числе технологических нормативов, и иных требований в области охраны окружающей среды;
- комплексного учета используемых природных и вторичных ресурсов;
- определения уровня влияния производства на окружающую среду;
- определения соответствия уровня производства наилучшим доступным техническим методам.

Экологический паспорт предприятия утверждается руководителем предприятия, который несет ответственность за достоверность данных паспорта.

#### **1.4 Основные источники загрязнения окружающей среды.**

##### **Влияние промышленных предприятий.**

Промышленность оказывает наиболее разрушительное влияние на окружающую среду, и в первую очередь на рельеф местности, уровень залегания грунтовых вод, почву, растительность и животный мир. Особенно ощутимый экологический вред наносит добыча полезных ископаемых. В СНГ около 60% добываемого угля приходится на открытые разработки. В Беларуси на разработки занято 42 тысячи га земель (из них 33,8 тысяч га приходится на торфяные месторождения). На поверхность земли часто выпадают токсичные химические вещества, оказывающие отрицательное воздействие на прилегающие территории. Негативное влияние на грунтовые воды

приводит, в первую очередь, к снижению продуктивности с/х и лесных угодий и гибели лесов. Одним из главных решений данного спектра проблем является рекультивация земель (горнотехническая и биологическая).

1. Горнотехническая рекультивация:

Покрытие поверхности плодородным слоем. Укрепление поверхности от водной и ветровой эрозий. Утилизация отходов промышленности. Уплотнение и планировка нарушенных земель

2. Биологическая рекультивация:

Озеленение, нанесение на поверхность биологически активного слоя Удобрение нанесённого плодородного слоя Подбор наиболее пригодных пород деревьев, кустарников, трав. Полное восстановление биологического потенциала нарушенных земель

Основным загрязнителем окружающей среды является металлургическое производство, причём на всех его стадиях. В воздушный бассейн осуществляется выброс огромного количества пыли, сернистого газа и оксидов углерода. Выбрасываемая пыль насыщена соединениями железа, алюминия, марганца и др. Так же все предприятия металлургического производства являются водо-, энерго- и теплоёмкими.

Влияние химической промышленности обусловлено не только значительным масштабом загрязнения токсичными веществами, но и выбросом веществ, которые не участвуют в естественном круговороте. Так же потребителями химической промышленности являются все отрасли промышленности, поэтому загрязнение происходит повсеместно. Огромное количество вредных веществ выбрасывается при производстве серной и фосфорной кислот, а так же минеральных удобрений (суперфосфата, аммофоса и т.д.). Например при производстве фосфорной кислоты в атмосферу выбрасывается до 60% вырабатываемого фтора, а соединения фтора являются сильными ядами, особенно для растений, обладают кумулятивным действием, т.е. способностью накапливаться в организме в течении длительного времени.

В меньшей степени, окружающую среду загрязняют предприятия строительной индустрии (производство цемента, бетона, асбеста и др.).

Среди промышленных предприятий Беларуси 36% выбросов приходится на энергетическую отрасль.

Оценка интенсивности выбросов (отношение массы выбросов и стоимости ВВП) показала, что предприятия Беларуси загрязняют окружающую среду в 1,5-2 раза больше по сравнению с индустриально развитыми державами, но значительно меньше, чем страны Центральной и Восточной Европы.

#### **Автомобильный транспорт.**

Негативное влияние на окружающую среду оказывают все виды транспорта, однако львиная доля приходится на автотранспорт. Главная причина - резкое увеличение количества легковых и грузовых автомобилей (например в США количество автомобилей увеличивается в 2 раза быстрее, чем численность населения). В США автомобили расходуют 63% общего объёма потребляемой нефти и на них приходится 50% загрязнения воздуха.

Главным в улучшении данной ситуации является усовершенствование автомобильных двигателей с переходом на другие виды топлива.

В крупных городах около 90% оксидов углерода попадает в воздух вследствие неполного сгорания его в моторном топливе. Так же на автомобили приходится около 45% газового выброса оксидов азота и около 35% углеводородов (наиболее опасным является бензопирен, который обладает сильным канцерогенным свойством). При неполном сгорании дизельного топлива выделяется сернистый газ, который контактируя с водой даёт серную кислоту (является сильнейшим коррозионным фактором). Так же при сгорании бензина в воздух попадают частицы свинца (а точнее тетраэтилсвинец, который повышает октановое число бензина). Особенно сильно от свинца страдают дети, они теряют аппетит, становятся апатичными либо сверхкапризными, затем появляются рвота и обмороки. Свинцовое отравление может вызвать умственную отсталость и привести к смерти.

Транспорт способствует накоплению в атмосфере пыли, которая может задерживать от 10 до 50% солнечных лучей и почти 90% у/ф лучей. На мелкие частицы пыли оседают молекулы оксидов серы и канцерогенных углеводородов.

Широкое применение соли для устранения обледенения на дорогах приводит к тому, что соль с талой водой попадает в реки и озёра, откуда берётся питьевая вода. Серьёзной проблемой является сброс нефтепродуктов в мировой океан (около 10 млн. т). Причины:

аварии танкеров, повреждения и аварии на буровых установках, прорывы нефтепроводов и т.д.).

### **Энергетика и окружающая среда.**

Каждая из отраслей энергетики (гидроэнергетика, теплоэнергетика и атомная энергетика) оказывает своё специфическое воздействие на окружающую среду.

#### *Гидроэнергетика.*

Не вызывает загрязнения окружающей среды в обычном понимании. Однако плотины и создаваемые при них водохранилища нарушают экологический баланс водоёмов. Сегодня в мире насчитывается около 30000 водохранилищ. Процессы, происходящие в самом водохранилище приводят к трансформации речных вод в полупроточные водные массы. Влияние водохранилищ на климат распространяется на 10-15 км.

На прилегающих к водохранилищу территориях повышается уровень грунтовых вод, что приводит к заболачиванию, трансформации почв, нарушению обитания животных и растений. Водоохранилища влияют так же на тектонические процессы, способствуя возникновению и увеличению частоты землетрясений. В результате эксплуатации водохранилищ нарушается качество воды, а это оказывает влияние на использование всех видов водных ресурсов. Решением является развитие т.н. «малых» ГЭС. Возведение малых ГЭС происходит на высоком технологическом уровне, они рассчитаны на сравнительно небольшой расход воды. Малые ГЭС почти не изменяют природных условий.

#### *Теплоэнергетика.*

Продукты сгорания топлива на ТЭС являются основным источником загрязнения окружающей среды. Энергетические установки всего мира ежегодно выбрасывают около 1 млрд. тонн золы и около 400 млн. тонн оксида серы. В результате сжигания топлива концентрация углекислого газа в атмосфере ежегодно увеличивается на 0,03%. В состав выбросов входит сернистый газ, который является очень сильным ядом. В местах, прилегающих к ТЭС, концентрация токсичных веществ превышает норму в 5 раз. Так же серьёзной экологической проблемой является сброс сточных вод в водоёмы. Со сточными водами сбрасывается целый комплекс загрязняющих веществ (нефтепродукты, хлориды, сульфаты и т.д.) В России сброс сточных вод ТЭС составляет около 5% всех сбросов.

ТЭС потребляют огромное количество кислорода. При современном топливном балансе потребление кислорода ТЭСами примерно в 5 раз превосходит его потребление всем населением Земли для дыхания. ТЭС, работающие на угле, являются источником радиоактивности, а угольная зола содержит большое количество токсичных металлов (барий, мышьяк, марганец и др.).

#### *Ядерная энергетика.*

Для выработки энергии необходима урановая руда, а в процессе работы образуются радиоактивные отходы. Очень актуальна проблема влияния АЭС на прилегающие территории, а так же проблема последствий аварий на АЭС. Радиоактивные материалы, используемые на АЭС, имеют твёрдую, жидкую и газообразную форму.

Твёрдые - это отработанное ядерное топливо.

Жидкие - это охлаждающая ядерный реактор вода, в которой находятся радионуклиды. Газообразные - радиоактивные инертные газы (криптон, ксенон).

Отходы низкой радиоактивности утилизируются на хранилищах на территории АЭС, а отходы высокой радиоактивности помещаются в специальные могильники. Радиоактивному воздействию подвергается персонал АЭС, а так же население территорий, прилегающих к ним.

1. Решение проблемы радиоактивного загрязнения окружающей среды при эксплуатации АЭС сводится к созданию замкнутых систем водопользования с многократными этапами очистки и следующим её возвратом.

2. Снижение газо-аэрозольных выбросов.

3. Снижение объёма поступающих на захоронение твёрдых отходов.

4. Создание максимально эффективной и многобарьерной защиты.

Так же весьма актуальной является проблема теплового загрязнения. Современные ТЭС и АЭС имеют КПД 33-40%, это значит, что около 60% тепла отводится водой системы охлаждения. Экологическая приемлемость АЭС тесно связана с выводом АЭС из эксплуатации в связи с аварией или модернизацией.

## 2 ОБРАЗОВАНИЕ И КЛАССИФИКАЦИЯ ОТХОДОВ

Отходы производства являются фактором, воздействующим на окружающую природную среду и в конечном итоге отрицательно влияющим на качество жизни человека. Однако отходы, загрязняющие окружающую среду, не только могут быть использованы, но их применение в ряде случаев выгодно с экономической точки зрения.

Использование отходов в качестве вторичных материальных ресурсов решает ряд важных хозяйственных задач, таких как экономия основного сырья, предотвращение загрязнения водоемов, почвы и воздушного бассейна, увеличение объемов производства деталей и изделий, производство новых для предприятия товаров.

Несмотря на это, вследствие различных, как правило, организационных и экономических причин в промышленности происходит накопление значительных масс отходов, прежде всего твердых, поскольку газообразные и жидкие выбрасываются в окружающую среду и распыляются в ней.

### 2.1 Образование отходов

Материалоемкие производства и несовершенство технологической базы приводит к тому, что значительная часть перерабатываемого сырья переходит в категорию отходов. Наибольшими удельными показателями образования отходов характеризуются те виды производства, которые связаны с добычей сырья и его первичной переработкой.

Высоки объемы образования отходов и при переработке природного сырья, в частности в химической промышленности при производстве минеральных удобрений, черной металлургии, в топливно-энергетическом комплексе при сжигании углей.

Отходы, образующиеся при механической обработке материалов (металла, дерева, пластика), зависят от вида материала, формы заготовки, используемой технологии. Масштабы их образования характеризуются величинами от единиц до десятков процентов от количества обрабатываемого материала. Так, металлическая стружка при изготовлении деталей из проката черных металлов образуется в количестве 15% от массы заготовок (в среднем), при обработке чугуновых отливок 35% от массы заготовки.

Опилки при распиловке древесных материалов и изготовлении из них различной продукции образуются в количестве 7 - 18% от объема или массы используемого сырья.

Отходы, образующиеся при переработке нефти, составляют от нескольких килограммов до 2,5 т/т перерабатываемой нефти или полученного из нее продукта.

По данным Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды РБ в 2015 г. образование отходов производства составило:

всего - 49865 тыс. тонн

на душу населения - 5255 кг/чел.

на единицу ВВП - 57 кг/млн.руб.

на единицу ВВП - 297 кг/тыс. долл. США по ППС.

По данным Министерства жилищно-коммунального хозяйства РБ образование твердых коммунальных отходов в 2015 составило:

всего - 451 тыс. тонн

на душу населения - 451 кг/чел.

на единицу ВВП - 5 кг/млн.руб.

на единицу ВВП - 26 кг/тыс. долл. США по ППС

Образование отходов производства по видам экономической деятельности по данным Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды РБ представлено в таблице 2.1

Таблица 2.1 - Образование отходов производства по видам экономической деятельности, тыс. т.

	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Образовано отходов – всего	43775,4	44307,5	40847,1	40305,0	52529,3	49865,3
в том числе:						
сельское хозяйство, охота и лесное хозяйство	440,2	400,5	236,6	212,0	248,3	414,0
рыболовство, рыбоводство	0,2	0,2	0,1	0,0	0,1	...
горнодобывающая промышленность	1431,3	4 740,6	4021,9	4856,4	5573,0	4161,0

обрабатывающая промышленность	39228,9	35509,9	30775,0	26977,2	38836,2	38605,0
производство и распределение электроэнергии, газа и воды	170,4	450,8	156,9	488,9	509,0	1002,0
строительство	1 136,8	752,8	433,7	467,9	321,3	493,0
торговля; ремонт автомобилей, бытовых изделий и предметов личного пользования	182,6	248,7	97,6	79,8	125,5	496,0
транспорт и связь	160,0	189,1	108,3	104,4	114,6	183,0
операции с недвижимым имуществом, аренда и предоставление услуг потребителям	102,0	95,3	66,5	64,7	112,5	124,0
предоставление коммунальных, социальных и персональных услуг	276,4	145,1	125,3	57,9	112,3	138,0

Высокий уровень ресурсоемкости и образования отходов свидетельствует о низкой эффективности использования сырья, материалов и ТЭР в экономике РБ и о наличии значительных резервов их экономии. Для мобилизации этих резервов необходимо техническое перевооружение производственной базы в направлении расширения масштабов внедрения ресурсосберегающих технологий, а также наращивание мощностей по переработке отходов.

Образование отходов происходит на всех стадиях движения сырья: от момента его добычи, когда оно еще является природным ресурсом, до завершения эксплуатации изготовленного из него изделия.

Машиностроительный комплекс является крупнейшим промышленным образованием, включающим тяжелое, энергетическое, автомобильное, тракторное, сельскохозяйственное, химическое, нефтяное, строительное, дорожное, коммунальное

машиностроение и другие отрасли промышленности. Предприятия машиностроения располагаются чаще всего в крупных городах, и их вредные выбросы в окружающую среду особенно неблагоприятно влияют на здоровье населения.

Машиностроение загрязняет водный бассейн сточными водами травильных и гальванических цехов. Со сточными водами сбрасывается значительное количество загрязняющих веществ: нефтепродуктов, сульфатов, хлоридов, цианидов, соединений азота, солей железа, меди, цинка, никеля, хрома, молибдена, фосфора, кадмия и других соединений.

Основными источниками загрязнения атмосферы на машиностроительных предприятиях являются литейное производство, цехи механической обработки, сварочные и окрасочные цехи. Выбросы предприятий комплекса в атмосферу характеризуются присутствием в них оксида углерода, сернистого ангидрида, различных видов пыли и взвешенных веществ, оксидов азота, ксилола, толуола, ацетона, бензина, бутилацетата, аммиака, этилацетата, серной кислоты, бензола, соединений марганца, хрома, свинца и др. Значительна доля комплекса в выбросе в атмосферу шестивалентного хрома - одного из наиболее опасных загрязняющих веществ.

Наибольшая часть отходов машиностроительных предприятий - металлолом. Это готовое вторичное сырье, переработка которого налажена либо на этих же заводах, если они обладают своим литейным производством, либо на металлургических или соседних машиностроительных предприятиях. Кроме металлолома в этих отраслях образуются отходы бумаги, древесины, минеральных масел, резины, пластмасс, а также шлам.

Химическая и нефтехимическая промышленность вследствие большого разнообразия технологических процессов являются одними из самых трудных с точки зрения борьбы с образующимися отходами. Источниками вредных выбросов являются предприятия, на которых производятся кислоты, шины и резинотехнические изделия, фосфор, пластические массы, красители, моющие средства, минеральные удобрения и другая продукция, а также осуществляется крекинг нефти.

Основные твердые отходы на предприятиях химической промышленности - зола, шлам, бумага, металл, полимерные материалы. Отходы этой отрасли часто представляют опасность при

их переработке, так как физически и химически не всегда стабильны, а многие из них и токсичны. Их переработка требует специальных технологий.

Пищевая промышленность загрязняет водоемы органическими веществами, сульфатами, фосфатами, нитратами, щелочами и кислотами. Около 60% отходов предприятий пищевой промышленности составляют бумага, дерево, металлы, стекло и собственно пищевые отходы. Основными источниками образования вредных веществ, выбрасываемых в атмосферу, в отрасли являются: шелушители, нейтрализаторы, сепараторы, мучные силосы, технологические печи, фасовочные автоматы, табакорезательные машины, линии по производству парфюмерных изделий, мясоперерабатывающие заводы, заводы по производству растворимого кофе и цикория, предприятия по производству мясокостной муки и клеев на органической основе.

Состав отходов изменяется в зависимости от вида выпускаемой продукции, технологии обработки пищевых продуктов. Объемы образующихся отходов непостоянны и зависят от сезонных объемов переработки продуктов. Органическая природа пищевых продуктов, подверженных гниению, представляет опасность размножения насекомых и болезнетворных микробов, поэтому требует специальных мер защиты от них.

В выбросах предприятий легкой промышленности присутствуют оксиды серы, азота, углерода, твердые вещества, бензин, этилаце-тат, бутилацетат, аммиак, ацетон, бензол, толуол, сероводород, оксид ванадия (V) и другие вещества.

Деревообрабатывающая и целлюлозно-бумажная отрасли промышленности являются одними из самых водоемких отраслей экономики. Наиболее характерными загрязняющими веществами, выбрасываемыми в атмосферу предприятиями отрасли, являются оксиды углерода, серы, азота, толуол, сероводород, ацетон, ксилол, бутилацетат, этилацетат, формальдегид и др. В бумажной промышленности образуются отходы самой бумаги, шлам, пыль, металлы и другие вещества.

Другие отрасли экономики страны, в том числе транспорт, сельское хозяйство, строительство, также вносят существенный вклад в загрязнение окружающей среды. Поэтому задача уменьшения образования отходов, а также их утилизации является актуальной не только для промышленности, а для всего народного хозяйства страны.

## 2.2 Классификация отходов

Большая номенклатура отходов, образующихся на предприятиях различных отраслей экономики, затрудняет их классификацию, учет, сбор и переработку. В настоящее время отсутствует общепринятая научная классификация твердых отходов промышленности, охватывающая все их многообразие. Существующие классификации твердых отходов весьма многообразны и односторонни.

Различные подходы к классификации отходов базируются на следующих классификационных признаках: место образования отходов (отрасль промышленности); стадия производственного цикла; вид отхода; степень ущерба окружающей среде и здоровью человека; направление использования; эффективность использования; величина запаса и объемы образования; степень изученности и разработанности технологий утилизации.

Прежде всего различают отходы производства и потребления.

Отходы производства - это остатки сырья, материалов и полуфабрикатов, образующиеся в процессе производства продукции, которые частично или полностью утратили свои качества и не соответствуют стандартам. Эти остатки после предварительной обработки, а иногда и без нее, могут быть использованы в сфере производства или потребления, в частности для производства побочных продуктов.

Побочные продукты образуются наряду с основными продуктами производства, но не являются целью производственного процесса. Они в большинстве случаев бывают товарными, на них имеются ГОСТы, ТУ, их производство планируется предприятием.

Производственные отходы являются следствием несовершенства технологических процессов, неудовлетворительно организованного производства, а также несовершенного экономического механизма. К ним относят: отходы, образующиеся при механической и физико-химической переработке сырья и материалов; отходы, образующиеся при добыче и обогащении полезных ископаемых; вещества, улавливаемые при очистке отходящих технологических газов и сточных вод.

Отходы потребления - различные бывшие в употреблении изделия и вещества, восстановление которых экономически нецелесообразно. Например, изношенные или морально устаревшие машины, изделия производственного назначения (отходы

производственного потребления), а также пришедшие в негодность или устаревшие изделия домашнего обихода и личного потребления (отходы бытового потребления).

Совокупность отходов производства и потребления, которые могут быть использованы в качестве сырья для выпуска полезной продукции, называется вторичными материальными ресурсами.

Исходя из возможностей использования ВМР их можно подразделить на реальные и потенциальные ресурсы. К реальным следует отнести ВМР, для использования, которых созданы эффективные методы и мощности для переработки, а также обеспечен рынок сбыта; к потенциальным - все виды ВМР, не входящие в группу реальных. К потенциальным ВМР относятся также побочные продукты, которые в настоящее время используются недостаточно полно и представляют собой резерв материальных ресурсов для промышленности.

Ресурсы вторичного сырья - количественное выражение объемов конкретных видов вторичного сырья. В эти объемы не входят те отходы производства, которые используют без доработки в источниках их образования и включают во внутрипроизводственный баланс сырья.

Заготовкой вторичного сырья, т.е. его сбором, закупкой, предварительной обработкой и концентрацией, занимаются специализированные заготовительные организации.

По способу использования отходов в качестве вторичного сырья отходы можно разделить на четыре группы:

- отходы как вторичное сырье, используемое в качестве добавки или полностью взамен первичного сырья и материалов (отдельные виды отходов пластмасс и металлов, макулатуры, строительных материалов и др.);
- отходы как исходный продукт для производства вторичного сырья, предназначенного для использования частично или полностью взамен первичного сырья (например, производство регенерата из изношенных шин с целью его использования в качестве сырьевой добавки в шинном производстве взамен каучука; макулатурной массы из отходов бумаги и картона для использования вместо целлюлозы в производстве бумаги и картона);
- отходы как сырье или материалы, которые могут быть использованы в другом технологическом цикле (например, активные угли, отработавшие свой ресурс в качестве адсорбентов в

производстве винилхлорида могут быть использованы для очистки газов от ртути);

– отходы как сырье или материалы, характеризующиеся принципиально новыми свойствами, отсутствующими у первичного сырья (например, зола тепловых электростанций может быть использована в ряде случаев в производстве строительных материалов в качестве вяжущего вместо цемента).

Отходы классифицируют по отраслям промышленности (отходы химической, металлургической, электротехнической и других отраслей) и по видам производств (отходы сернокислотного, автосборочного, подшипникового производств и др.).

Все промышленные отходы можно разделить на два вида: нетоксичные и токсичные. В своей основной массе твердые отходы нетоксичны. Примерами токсичных отходов могут служить шламы гальванических цехов и травильных ванн.

Отходы можно также классифицировать на металлические и неметаллические, а также комбинированные. Неметаллические отходы подразделяются на химически инертные (отвалы породы, зола и т.д.) и химически активные (резина, пластмассы и т.д.). К числу комбинированных отходов относится всевозможный промышленный и строительный мусор.

Отходы можно разбить на две группы - основные и побочные.

Основными являются отходы материалов, использованных непосредственно для изготовления товарной продукции. Это металлические, металлосодержащие (окалина, шламы, шлаки и пр.) и неметаллические (древесина, пластмассы, резина, клеи, текстиль, стекло и др.) отходы.

К побочным относятся отходы технологических материалов и веществ, использованных или образующихся при проведении технологических процессов. Побочные отходы могут быть твердыми (зола, абразивы, огнеупоры), жидкими (смазочно-охлаждающие жидкости, минеральные масла и другие нефтепродукты, отходы гальванопроизводства) и газообразными (отходящие газы).

Широко используется классификация отходов по степени их опасного воздействия на человека и окружающую среду. Согласно ГОСТ 12.1.007-76 «Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности» все промышленные отходы делятся на четыре класса опасности: первый - чрезвычайно опасные, второй -

высокоопасные, третий - умеренно опасные, четвертый - малоопасные.

По физическому состоянию отходы делятся на твердые, жидкие и газообразные. По источнику возникновения отходы подразделяются на бытовые, промышленные и сельскохозяйственные. По составу можно разделить отходы на органические и неорганические. Особую группу составляют энергетические отходы: тепло, шум, радиация, электромагнитное, ультрафиолетовое излучение и т.п.

Для единого подхода к классификации отходов при организации их учета постановлением Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь от 8 ноября 2007 г. № 85 введен классификатор отходов, образующихся в Республике Беларусь. Классификатор отходов:

### **БЛОК I. Отходы растительного и животного происхождения**

#### *ГРУППА I. Отходы пищевых и вкусовых продуктов*

- А. Отходы производства пищевых продуктов
- Б. Отходы производства вкусовых продуктов
- В. Отходы продуктов питания

#### *ГРУППА II. Отходы производства и потребления растительных и животных жиров, масел, смазок*

- А. Отходы производства растительных и животных масел
- Б. Отходы производства растительных и животных жиров и смазок
- В. Отходы, содержащие растительные и животные жировые продукты
- Г. Отходы продуктов из растительных масел
- Д. Шламы (осадки), содержащие растительные и животные жировые продукты
- Е. Остатки рафинирования при переработке растительных и животных жиров

#### *ГРУППА III. Отходы содержания и переработки животных, птицы, рыбы*

- А. Отходы убоя животных и птицы
- Б. Отходы переработки птицы, рыбы и другое
- В. Тела животных

#### *ГРУППА IV. Отходы шкур, мехов и кожи*

- А. Отходы шкур и мехов
- Б. Отходы дубильных цехов (кроме дубильных веществ)
- В. Отходы кожи

*ГРУППА V. Отходы растительных волокон*

А. Отходы переработки растительных волокон

*ГРУППА VI. Древесные отходы*

А. Отходы обработки и переработки древесины

Б. Древесные отходы производственного потребления

*ГРУППА VII. Отходы целлюлозы, бумаги, картона*

А. Отходы производства целлюлозы

Б. Отходы производства бумаги и картона

В. Отходы бумаги и картона

**БЛОК III. Отходы минерального происхождения**

*ГРУППА I. Отходы минерального происхождения (исключая отходы металлов)*

А. Печные обломки (бой), металлургический и литейный щебень (брак)

Б. Металлургические шлаки, съемы и пыль

В. Зола, шлаки и пыль от термической обработки отходов и от топочных установок

Г. Прочие твердые минеральные отходы

Д. Минеральные шламы

*ГРУППА II. Отходы металлов и их сплавов*

А. Лом и отходы черных металлов

**БЛОК V. Отходы химических производств и производств, связанных с ними**

*ГРУППА I. Отходы оксидов, гидроксидов, солей*

А. Шламы гальванические

Б. Отходы оксидов, гидроксидов

В. Отходы солей

*ГРУППА II. Отходы кислот, щелочей, отработанные растворы*

А. Отходы неорганических кислот

Б. Отходы органических кислот

В. Отходы щелочей

Г. Отработанные растворы и промывочные воды

*ГРУППА III. Отходы химических средств защиты растений, фармацевтических и дезинфицирующих веществ, гигиенических средств, парфюмерно-косметической продукции*

А. Запрещенные для применения пестициды, относящиеся к стойким органическим загрязнителям

Б. Непригодные для применения пестициды (кроме относящихся к стойким органическим загрязнителям)

- В. Отходы гигиенических средств
- Г. Отходы фармацевтической продукции и ее производства
- Д. Отходы производства парфюмерно-косметических средств
- ГРУППА IV. Отходы продуктов переработки нефти
  - А. Отходы синтетических и минеральных масел
  - Б. Отходы жиров (смазок) и парафинов из минеральных масел
  - В. Отходы эмульсий и смесей нефтепродуктов
  - Г. Отходы добычи нефти
  - Д. Шламы минеральных масел, остатки, содержащие нефтепродукты
  - Е. Остатки рафинирования нефтепродуктов
  - Ж. Прочие отходы нефтепродуктов, продуктов переработки нефти
- ГРУППА V. Отходы органических растворителей, красок, лаков, клеев, мастик и смол
  - А. Отходы галогенсодержащих растворителей и их смесей, других галогенсодержащих органических жидкостей
  - Б. Органические растворители, их смеси и другие органические жидкости без галогенных органических соединений
  - В. Шламы, содержащие растворители
  - Г. Отходы лакокрасочных материалов (ЛКМ)
  - Д. Отходы клеев, клеящих веществ, мастик, смол
- ГРУППА VI. Отходы пластмасс, резиносодержащие отходы
  - А. Затвердевшие отходы пластмасс
  - Б. Отходы незатвердевших пластмасс, формовочные массы и компоненты
  - В. Шламы и эмульсии полимерных материалов
  - Г. Отходы стекловолокнистых материалов и стеклопластиков
  - Д. Отходы резиносодержащие (включая изношенные шины)
  - Е. Резиновые шламы и эмульсии
- ГРУППА VII. Отходы текстильные, отходы производства химических волокон и нитей
  - А. Отходы химических волокон и нитей, текстильные отходы и шламы
  - Б. Прочие текстильные отходы
- ГРУППА VIII. Прочие отходы химических производств и синтеза
  - А. Лабораторные отходы и остатки химических препаратов
  - Б. Отходы моющих и чистящих средств
  - В. Катализаторы отработанные

- Г. Сорбенты
- Д. Кубовые остатки
- Е. Отходы полихлорированных бифенилов, дифенилов и терфенилов, полибромированных дифенилов, а также отходы веществ и изделий, их содержащих (исключая отходы синтетических и минеральных масел)

## **БЛОК VII. Медицинские отходы**

### **ГРУППА I. Медицинские отходы**

- А. Медицинские отходы охраны здоровья людей
- Б. Медицинские отходы от ветеринарных услуг
- В. Отходы от аптекарских и фармацевтических услуг
- Г. Отходы от проведения научно-исследовательских работ в области охраны здоровья

## **БЛОК VIII. Отходы (осадки) водоподготовки котельно-теплового хозяйства и питьевой воды, очистки сточных, дождевых вод и использования воды на электростанциях**

### **ГРУППА I. Отходы (осадки) водоподготовки котельно-теплового хозяйства и питьевой воды, очистки сточных, дождевых вод и использования воды на электростанциях**

- А. Осадки водоподготовки котельно-теплового хозяйства
- Б. Осадки водоподготовки питьевой воды
- В. Осадки очистки сточных вод на очистных сооружениях хозяйственно-фекальной канализации
- Г. Осадки очистки дождевых вод
- Д. Отходы (осадки) использования воды на электростанциях

## **БЛОК IX. Отходы жизнедеятельности населения и подобные им отходы производства**

### **ГРУППА I. Отходы жизнедеятельности населения и подобные им отходы производства**

- А. Отходы жизнедеятельности населения и подобные им отходы производства

Классификация позволяет определить пути дальнейшего движения отходов (утилизация на местах образования, передача другим предприятиям, вывоз на свалку, сброс в канализацию, сжигание и т.п.). На основе этой классификации разрабатывается схема сбора, вывоза и переработки промышленных отходов для использования в качестве вторичного сырья и для предотвращения их отрицательного воздействия на окружающую среду.

### **3 ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ ПРИ ПЕРЕРАБОТКЕ ОТХОДОВ**

Технология переработки отходов базируется на механических, гидродинамических, тепловых, диффузионных, химических, биохимических процессах. Как правило, в реальной технологии утилизации отходов сочетаются различные способы воздействия на них.

Механические методы широко применяются при подготовке отходов: измельчении, агрегировании, сепарации и т.д.

Гидродинамические методы используют для разделения смесей отходов и перемещения их в различных аппаратах. Эти методы часто сочетаются с тепловыми, механическими и физико-химическими процессами.

Тепловые процессы являются неотъемлемой частью многих способов переработки отходов и используются при их сжигании и пиролизе, а также при различных процессах, в результате которых имеет место выделение и утилизация тепла или необходимость охлаждения отходов и продуктов их переработки.

Диффузионные процессы лежат в основе таких способов утилизации отходов, при которых осуществляется перенос массы вещества путем дистилляции, сорбции, сушки, кристаллизации и других процессов. Они, как правило, сочетаются с тепловыми и механическими, а иногда и с химическими процессами.

Химические методы обработки используют при окислении и восстановлении отходов, переводе материала из одного физического состояния в другое, для изменения каких-либо характеристик веществ и т.д. Они сочетаются с тепловыми, гидродинамическими, диффузионными и механическими процессами.

И наконец, биохимические методы применяют для утилизации отходов с помощью микроорганизмов. Это наиболее сложные процессы, и при их реализации используются и другие рассмотренные выше способы обработки отходов. Они сочетаются с химическими, тепловыми, гидродинамическими и механическими процессами.

Утилизация твердых отходов в большинстве случаев связана с необходимостью либо их разделения на компоненты (в процессе очистки, обогащения, извлечения ценных составляющих) с последующей переработкой сепарированных материалов различными

методами, либо придания им определенного вида, обеспечивающего саму возможность утилизации отходов. На производстве отходы, образующиеся на одной установке (литьевая машина, штамповочный пресс, токарный станок и т.п.), не всегда бывают однородными. Часто в контейнер с отходами пластмассы попадают металлические предметы, а в контейнер с металлической стружкой - деревянная палка или промасленная ветошь. В то же время наиболее рациональное использование вторичных материальных ресурсов предусматривает их полное разделение. Поэтому в технологии переработки отходов важнейшее место занимает их подготовка.

Главными физическими свойствами, по различию в которых могут рассортировываться твердые отходы, являются плотность, цвет, блеск, размер, форма, вязкость, хрупкость, поверхностные оптические характеристики, магнитная восприимчивость, жаропрочность и некоторые другие.

Физические свойства материалов можно направленно изменять. Так, на поверхностные характеристики можно воздействовать химическим способом, а электропроводность - изменить путем сушки или окисления. Магнитные свойства материалов изменяются также при окислении, а размеры и форма - при вакуумировании.

### **3.1 Измельчение и разделение отходов по крупности**

Процессы измельчения широко распространены в технологиях утилизации твердых отходов, при переработке отвалов вскрышных и попутно извлекаемых пород при добыче полезных ископаемых, утилизации строительных конструкций и изделий, некоторых видов смешанного лома черных и цветных металлов, топливных и металлургических шлаков, отходов углеобогащения, некоторых производственных шламов, отходов пластмасс и резины, древесных отходов, пиритных огарков, фосфогипса и ряда других ВМР.

*Дробление отходов.* Интенсивность и эффективность большинства химических, физико-химических и биохимических процессов возрастает с уменьшением размеров кусков (зерен) перерабатываемых материалов. Поэтому переработка твердых отходов обычно начинается с уменьшения размеров их кусков. Дробление в сочетании с сортировкой имеет важное значение при переработке твердых отходов.

Основными технологическими показателями процесса являются степень дробления и энергоемкость.

Степень дробления определяется отношением размеров кусков до измельчения к размерам кусков раздробленного материала.

В зависимости от размеров кусков отходов различают крупное (размер кусков 1200 – 350мм), среднее (350- 100 мм) и мелкое (100 - 40 мм) дробление.

Для измельчения отходов используют раздавливание, раскалывание, размалывание, резание, распиливание, истирание и различные комбинации этих способов. В основе классификации оборудования для дробления твердых отходов лежит способ измельчения. Различают следующие виды оборудования для измельчения:

- измельчители раскалывающего и разламывающего действия - щековые, конусные, зубовалковые и другие дробилки;
- измельчители раздавливающего действия - гладковалковые дробилки, роliko-кольцевые, вертикальные, горизонтальные и другие мельницы;
- измельчители истирающе-раздавливающего действия - бегуны, катково-тарельчатые, шаро-кольцевые, бисерные и другие мельницы;
- измельчители ударного действия - молотковые измельчители, бильные, шахтные мельницы, дезинтеграторы, центробежные, барабанные и газоструйные мельницы;
- ударно-истирающие и колющие измельчители - вибрационные, планетарные, виброкавитационные и прочие мельницы, реактроны;
- прочие измельчители (пуансоны, пилы и т.д.).

Для дробления большинства видов твердых отходов используют щековые, конусные, валковые и роторные дробилки различных типов. В щековых дробилках измельчение происходит внутри клинообразной камеры, образуемой подвижной и неподвижной щеками. Выгрузка измельченного материала производится в нижней части дробилки через зазор, образуемый щеками, после того как в результате измельчения размеры кусков станут меньше этого зазора.

Для дробления самых различных отходов широко применяются конусные дробилки, в которых измельчение происходит путем сжатия между поверхностями двух конусов, один из которых находится внутри другого.

Измельчаемый материал подвергается в рабочем объеме дробилки многократному сжатию между этими поверхностями до тех

пор, пока в результате измельчения размеры его частиц станут меньше зазора между конусами в нижней части дробилки.

В валковых дробилках измельчение происходит между валками или между валком и камерой дробления. Валковые дробилки могут иметь от одного до четырех валков. Поверхность валка может быть гладкой, рифленой, ребристой и зубчатой. В одной дробилке могут быть валки с различной поверхностью. На степень измельчения влияют размер зазора между измельчающими поверхностями (валок - валок или валок - камера) и тип поверхности валка.

В роторных дробилках измельчение происходит за счет удара, производимого с помощью бил, жестко закрепленных на быстро вращающемся роторе. При ударе на дробимый предмет действует как масса бил, так и масса самого ротора. Эти дробилки применяются для крупного, среднего и мелкого дробления самых различных отходов: металлолома, шлаков, огнеупорных материалов, стекольного и кирпичного боя и других. Роторные дробилки дают большую степень дробления и имеют высокую производительность, удобны в эксплуатации и потребляют меньше энергии, чем другие виды дробилок.

Роторные дробилки могут иметь один или два ротора. Более просты и удобны в эксплуатации однороторные дробилки, которые и получили широкое распространение. Разновидностью роторных измельчителей являются молотковые дробилки, в которых на материал при дроблении действуют молотки, шарнирно закрепленные на дисках ротора. Масса молотков составляет 5-120 кг. Молотковые дробилки применяются при среднем и мелком дроблении.

Для разделки очень крупных агломератов отходов применяют копровые механизмы, механические ножницы, дисковые пилы, ленточно-пильные станки и некоторые другие механизмы и приемы (например, взрыв). Представляют интерес мобильные дробильно-сортировочные установки для измельчения сравнительно небольших количеств отходов непосредственно на месте их образования. Такие установки могут, например, использоваться для дробления и классификации строительных отходов, образующихся при сносе зданий. При выборе измельчителя необходимо учитывать ряд факторов, главными из которых являются вид и характер отходов, их размеры и количество, необходимая степень измельчения, конечный размер дробленого материала, особые свойства измельчаемых отходов.

При необходимости получения из кусковых отходов мелкодисперсных фракций крупностью  $< 5$  мм используют помол. Степень измельчения при помоле достигает 100 и более. Наиболее распространенными агрегатами для грубого и тонкого помола, используемыми при переработке твердых отходов, являются стержневые, шаровые и ножевые мельницы, хотя в отдельных случаях применяют и другие механизмы - дезинтеграторы, дисковые и кольцевые мельницы, бегуны, пневмопушки.

Для разделения твердых отходов на фракции по размерам используют *грохочение* (рассев) под действием гравитационно-инерционных и гравитационно-центробежных сил. Грохочением называется процесс разделения на классы по размерам кусков (зерен) материала при его перемещении на ячеистых поверхностях. В качестве последних используют колосниковые решетки, штампованные решета, сетки и щелевидные сита, выполненные из металлов и полимерных материалов и характеризующиеся формой и размерами ячеек. Грохочение широко применяют при утилизации и переработке подавляющего большинства твердых отходов. В тех случаях, когда грохочение используется для получения той или иной фракции материала в качестве готового продукта, его часто называют сортировкой. Последовательный ряд размеров отверстий сит, применяемых для грохочения, называется шкалой классификации. Отношение размеров отверстий смежных сит называется модулем шкалы.

При грохочении смесь зерен отходов разделяется на две фракции: надрешетный продукт, состоящий из зерен с размером больше отверстий рассеивающей поверхности, и подрешетный продукт, зерна которого прошли через отверстия. Грохочение осуществляется с помощью грохотов. Разделение материалов на грохоте становится возможным благодаря колебательным движениям ячеистых поверхностей, в результате которых разделяемые материалы встряхиваются и зерна с размером меньше размера отверстия проходят сквозь него.

Продукт, прошедший через отверстия данного сита, но оставшийся на следующем сите шкалы, называют классом крупности или фракцией. В технике применяют два способа обозначения классов: от - до и минус - плюс. Более широкое распространение получил второй способ. Например, класс крупности  $-40 +20$  мм означает, что крупность материала  $>20$ , но  $< 40$  мм.

Классификация грохочения проводится по крупности просеиваемого материала и по размеру отверстия просеивающей поверхности. Грохоты различаются геометрической формой, характером движения просеивающей поверхности, ее расположением относительно горизонтальной плоскости и другими признаками. Просеивающая поверхность грохота может быть плоской, цилиндрической и вогнутой. В соответствии с этим бывают грохоты плоские, барабанные и дуговые. По расположению просеивающей поверхности относительно горизонтальной плоскости грохоты бывают горизонтальные и наклонные.

По характеру движения просеивающей поверхности грохоты подразделяются на неподвижные, подвижные с круговым движением и подвижные с прямолинейным движением. Все это предопределяет большое разнообразие просеивающих аппаратов.

Для грохочения используют неподвижные колосниковые, валковые, барабанные вращающиеся, дуговые, ударные, плоские качающиеся, вибрационные с прямолинейными вибрациями (резонансные, самобалансные, с самосинхронизирующимися вибраторами) и с круговыми или эллиптическими вибрациями грохоты. При грохочении комкующихся материалов некоторые типы этих механизмов снабжают дополнительными устройствами, обеспечивающими эффективное разделение фракций.

Наиболее широко для рассеивания различных зернистых материалов, в том числе и отходов, используют вибрационные грохоты с круговым движением просеивающей поверхности. Такие грохоты характеризуются простотой конструкции и регулировки, надежностью в эксплуатации и универсальностью. Вибрационные грохоты изготавливаются в подвесном и опорном исполнениях. Более удобны в работе опорные грохоты.

Качество грохочения определяется интенсивностью динамического режима колебаний грохота, ударной нагрузкой на просеивающую поверхность, видом и конструктивными параметрами просеивающей поверхности.

### **3.2 Агрегирование отходов**

Наряду с методами уменьшения размеров кусковых материалов и их разделения на классы крупности при переработке твердых отходов большое распространение имеют методы, связанные с

укрупнением мелкодисперсных частиц. Используют следующие процессы: гранулирование, таблетирование, брикетирование и высокотемпературную агломерацию. Их используют при переработке компонентов отвальных пород, получаемых в процессе добычи полезных ископаемых, хвостов обогащения углей и золы - уноса ТЭС, в процессах утилизации фосфогипса, при подготовке к переплаву мелкокусковых и дисперсных отходов черных и цветных металлов, в процессах утилизации пластмасс, саж, пылей и древесной мелочи, при обработке шлаковых расплавов в металлургических производствах и во многих других процессах утилизации и переработки ВМР.

*Гранулирование.* Методы гранулирования охватывают большую группу процессов формирования агрегатов, обычно сферической или цилиндрической формы, из порошков, паст или расплавов перерабатываемых материалов. Эти процессы основаны на различных приемах обработки материалов.

Гранулирование порошкообразных материалов окатыванием наиболее часто проводят в ротационных (барабанных, тарельчатых, центробежных, лопастных) и вибрационных грануляторах различных конструкций. Производительность этих аппаратов и характеристики получаемых гранул зависят от свойств исходных материалов, а также от технологических параметров и конструктивных факторов. Получившие большое распространение на практике барабанные грануляторы часто снабжают различными устройствами для интенсификации процессов, предотвращения прилипания порошков к рабочей поверхности, сортировки гранул по размерам.

Для получения из порошков гранулята, близкого по размерам к монодисперсному, используют тарельчатые (дисковые) грануляторы окатывания, обеспечивающие возможность достаточно легкого управления процессом.

Гранулирование порошков прессованием характеризуется промежуточной стадией упругопластического сжатия их частиц, происходящего под действием давления и нагрева (иногда при перемешивании) с образованием коагуляционной структуры. Давление начала процесса прессового гранулирования определяется пределом текучести наименее прочного компонента перерабатываемого порошка. Прессовое гранулирование проводят в валковых и таблеточных машинах различной конструкции, червячных

и ленточных прессах, дисковых экструдерах и некоторых других механизмах с получением агломератов различной формы и размеров.

Принципы прессового гранулирования реализуют также в червячных прессах (экструдерах) различной конструкции, рабочими элементами которых являются червяки (шнеки), пластифицирующие перерабатываемый материал и продавливающие его через фильерную решетку, по выходе из которой сформированные жгуты либо ломаются под действием собственной тяжести, либо их режут до или после охлаждения дисковым или гильотинным ножом на частицы заданной длины. Червячные экструдеры широко используются для гранулирования пластмасс. Отдельную группу грануляторов представляют аппараты гранулирования порошков в дисперсных потоках. Процесс в таких грануляторах основан на столкновениях частиц порошка или порошка и жидкой фазы в турбулизованном потоке циркулирующего в аппарате или проходящего через него воздуха или газа. Турбулентный контакт частиц гранулируемых материалов в потоке сплошной фазы может обеспечиваться в струйных грануляторах или в грануляторах кипящего слоя либо посредством воздействия на частицы вибрационных (грануляторы виброкипящего слоя) или других механических возмущений.

*Таблетирование.* При производстве из промышленных отходов некоторых адсорбентов порошковые материалы таблетуют с использованием машин различных типов, принцип действия большинства из которых основан на прессовании пуансонами дозируемых в матричные каналы порошков. Получаемые таблетки характеризуются разнообразной формой (цилиндры, сферы, полусферы, диски, кольца и т.п.) и имеют диаметр поперечного сечения 6 -12 мм.

*Брикетирование.* При утилизации твердых отходов с целью создания условий для транспортирования, хранения, а часто и самой возможности переработки или с целью изготовления товарной продукции широко используют брикетирование.

Брикетирование дисперсных материалов проводят без связующего при давлении прессования, превышающем 80 МПа, и с добавками связующих при давлении, обычно составляющем 15 -25 МПа. На процесс брикетирования дисперсных материалов существенно влияют состав, влажность и крупность материала, температура, удельное давление и продолжительность прессования. Необходимое удельное давление прессования обычно находится в

обратной зависимости от влажности материала. Перед брикетированием материал обычно подвергают грохочению, дроблению, сушке, охлаждению и другим подготовительным операциям.

Для брикетирования кусковых отходов используют различные прессовые механизмы. Наибольшее распространение получили штемпельные (давление прессования 100 - 120 МПа), вальцовые и кольцевые (около 200 МПа) прессы различных конструкций.

*Высокотемпературная агломерация* используется при обработке пылей, окалины, шламов и мелочи рудного сырья в металлургических производствах, пиритных огарков и других дисперсных железосодержащих отходов. Для проведения агломерации на основе таких ВМР готовят шихту, включающую твердое топливо (коксовую мелочь в количестве 6-7% (масс.)), и другие компоненты (концентрат, руду, флюсы). Шихту усредняют и увлажняют до 5 - 8%. Затем ее подают на решетки движущихся обжиговых тележек агломерационной машины. Высота слоя шихты должна обеспечивать оптимальную ее газопроницаемость. Нагрев и воспламенение шихты обеспечивается просасыванием через нее продуктов сжигания газообразного или жидкого топлива. Процесс спекания минеральных компонентов шихты протекает при горении твердого топлива (1100 - 1600 °С), содержащегося в ней. Агломерационные газы удаляют под разрежением 7-10 кПа.

Спеченный агломерат дробят до крупности 100 - 150 мм в валковых зубчатых дробилках, продукт дробления подвергают грохочению и последующему охлаждению. Просев грохочения - фракцию с размером частиц менее 8 мм, выход которой составляет 30 -35%, - возвращают на агломерацию.

### **3.3 Смешение материалов**

Смешение широко используется при переработке отходов с целью диспергирования материалов друг в друге, получения гомогенной композиции, изменения физического состояния материалов, ускорения химических и физико-химических процессов. Различают смешение в жидкой фазе, когда, по крайней мере, один из перемешиваемых материалов является жидкостью; смешение в вязкотекучем состоянии, когда хотя бы один из материалов является

вязкой жидкостью или расплавом, и смешение в твердой фазе, когда смешиваемые материалы являются сыпучими порошками.

Существующие смесительные механизмы периодического и непрерывного действия основаны на использовании механических, гравитационных и пневматических способов взаимного перемещения частиц обрабатываемых материалов и отличаются большим разнообразием конструкций.

В зависимости от целей смешения, свойств смешиваемых материалов, их физического состояния, особенностей технологического процесса используют механическое, барботажное, циркуляционное и поточное смешение. Процесс смешения может быть непрерывным и периодическим. При непрерывном смешении необходимая гомогенизация смеси или другое изменение ее состояния достигаются за один проход через непрерывно действующее оборудование.

При периодическом смешении композиция многократно перемешивается смесительными органами в какой-либо емкости до достижения необходимого качества смеси, после чего выгружается из смесителя. При переработке различных жидких отходов наиболее часто применяют механическое перемешивание при помощи аппаратов с лопастными, пропеллерными, якорными и другими мешалками.

Для смешивания жидкостей перспективно применение объемных смесителей - статических, роторно-пульсационных, электро-гидравлических, которые позволяют проводить процесс в непрерывном режиме, обеспечивая высокую производительность, необходимое качество смеси, снижение капитальных и текущих затрат.

В некоторых процессах утилизации отходов используется барботажное перемешивание. Такой способ заключается в пропускании через жидкость многочисленных пузырьков воздуха, в результате чего она перемешивается с ним. Барботажное перемешивание целесообразно при необходимости интенсифицировать насыщение жидкости кислородом, в частности, оно используется при сжигании нефтесодержащих отходов, а также в процессах флотационного разделения суспензий и растворов. Перемешивающими устройствами при барботажном способе смешения являются всевозможные газораспределительные устройства.

Качество смешения оценивается гомогенностью смеси или завершенностью химических и физико-химических процессов (например, коагулирования, растворения и др.). Существует множество способов контролирования качества смешения. На практике, как правило, оно определяется продолжительностью проведения процесса, которая устанавливается эмпирическим путем.

Процессы смешения могут быть охарактеризованы степенью однородности (коэффициентом неоднородности полученной смеси), интенсивностью и эффективностью перемешивания.

Интенсификация процессов перемешивания позволяет увеличить поверхности раздела смешиваемых материалов и, как следствие, значительно ускоряет процесс, повышает производительность оборудования.

### **3.4. Физические методы сепарации отходов**

При переработке твердых промышленных отходов (особенно минеральных, содержащих черные и цветные металлы; вышедшей из строя радиоэлектронной аппаратуры и других изделий на основе металлов и сплавов; некоторых топливных зол; смесей пластмасс; шлаков цветной и черной металлургии и ряда других ВМР) используют различные физические методы сепарации, в основе которых лежат различия в магнитных, электрических и других физических свойствах отходов.

Магнитные методы тесно переплетаются с гравитационными, а также используются в некоторых видах флотации и тяжелосредной сепарации. Они позволяют создать мощные силы воздействия на материалы, которые превышают силу гравитации в 100 и более раз, что облегчает процессы разделения. Эти методы обладают высокой избирательной способностью, экологической чистотой, простотой обслуживания и низкой себестоимостью.

*Магнитные методы* используют для отделения парамагнитных (слабомагнитных) и ферромагнитных (сильномагнитных) компонентов смесей твердых материалов от их диамагнитных (немагнитных) составляющих.

Для успешного разделения магнитных и немагнитных частиц в магнитном поле сепаратора магнитная сила, действующая на магнитные частицы, должна превышать равнодействующую всех механических сил. Взаимодействие между всеми силами зависит от

способа подачи сырья в рабочую зону сепаратора, конструктивных особенностей аппарата, режима его работы. Подлежащие магнитной сепарации материалы, как правило, подвергают предварительной обработке (дроблению, измельчению, грохочению, обесшламливанию, магнетизирующему обжигу и др.). Магнитное обогащение материалов крупностью 3-50 мм проводят сухим способом, материалов мельче 3 мм - мокрым. Технология магнитной сепарации зависит, прежде всего, от состава подлежащего переработке материала и определяется типом используемых сепараторов. Последние обычно снабжены многополюсными открытыми или закрытыми магнитными системами, создающими различные типы магнитных полей. Они отличаются способами питания (верхняя или нижняя подача материала), перемещения продуктов обогащения (барабанные, валковые, дисковые, ленточные, роликовые, шкивные сепараторы), характером движения обрабатываемого потока и эвакуации магнитных компонентов (прямоточные, противоточные, полупротивоточные) и другими особенностями.

*Электрическая сепарация* применяется для обработки сыпучих материалов крупностью от 0,05 до 5 мм, переработка которых другими методами малоэффективна или недопустима с экологической точки зрения.

При электрической сепарации дробленых отходов используются различия в эффектах взаимодействия заряженных частиц разделяемых компонентов с электрическим полем. Различают электрическую сепарацию в электростатическом поле, поле коронного разряда, трибоадгезионную сепарацию. С их помощью решают задачи обогащения, классификации и обеспыливания как рудного сырья и некондиционных продуктов в металлургии черных, цветных и редких металлов, так и многих неметаллических материалов (тонкодисперсного кварца, формовочных песков, известняка, песка для стекольной промышленности и др.).

*Электростатическая сепарация* основана на различии электропроводности и способности к электризации трением (трибоэлектрический эффект) минеральных частиц разделяемой смеси. При контакте частиц сепарируемых материалов с поверхностью заряженного металлического электрода электропроводные частицы приобретают заряд и отталкиваются от него. Величина заряда зависит от электропроводности частиц.

При небольшой разности в электропроводности частиц используют электризацию их трением (путем интенсивного перемешивания или транспортирования по поверхности вибрлотка). Наэлектризованные частицы направляют в электрическое поле, где происходит их сепарация.

Сепарация в поле коронного разряда, создаваемого между коронирующим (заряженным до 20 - 50 кВ) и осадительным (заземленным) электродами, основана на ионизации пересекающих это поле минеральных частиц оседающими на них ионами воздуха и на различии в интенсивности передачи этими частицами приобретенного таким образом заряда на поверхность осадительного электрода. Эти различия выражаются в траекториях движения частиц.

Трибоадгезионная сепарация основана на различии в адгезии (прилипанию) к поверхности наэлектризованных трением частиц разделяемого материала. Температура процесса существенно влияет на силу адгезии, которая увеличивается или уменьшается электрическими силами, вызываемыми трибоэлектрическими зарядами. Помимо этого, на частицы действуют силы тяжести и центробежные силы, что в совокупности приводит к разделению частиц по вещественному составу и крупности.

Электрические сепараторы классифицируют по характеру электрического поля (электростатический способ электризации (с электризацией контактным способом, в поле коронного разряда, трибоэлектризацией и др.) и по конструкции рабочих органов (барабанные, камерные, ленточные, лотковые, пластинчатые, полочные и др.).

Электрический механизм лежит в основе работы электрофильтров, широко используемых для очистки аспирационного воздуха и дымовых газов от твердых частиц пыли и золы-уноса. Они пригодны для очистки газов с температурой до 400 °С, а в отдельных случаях и выше.

Работа электрофильтра основана на воздействии электрического поля на частицы пыли, имеющие электрический заряд. Электрическое поле создается электродами фильтра, а зарядка частиц пыли производится коронным разрядом, образующимся между коронирующим и осадительным электродами.

Удаление пыли с осадительных электродов производится путем их встряхивания или орошения водой.

Подлежащие электрической сепарации материалы обычно подвергают подготовительным операциям (дроблению и классификации по крупности, отделению от шламов, сушке, термообработке при температуре до 300 °С). Процесс сепарации наиболее эффективен, если размеры частиц не превышают 5 мм.

Наряду с рассмотренными процессами сепарации при переработке твердых отходов в ряде случаев используют и другие физические методы (сепарация по коэффициенту трения и по форме, радиометрическая и т.д.).

### **3.5 Гидро- и аэродинамические процессы, используемые при переработке отходов**

Гидродинамические процессы, используемые при переработке промышленных отходов, включают: гравитационное отстаивание под действием силы тяжести в отстойниках и флотаторах, разделение под действием центробежной силы в центрифугах и гидроциклонах, фильтрацию под действием разности давлений через фильтрующую перегородку в различных фильтрах и др.

Принципиальной разницы в механизмах протекания гидро- и аэродинамических процессов нет. Конечно, существенные отличия плотностей и вязкостей жидкой и газовой сред приводят к различию скоростей процессов и к отличиям в конструкциях оборудования для осуществления гидро- и аэродинамических процессов сепарирования отходов. Основной причиной этих отличий является соотношение силы тяжести частиц и величины сопротивления их перемещению под действием этой силы, оказываемого той или иной средой. Поэтому здесь будут рассмотрены и процессы разделения частиц отходов в воздушных потоках. К таким процессам следует отнести прежде всего очистку газов от твердых частиц в циклонах и рукавных фильтрах, а также процессы пневмосепарации в аппаратах различной конструкции.

*Гравитационное отстаивание* основано на различии скоростей падения в жидкой или воздушной среде частиц разного размера и плотности. Двухфазные смеси, компоненты которых различаются по плотности, довольно легко разделяются в устройствах, основанных на использовании сил гравитации. В простейшем случае седиментацию можно описать как установившееся движение единичной сферической частицы в безграничном объеме жидкости (газа).

Выделение из воды тонущих или всплывающих примесей отстаиванием является наиболее простым и экономичным процессом, в связи, с чем отстойники различных типов получили широкое распространение в промышленности.

*Отсадка* является высокопроизводительным, экономичным и универсальным способом разделения отходов.

Отсадка представляет собой процесс разделения твердых частиц по плотности под действием переменных по направлению вертикальных струй воды (воздуха), проходящих через решето отсадочной машины.

Отсадка наиболее эффективна при разделении отходов, содержащих достаточно крупные зерна с сильно различающейся плотностью.

Отсадке обычно подвергают предварительно обесшламленные широко- или узкоклассифицированные материалы с крупностью 0,5 - 100 мм для нерудных и 0,2 - 40 мм для рудных материалов. При отсадке крупного материала на решетке образуется так называемая постель - слой толщиной в 5 - 10 диаметров наибольших частиц. При отсадке мелкого материала (до 3 - 5 мм) на решетке укладывают искусственную постель из крупных тяжелых частиц материала, размер которых в 3 - 4 раза превышает размер наиболее крупных частиц питания. В процессе отсадки материал расслаивается: в нижнем слое концентрируются тяжелые частицы, в самом верхнем - легкие мелкие. Получаемые слои разгружают отдельно.

Отсадочные машины различаются способом создания пульсаций (движением диафрагмы, поршня, решета, пульсирующей подачей сжатого воздуха), типоразмерами, числом фракций выделяемых продуктов, конструктивными особенностями.

*Обогащение в тяжелых средах* заключается в разделении материалов по плотности в гравитационном или центробежном поле в суспензии или жидкости, плотность которой является промежуточной между плотностями разделяемых частиц.

Тяжелые суспензии представляют собой взвешенные в воде тонкодисперсные частицы тяжелых минералов или сплавов-утяжелителей, в качестве которых используют ферросилиций, пирит, пирротин, магнетитовый и гематитовый концентраты и другие материалы крупностью до 0,16 мм. Максимально возможная плотность суспензии 3500 - 3800 кг/м<sup>3</sup>.

Наиболее распространенными аппаратами обогащения в тяжелых средах являются барабанные, конусные, колесные и гидроциклонные сепараторы.

Для разрушения и удаления глинистых, песчаных и других минеральных, а также органических примесей твердых отходов часто используют процессы их промывки (отмывки), которые проводят в промывочных машинах разнообразной конструкции (гидромониторы, барабанные грохоты, вращающиеся скрубберы, корытные мойки, аппараты автоклавного и других типов). В качестве промывочного агента наиболее часто используют воду (в ряде случаев с добавками поверхностно-активных веществ (ПАВ)).

Помимо описанных гравитационных методов сепарации в практике переработки твердых отходов используют и другие, часто называемые инерционными, которые основаны на различии плотностей компонентов обрабатываемых отходов, а также их упругостей и коэффициентов трения.

Пенная сепарация - физико-химический процесс, заключающийся в избирательной адсорбции поверхностно-активных компонентов жидких систем на поверхности поднимающихся пузырьков воздуха.

Концентрирование суспензий или растворов этим методом основано на использовании пузырьков газа для увеличения подъемной силы, действующей на отделяемые частицы. Газовые пузырьки «прилипают» к частицам, понижая при этом их эффективную плотность до величины меньшей, чем плотность воды.

Газовые пузырьки могут образовываться несколькими методами. В зависимости от способа создания пузырьков воздуха в жидкой среде пенная сепарация подразделяется на механическую и пневматическую, а также сепарацию с выделением растворенного в жидкости воздуха за счет снижения давления.

При механической пенной сепарации образование пузырьков воздуха происходит при механическом взаимодействии воздуха и воды, создаваемом с помощью специальных турбинок импеллеров. Полученные механическим способом пузырьки воздуха имеют большие размеры, что снижает эффективность сепарации.

При пневматической пенной сепарации образование пузырьков воздуха происходит за счет диспергирования сжатого воздуха в пористых или перфорированных аэраторах. Этот способ

сепарирования также недостаточно эффективен из-за сложности получения мелких пузырьков воздуха.

Более эффективным является создание пузырьков воздуха при снижении давления. При этом способе воздух растворяется в жидкости при повышенном давлении, а пузырьки выделяются при его снижении в системе до атмосферного, так как снижение давления приводит к уменьшению растворимости воздуха. Это наиболее часто используемый способ, так как он позволяет получать большое число пузырьков малого размера (30 - 120 мкм). Такой способ пенной сепарации получил название напорной флотации.

В технологическую линию для осуществления процесса пенной сепарации входят нагнетательный насос, устройство для подачи воздуха, флотационная камера, где происходит насыщение жидкости воздухом, и выделительная камера. Исходное сырье и воздух поступают в камеру, где происходит насыщение суспензии воздухом, и затем в выделительную камеру. Твердые частицы всплывают, образуя слой на поверхности жидкости, и удаляются скребками. Осветленная жидкость отводится из аппарата с помощью регулируемого водослива.

Пенная сепарация подразделяется на пенное фракционирование (ПФр) и пенную флотацию (ПФл).

Пенным фракционированием называется выделение из растворов, растворенных в них веществ. Пенной флотацией называется выделение нерастворимых веществ из дисперсных систем. При пенном фракционировании гидрофобная часть поверхностно-активных молекул вещества перемещается к поверхности раздела газа и жидкости, и молекулы принимают устойчивое положение относительно пузырька воздуха. Гидрофильные концы молекул остаются в водной фазе, а гидрофобные проникают в газовую фазу. При непрерывном процессе пузырьки всплывают на поверхность жидкости и образуют слой пены. Если образующаяся пена устойчива, ПАВ будет накапливаться в пенном слое. Удалением с поверхности слоя пены ПАВ отделяются от растворяющей их жидкости. Растворенные вещества с низкой способностью к образованию пены могут быть подвергнуты пенному фракционированию путем добавления в жидкость пенообразующего агента. В качестве пенообразующих веществ используют масла, жирные кислоты и их соли, дитиокарбонаты, алкилсульфаты, амины и другие соединения. Удаление нерастворенного взвешенного вещества методом пенной

флотации происходит следующим образом. Мельчайшие пузырьки воздуха, образующиеся при его подаче в жидкость в сжатом состоянии, скапливают вокруг себя гидрофобные взвешенные частицы. Благодаря разнице плотностей эта агрегация частиц и пузырька устремляется к поверхности жидкости, и взвешенное вещество концентрируется в слое пены. Затем пена вместе с взвешенными частицами удаляется.

Эффективность пенной сепарации зависит от устойчивости и дренажной способности пены (т.е. способности к влагоотдаче). Дренажная способность зависит от содержания жидкости внутри слоя, размера пузырьков, вязкости и поверхностного натяжения стенок пузырька.

Пенная сепарация нашла применение сравнительно недавно, но получает все большее распространение. Это обусловлено тем, что при относительно небольших капитальных и эксплуатационных затратах, простом аппаратном оформлении она позволяет решать весьма широкий круг задач, связанных с очисткой воды от диспергированных или растворенных примесей.

Центробежной сепарацией называют процессы разделения неоднородных фаз в центрифугах и гидроциклонах, в основе которых лежит действие центробежных сил.

Для центрифугирования используют центрифуги, в которых в зависимости от конструкции проводят центробежное осаждение или центробежное фильтрование. Для осаждения используют центрифуги, имеющие ротор со сплошной стенкой, а для фильтрования - центрифуги с перфорированной стенкой ротора. Суспензии можно разделять в аппаратах обеих конструкций, а эмульсии - только в аппаратах со сплошной стенкой ротора. Для реализации этих процессов производят осадительные и фильтрующие центрифуги.

При разделении суспензий в фильтрующих центрифугах жидкость фильтруется через перфорированную стенку ротора, а твердые частицы задерживаются ею. Образовавшийся на стенке осадок выгружается в непрерывном или периодическом режиме.

### **3.6 Теплообменные процессы, используемые при переработке отходов**

Теплообменные процессы, широко используемые при различных способах утилизации отходов, реализуются с помощью

аппаратов, выполняющих функции нагревателей, охладителей, кипятильников, испарителей, конденсаторов и т.п. Теплообменные процессы лежат в основе работы ректификационных, сорбционно-десорбционных, выпарных, экстракционных, сушильных и других установок.

Теплообменом называется самопроизвольный перенос тепла между телами, имеющими различную температуру; тепло может передаваться теплопроводностью, конвекцией и тепловым излучением. Теплообменные процессы осуществляются с помощью теплоносителей, которые аккумулируют тепло источника и отдают его в теплообменных аппаратах. Теплоносители имеют ограниченные температурные диапазоны применения. При выборе теплоносителей учитывают их стоимость, возможность безопасной работы, интенсивность теплообмена, который они обеспечивают, коррозионную стойкость и другие факторы. Основными теплоносителями являются вода, водяной пар и топочные газы; в ряде случаев для этих целей используют высококипящие жидкости, расплавы солей, металлов и другие вещества. Некоторые процессы осуществляются с использованием электронагрева.

Горячую воду используют для нагрева до 100 °С. Перегретый пар легко обеспечивает нагрев до 200 °С и выше, однако такая температура достигается при давлении пара около 0,2 МПа. Высококипящие жидкости можно использовать при необходимости нагрева до 400 °С. Еще больший нагрев (до 550 °С) обеспечивают расплавы солей, но их применение требует высокой герметичности оборудования и защиты последнего инертным газом. Расплавы металлов и сплавов могут использоваться при температурах 300 -800 °С. В качестве теплоносителей применяют литий, натрий, калий, ртуть, свинец и ряд сплавов. Использование расплавов металлов, так же как и расплавов солей, требует специального защищенного инертным газом и тщательно герметизированного оборудования. Они находят применение в теплообменных аппаратах, работающих на атомных электростанциях.

Одним из наиболее распространенных теплоносителей при переработке отходов являются топочные газы, с помощью которых возможен нагрев до температуры около 1100 °С.

Помимо нагревания при переработке отходов часто используется охлаждение. Наиболее распространены в качестве охлаждающих агентов вода и воздух. Вода позволяет охлаждать до

температуры не ниже 4 °С (артезианская вода), а лед - до 0 °С. Более низкую температуру обеспечивают смеси льда с солями. Однако для создания низких температур в промышленности используют холодильные установки, работающие с применением различных хладонов. Более глубокое криогенное охлаждение реализуется с помощью жидких газов, в частности, жидкий азот позволяет охлаждать до температуры -193 °С.

К теплообменным аппаратам относятся любые установки, в которых происходит теплообмен между двумя и более средами: подогреватели, испарители, конденсаторы, паровые котлы, кипяильники, скрубберы, и др. По принципу работы различают поверхностные, смешительные и регенеративные теплообменные аппараты.

Наибольшее распространение получили поверхностные теплообменники, в которых теплота передается через стенку аппарата.

Задача создания теплообменной системы сводится к определению структуры технологических связей между теплообменными аппаратами, а также размеров поверхностей теплообмена каждого аппарата системы, которые обеспечивают рекуперативный теплообмен между горячими и холодными технологическими потоками.

В общем случае теплообменная система может состоять из совокупности внутренней и внешней подсистем. Внутреннюю подсистему образуют рекуперативные теплообменники, в которых происходит взаимный теплообмен между исходными и промежуточными потоками. Внешнюю подсистему образуют вспомогательные теплообменники, в которых идет теплообмен исходных и результирующих потоков с потоками хладагентов.

### **3.7. Диффузионные процессы**

Многие процессы разделения двухфазных систем с целью утилизации их компонентов основаны на диффузионных процессах. Определяющей характеристикой таких процессов является взаимодействие фаз, от которого зависит величина межфазной поверхности. Поэтому аппараты, в которых проходят процессы массопередачи, должны конструироваться так, чтобы поверхность контакта в них была максимальной.

При переработке отходов используют следующие диффузионные процессы: абсорбцию, адсорбцию, дистилляцию, кристаллизацию, растворение, сушку, экстрагирование и экстракцию.

*Абсорбция* - поглощение компонентов газа жидким абсорбентом. Широко применяется для очистки дымовых и аспирационных газов, выделения из газовых смесей ценных компонентов и для других целей. Работоспособность абсорбента определяется растворимостью в нем того или иного газа, которая зависит от физических и химических свойств газа и абсорбента, температуры и давления газа.

Процесс абсорбции реализуется в аппаратах периодического и непрерывного действия. Эффективность протекания процесса возрастает с увеличением поверхности раздела между газом и абсорбентом. Существующие абсорберы можно подразделить на поверхностные, тарельчатые и распылительные.

Процесс десорбции состоит в очистке жидкости от поглощенного вещества с помощью дистилляции, нагревания, снижения давления и другими способами. Десорбция может проводиться в аппаратах, аналогичных по конструкции абсорберам. Поглощение компонентов газа или жидкости твердым веществом называется адсорбцией, а сам поглотитель – адсорбентом. Одним из важнейших требований к адсорбенту является наличие у него высокоразвитой поверхности вследствие высокой пористости и развитого капиллярного строения. Другими важными свойствами адсорбентов являются поглотительная способность и избирательность поглощения тех или иных компонентов смеси. Поглотительная способность адсорбента называется активностью; она зависит от температуры и продолжительности его работы. С увеличением этих параметров активность адсорбента снижается. После насыщения адсорбента поглощенным веществом проводят процесс десорбции, т.е. извлечения адсорбата и восстановления работоспособности адсорбента.

Адсорбированные вещества из адсорбента извлекают перегретым водяным паром либо нагретым инертным газом. После десорбции пары конденсируют и вещество извлекают из конденсата.

Для регенерации адсорбента может быть использована и *экстракция* (жидкофазная десорбция) органическими низкокипящими растворителями. При регенерации органическими растворителями (метанолом, бензолом, толуолом, дихлорэтаном и др.) процесс

проводят при нагревании или без нагревания. В некоторых случаях перед регенерацией адсорбированное вещество с помощью химических реагентов превращают в другое вещество, которое легче извлекается из адсорбента. В том случае, когда адсорбированные вещества не представляют ценности, проводят деструктивную регенерацию химическими реагентами (окислением хлором, озоном или термическим путем. Термическую регенерацию проводят в печах различной конструкции при температуре 700 - 800 °С в бескислородной среде. Регенерацию ведут смесью продуктов горения газа или жидкого топлива и водяного пара. При этом теряется до 20% (масс.) адсорбента.

Наиболее часто применяемым адсорбентом является активный уголь. Широко используются силикагели. Для очистки отработанных масел применяют белую глину, которая благодаря низкой стоимости, как правило, не регенерируется, а заменяется по мере насыщения.

В качестве адсорбента применяют также различные тканые и нетканые материалы на основе углеродных активных волокон.

Адсорберы - аппараты, в которых проводится адсорбция, - могут работать в непрерывном или периодическом режиме. Наиболее часто в промышленности применяются периодические адсорберы колонного типа, в которых последовательно проводят процессы адсорбции, десорбции, сушки и охлаждения адсорбента.

Адсорбцию применяют для удаления истинно растворимых органических соединений из сточных вод. Широкое применение нашел сорбционный метод очистки с использованием активных углей и некоторых других сорбентов при очистке сточных вод химических, нефтехимических и нефтеперерабатывающих предприятий, а также при очистке хозяйственно-бытовых сточных вод. Так, эта технология используется для очистки сточных вод при производстве органических продуктов, пластмасс, гербицидов и ядохимикатов, сульфатной целлюлозы и т.п. Сфера применения адсорбции постоянно расширяется. Адсорбционная очистка сточных вод имеет ряд существенных преимуществ перед другими методами, поскольку обеспечивает высокую степень очистки. Адсорбционные установки занимают небольшую площадь, надежны в работе, просты в эксплуатации, устойчивы к концентрационным и гидравлическим флуктуациям, не подвержены воздействию токсичных и других вредных веществ, содержащихся в сточных водах. Их работа

поддается полной автоматизации. Адсорбция широко применяется и при рекуперации растворителей.

Улавливать пары можно с помощью любых мелкопористых адсорбентов: активных углей, силикагелей, алюмогелей, цеолитов, пористых стекол и т.п. Наиболее целесообразно использовать активные угли, являющиеся гидрофобными адсорбентами: при относительной влажности очищаемых паровоздушных или парогазовых потоков до 50% влага практически не влияет на сорбируемость паров органических растворителей.

Сорбционные и хемосорбционные методы нашли широкое применение и для очистки отходящих газов. Так, улавливание оксидов азота производится путем адсорбции торфощелочными сорбентами в аппаратах с «кипящим» слоем. В промышленности применяются различные методы очистки газов от диоксида серы с помощью хемосорбентов, углеродных адсорбентов, силикагелей, кислотостойких цеолитов. Процессы хемосорбции лежат в основе методов очистки газов от фтористого водорода. Очистка газов от хлора и хлористого водорода осуществляется методами адсорбции с применением в качестве поглотителей дешевых материалов: лигнина и доменных шлаков соответственно. Применяют эти методы и для очистки от паров ртути газов, выбрасываемых предприятиями цветной металлургии, а также в ряде других производств.

Наряду с сорбционными при переработке отходов используются и другие массообменные процессы.

*Дистилляция*, или перегонка, заключается в переводе жидкости в пар и последующей его конденсации, что позволяет провести очистку и фракционирование смеси жидкостей. Разделение жидкостей дистилляцией проходит тем успешнее, чем больше разница их температур кипения и чем точнее поддерживается температура в аппарате. Дистилляцию высококипящих жидкостей, у которых температура кипения близка к температуре деструкции, проводят под вакуумом, что позволяет снизить температуру кипения.

При переработке отходов очень часто используют сушку - процесс удаления влаги из материала. При сушке удаляется главным образом механически связанная с материалом влага. Удаление влаги происходит за счет подвода к материалу тепла, что может осуществляться следующими способами: путем контакта с нагретой поверхностью аппарата (контактная сушка), путем непосредственного контакта с теплоносителем (конвективная сушка), излучением

(радиационная сушка), нагревом в переменном электрическом поле высокой частоты (диэлектрическая сушка). Кроме того, возможно высушивание вымораживанием влаги при глубоком вакууме (сублимационная сушка). В промышленности при переработке отходов, как правило, используются контактный и конвективный способы сушки.

Контактную сушку применяют в тех случаях, когда нежелателен контакт высушиваемого материала с теплоносителем. Контактная сушка осуществляется в сушильных шкафах, гребковых и вальцовых сушилках. Иногда контактную сушку проводят под вакуумом, что позволяет ускорить процесс, сократив при этом расход энергии и габариты оборудования. Однако значительное усложнение и удорожание оборудования препятствует широкому распространению вакуумной контактной сушки.

Конвективная сушка в токе газообразного теплоносителя, выполняющего одновременно функции влагоносителя, имеет широкое распространение при переработке различных отходов. Процесс проводится в камерных, барабанных, туннельных и других аппаратах. Наиболее широко применяются барабанные вращающиеся сушилки. Они характеризуются простотой конструкции, высокой производительностью и универсальностью. Как правило, в современных барабанных сушилках непрерывного действия осуществляется прямоточное движение высушиваемого материала и топочных газов, образующихся при сжигании топлива (чаще газообразного или жидкого). В практике переработки отходов часто в качестве топлива используют сами отходы. Некоторые сушилки работают в противотоке: высушиваемые материалы движутся навстречу топочным газам.

В ряде процессов переработки отходов используется кристаллизация, которая также относится к массообменным процессам. Выделение твердой фазы в виде кристаллов возможно из растворов и расплавов. В основе процесса кристаллизации из раствора лежит способность веществ растворяться в различных растворителях, в том числе в воде. При использовании кристаллизации для переработки твердых отходов их сначала переводят в раствор.

Для оценки поведения растворов и выбора рационального способа проведения этого процесса используют диаграммы состояния растворов, выражающие зависимость растворимости веществ от

температуры. Скорость процесса кристаллизации зависит от многих факторов: степени пересыщения раствора, температуры, интенсивности перемешивания, содержания примесей и др.

Создание необходимого для кристаллизации пересыщения раствора обеспечивается двумя основными приемами: охлаждением горячих насыщенных растворов (изогидрическая кристаллизация) и удалением части растворителя путем выпаривания (изотермическая кристаллизация) или их комбинацией (вакуум-кристаллизация, фракционированная кристаллизация, кристаллизация с испарением растворителя в токе воздуха или другого газа-носителя).

Растворение заключается в реализации гетерогенного взаимодействия между жидкостью и твердым веществом, сопровождающегося переходом последнего в раствор, и широко используется в практике переработки многих твердых отходов.

Процессы растворения осуществляют в аппаратах периодического и непрерывного действия разнообразных конструкций. Для интенсификации растворения используют наложение различных силовых полей.

*Экстракция* (выщелачивание) - это процесс извлечения из жидкой или твердой смеси веществ одного или нескольких компонентов с помощью селективного растворителя, называемого экстрагентом. Процесс может осуществляться непрерывно и периодически. В качестве экстрагентов используют воду, спирты, простые и сложные эфиры, альдегиды, кетоны, органические кислоты и их соли, а также соли органических оснований. При выборе экстрагентов учитывают: селективность по отношению к целевому компоненту смеси, который необходимо экстрагировать; экстракционную емкость по отношению к этому компоненту; возможность последующего его извлечения из экстрагента; безопасность работы с экстрагентом; стоимость.

На скорость экстракции влияют концентрация экстрагента, размер и пористость частиц отходов, интенсивность перемешивания, температура, наложение различных силовых полей (ультразвуковых, постоянных электрических, электромагнитных, высокочастотных, центробежных и др.) и в некоторых случаях присутствие различных микроорганизмов (бактериальное выщелачивание).

Экстрагирование может быть периодическим и непрерывным. Периодический процесс проводят настаиванием, т.е. обработкой залитого экстрагентом материала в течение определенного времени с

последующим сливом экстрагента и заменой его свежим. Непрерывное экстрагирование проводят путем многоступенчатого контакта прямоточным, противоточным и комбинированным способами. Аппараты, в которых проводят экстракцию, называются экстракторами. Используемые для реализации процесса экстракции аппараты характеризуются большим разнообразием конструкций. Экстракторы классифицируют по способу действия (периодические и непрерывно действующие, по направлению движения фаз (противо- и прямоточные, с процессом полного смешения, с процессом в слое и комбинированные), по характеру циркуляции растворителя (с однократным прохождением, с рециркуляцией и оросительные) и по ряду других признаков. Наиболее простым экстрактором для экстракции из жидкостей может быть емкость с мешалкой. Более сложным аппаратом является колонный экстрактор распылительного, тарельчатого и насадочного типов. Для ускорения процесса экстракции в экстракторах используют различные виды внешнего воздействия на жидкость: специальные перемешивающие устройства, низкочастотные колебания и др.

Для экстрагирования компонентов из твердой фазы используют карусельные, конвейерные, шнековые, барабанные, смесительноотстойные и другие экстракторы. Экстрагирование широко применяется при переработке отвалов горнодобывающей промышленности, некоторых металлургических и топливных шлаков, пиритных огарков, древесных и многих других отходов.

### **3.8 Химические процессы переработки отходов**

Химические процессы широко используются для очистки газовых выбросов, сточных вод и при переработке твердых отходов. Как правило, в химическом процессе участвует несколько веществ. Скорость и полнота протекания химических процессов зависят от температуры, давления, продолжительности, концентрации веществ, интенсивности перемешивания, активности катализатора и некоторых других параметров. Собственно химический процесс сопровождается переносом вещества и теплоты. В соответствии с этим влиять на химический процесс можно, изменяя продолжительность, рабочие концентрации исходных веществ, температурный режим, поверхность контакта гетерогенных фаз, а также поддерживая на соответствующем уровне активность катализатора.

Интенсификации химического процесса способствует использование рециркуляции, т.е. возврата части потока обратно в процесс, так как при этом более полно используются исходные продукты и энергия, улучшаются условия его проведения.

Примером химического процесса, используемого при переработке отходов, является очистка сточных вод с помощью химических реагентов. Метод химического осветления сточных вод основан на том, что при добавлении к ним неорганических и (или) органических коагулянтов (флокулянтов) при соответствующем рН среды происходит интенсивное хлопьеобразование, сопровождаемое удалением из сточных вод фосфора в виде нерастворимых солей - фосфатов и тяжелых металлов (нерастворимые гидроксиды). Присутствующие во взвешенном и коллоидном состоянии загрязнения адсорбируются на образующихся хлопьях и также удаляются.

Эффективность химической очистки воды зависит от многих факторов: соотношения концентраций коагулянта, флокулянта и загрязнений; интенсивности и продолжительности перемешивания обрабатываемых сточных вод при контакте их с химикалиями; рН среды и температуры; содержания солей; величины и знака заряда частиц и др. Обычно химическую обработку сточных вод проводят в реакторах-смесителях. В условиях интенсивного перемешивания химикалии контактируют со сточными водами при оптимальной величине рН, которую устанавливают в ходе предварительных лабораторных или пилотных испытаний. Другим примером является весьма распространенный метод дезинфекции сточных вод - хлорирование, главными недостатками которого являются токсичность сбрасываемых сточных вод из-за повышенного в ряде случаев остаточного содержания в них хлора, а также высокие энергетические затраты на его производство.

Более перспективный метод обеззараживания сточных вод - озонирование также относится к химическим процессам. Этот метод используется не только для дезинфекции сточных вод, но и для окисления содержащихся в них загрязнений. По сравнению с хлорной известью и жидким хлором озон обладает тем преимуществом, что в большинстве случаев не ухудшает ионного состава сточных вод, которые могут быть использованы при оборотном водоснабжении. Озонирование - еще более дорогой метод обработки, чем хлорирование, однако более высокие гигиенические свойства воды,

обеспечиваемые этим методом и требуемые современными стандартами, способствуют дальнейшему расширению его применения.

К химическим процессам относятся и некоторые способы регенерации отработанных моторных масел, переработки отходов пластмасс и резины и многие другие.

Сжигание отходов - это также разновидность химических методов переработки отходов, поскольку оно является окислительно-восстановительным процессом. Сжигание является одним из наиболее распространенных и эффективных методов переработки отходов. Оно сопровождается образованием диоксида углерода, воды и золы, а также токсичных веществ - диоксинов, оксидов серы, азота, тяжелых металлов и др. Поскольку газообразные продукты процесса сжигания отходов содержат вредные примеси, то для снижения их выбросов в атмосферу до требуемых стандартами норм проводят их химическую и физическую обработку, включающую дожигание, нейтрализацию, промывку и фильтрацию.

Часто при переработке органических отходов используют химические превращения, которые происходят под воздействием высоких температур, но в отсутствие химических реагентов, в том числе кислорода воздуха. Такой процесс называется пиролизом и заключается не только в распаде исходного материала, но и в протекании вторичных химических процессов полимеризации, изомеризации и других с образованием ценных газообразных, жидких и твердых продуктов.

Любой химический процесс протекает в реакторе, конструкция которого должна позволять создавать необходимые условия для оптимального его проведения. Большое количество воздействующих на процесс факторов, различные пределы их изменения, приводит к тому, что ассортимент реакторов, используемых в промышленности, в том числе и при переработке отходов, достаточно велик. Химические процессы могут проводиться в реакторах непрерывного и периодического, а также в аппаратах полунепрерывного действия. Конструктивно аппараты для проведения химических процессов выполняют в виде реактора, колонны, теплообменника или печи. Выбор конструкции аппарата зависит от условий технологического процесса.

Наибольшее влияние на конструктивное исполнение химического аппарата оказывают агрегатное состояние веществ,

участвующих в реакции, наличие и конструкция теплообменных устройств и способы перемешивания.

### 3.9 Биохимические процессы

Биохимические процессы наиболее сложны, поскольку подчиняются законам биологической кинетики, т.е. временным закономерностям, характерным для живой природы. В основе биохимических процессов лежат сложные химические реакции различного типа. Биохимический процесс окисления кислородом органических веществ осуществляется сообществом микроорганизмов (биоценозом), включающим множество различных бактерий, связанных между собой в единый комплекс сложными взаимоотношениями (метабиоза, симбиоза и антагонизма).

Важнейшая роль в этом процессе принадлежит бактериям, способным образовывать активный ил, который состоит из большого числа бактерий. В процессе биохимических реакций происходит трансформация органических веществ.

Направление и скорость трансформации зависят от температуры, поверхностей раздела, биологических и химических катализаторов и ингибиторов, рН среды и ее газового состава, состояния микробиологического сообщества и др. Трансформирующиеся органические вещества могут находиться в виде истинно растворенных частиц (молекул, ионов, свободных радикалов) или в виде коллоидных и взвешенных частиц. Количество промежуточных продуктов и число элементарных стадий трансформации каждого из веществ исчисляется десятками и сотнями.

Условно процесс трансформации органических составляющих можно разделить на три стадии. На первой стадии происходит массопередача вещества к поверхности клетки; на второй - диффузия вещества через полунепроницаемые мембраны клетки и на третьей стадии осуществляется метаболизм диффундированных продуктов с выделением энергии и синтезом нового вещества. Основную роль играют собственно биохимические процессы, протекающие внутри клеток микроорганизмов, но немаловажное значение имеют и процессы массопереноса (сорбции и диффузии).

Процессы биохимической очистки протекают с большой скоростью, являющейся следствием способности микроорганизмов к быстрому размножению в присутствии органических веществ.

Большую роль в протекании биохимических процессов играет кислород воздуха, который в зависимости от вида бактерий может либо способствовать разрушению отходов, либо препятствовать ему (аэробные и анаэробные процессы).

Биохимические методы находят применение в ряде рекуперационных процессов, в частности для очистки сточных вод, очистки почвы от нефти и в других случаях.

В связи с необходимостью интенсификации процессов очистки сточных вод широкое применение получил способ биохимической очистки с использованием технического кислорода или обогащенного кислородом воздуха.

Другим примером использования биохимических процессов при переработке отходов являются способы очистки земной и водной поверхностей от нефтяных загрязнений. Участвующие в процессе биохимической обработки поверхности бактерии превращают разлитую на ней нефть в безвредные продукты своей жизнедеятельности. Широко используются биохимические процессы при переработке твердых отходов органического происхождения.

Так, при биотермическом компостировании органические отходы в горизонтальных вращающихся барабанах подвергаются воздействию аэробных бактерий, выделяющих в результате своей жизнедеятельности тепло, которое необходимо для повышения их биологической активности. Ускорению протекания процесса способствуют (помимо поддержания температуры в заданном интервале) измельчение отходов с целью увеличения поверхности контакта, аэрация перерабатываемых отходов, создание необходимой влажности, перемешивание отходов.

Наряду с биохимической переработкой в условиях промышленных предприятий - мусороперерабатывающих заводов - широко используется и полевое компостирование твердых бытовых отходов. При биохимической переработке органических отходов наряду с их разложением происходит синтез новых органических веществ. Образующийся продукт - компост - используется в сельском хозяйстве.

Органические отходы, в частности отходы пластмасс, лесоперерабатывающей, пищевой и других отраслей

промышленности, сельского хозяйства, а также бытовые отходы, можно использовать для получения энергии, разлагая их с помощью микроорганизмов до сбраживаемых соединений.

Объемы образования таких отходов велики, из чего следует перспективность данной технологии. К таким отходам относятся опилки, древесная стружка, зелень, шелуха и солома злаковых растений, отходы корнеплодов и фруктов, молочная сыворотка и многие другие продукты.

Например, при микробном разложении и последующих превращениях древесных и других содержащих углеводы отходов получают этиловый спирт, являющийся ценным сырьем для химической промышленности.

Одной из реальных биотехнологий является получение из влажных органических отходов биогаза, представляющего собой смесь из 65% метана, 30% углекислого газа, 1% сероводорода и незначительных количеств азота, кислорода, водорода и других газов. 1 м биогаза по теплоте сгорания эквивалентен 0,6 м природного газа, 0,74 м нефти или 0,65 м дизельного топлива. Биогаз горит, образуя пламя синего цвета, не имеет запаха, а при сгорании не выделяет дыма.

Образование биогаза в значительных количествах происходит на полигонах твердых бытовых отходов в теле захоронения при воздействии бактерий в результате анаэробного разложения органических продуктов. На ряде полигонов этот газ собирается и по системе трубопроводов, специально уложенных в теле захоронения при формировании полигона, подается на реализацию с целью получения тепловой и электрической энергии. Сбор и утилизация биогаза не только способствуют рациональному использованию ресурсов, но и позволяют избежать загрязнения атмосферного воздуха в районе расположения полигона.

Биотехнология может быть использована не только для полного разложения каких-либо отходов, но и для превращения токсичных продуктов с помощью бактерий в вещества, не представляющие опасности для окружающей среды.

## **4 НОРМАТИВНО-ПРАВОВОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УПРАВЛЕНИЯ ОТХОДАМИ**

Нормативно-правовая база Республики Беларусь в области обращения с отходами представлена рядом нормативно-правовых актов, регламентирующих обращение с отходами.

Основным является закон Республики Беларусь от 20.07.2007 №271-З «Об обращении с отходами». Он определяет правовые основы обращения с отходами и направлен на уменьшение объемов образования отходов и предотвращение их вредного воздействия на окружающую среду, здоровье граждан, имущество, находящееся в собственности государства, имущество юридических и физических лиц, а также на максимальное вовлечение отходов в гражданский оборот в качестве вторичного сырья.

Наряду с этим имеется ряд нормативных правовых актов, регулирующих обращение с отходами:

1. Постановление Совета Министров Республики Беларусь от 22.10.2007 № 1379 «Об утверждении перечня административных процедур, совершаемых Министерством природных ресурсов и охраны окружающей среды и его территориальными органами в отношении юридических лиц и индивидуальных предпринимателей».

2. Инструкция о порядке инвентаризации отходов производства, утвержденная постановлением Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь от 29.02.2008 № 17.

3. Постановление Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь «Об утверждении классификатора отходов, образующихся в Республике Беларусь» от 8.11.2007 № 85.

4. Постановление Министерства жилищно-коммунального хозяйства Республики Беларусь «О перечне коммунальных отходов» от 30.11.2001 № 21.

5. Правила разработки, согласования и утверждения инструкции по обращению с отходами производства, утвержденные постановлением Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь от 28.11.2001 №28.

6. Постановление Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь «О некоторых

вопросах хранения и захоронения отходов производства» от 16.04.2008 № 35.

7. Постановление Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь от 22.11.2007 № 89 «О некоторых вопросах разработки нормативов образования отходов производства, порядка их согласования и утверждения».

8. Постановление Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь от 02.06.2009 № 33 «Об утверждении форм учетной документации в области охраны окружающей среды и инструкции о порядке применения и заполнения форм учетной документации в области охраны окружающей среды».

9. Инструкция о порядке установления степени опасности отходов производства и класса опасности опасных отходов производства, утвержденная постановлением Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь, Министерства здравоохранения Республики Беларусь, Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь от 17.01.2008 № 3/13/2.

10. Постановление Национального статистического комитета Республики Беларусь «Об утверждении формы государственной статистической отчетности 1-отходы (Минприроды) «Отчет об обращении с отходами производства» и указаний по ее заполнению» от 10.09.2009 № 157.

11. Постановление Министерства статистики и анализа Республики Беларусь от 03.10.2008 № 230 «Об утверждении формы государственной статистической отчетности 4-вторичное сырье (Минторг) «Отчет о поставке вторичного сырья» и указаний по ее заполнению»

12. Постановление Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь «Об утверждении формы сопроводительного паспорта перевозки отходов производства и Инструкции о порядке его оформления» от 9.12.2008 № 112.

13. Инструкция о порядке регистрации введенных в эксплуатацию объектов по использованию отходов и объектов хранения, захоронения и обезвреживания отходов, утвержденная постановлением Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь от 10.12.2007 № 99.

14. Постановление Совета Министров Республики Беларусь «Об утверждении перечня опасных отходов, сделки о передаче которых на определенный срок (кроме договора перевозки), а также об отчуждении которых другому юридическому или физическому лицу, в том числе индивидуальному предпринимателю, осуществляющему обращение с отходами, подлежат регистрации» от 23.10.2009 г. № 1391.

15. Постановление Совета Министров Республики Беларусь «Об утверждении Положения о порядке регистрации сделок о передаче опасных отходов на определенный срок (кроме договора перевозки), а также об отчуждении опасных отходов другому юридическому или физическому лицу, в том числе индивидуальному предпринимателю, осуществляющему обращение с отходами» от 17.01.2008 № 61.

16. Постановление Совета Министров Республики Беларусь «О лимитах используемых (изымаемых, добываемых) природных ресурсов, допустимых выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух, сбросов сточных вод и размещения отходов производства» от 1.02.2005 № 119.

17. Инструкция о порядке согласования территориальными органами Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь лимитов выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух, сбросов сточных вод и размещения отходов производства, утвержденная постановлением Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь от 28.02.2005 № 11.

18. Правила определения нормативов образования коммунальных отходов, утвержденные постановлением Министерства жилищно-коммунального хозяйства Республики Беларусь, Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь от 27.06.2003 № 18/27.

19. Инструкция по организации раздельного сбора (сбора), хранения и перевозки коммунальных отходов, утвержденная постановлением Министерства жилищно-коммунального хозяйства Республики Беларусь 30.07.2003 № 26.

20. Постановление Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь от 17.03.2004 № 4 «Об утверждении Инструкции об организации производственного контроля в области охраны окружающей среды и Инструкции о

порядке разработки, согласования и утверждения инструкции по осуществлению производственного контроля в области охраны окружающей среды».

21. Положение о лицензировании деятельности, связанной с использованием природных ресурсов и воздействием на окружающую среду, утвержденное постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 20.11.2003 № 1371.

В стране действуют и другие нормативно-правовые документы, регламентирующие общие требования в области обращения с отходами.

Закон Республики Беларусь «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения» от 7 января 2012 г. N 340-З направлен на установление правовых и организационных основ предотвращения неблагоприятного воздействия на организм человека факторов среды его обитания в целях обеспечения санитарно-эпидемиологического благополучия населения.

Закон Республики Беларусь «Об охране атмосферного воздуха» от 16 декабря 2008 г. N 2-3 определяет правовые и организационные основы охраны атмосферного воздуха от выбросов загрязняющих веществ и направлен на сохранение, восстановление качества атмосферного воздуха, обеспечение экологической безопасности.

Кодекс Республики Беларусь о недрах от 14 июля 2008 г. №406-3 регламентирует общие требования к обращению с отходами добычи и обогащения полезных ископаемых, а также к использованию недр в целях захоронения отходов.

Особую группу нормативно-правовых документов составляют санитарные правила и другие нормативно-методические документы санитарно-эпидемиологической направленности, регламентирующие методологию определения класса токсичности отходов, порядок их накопления, обезвреживания и захоронения на полигонах и свалках отходов, обустройство мест накопления и хранения отходов. В числе таких документов следует выделить:

– Гигиенический классификатор токсичных промышленных отходов 2.1.7.12-44-2005.

– Санитарные правила и нормы 2.1.12-61-2005 «Гигиенические требования к сбору, хранению, транспортировке и первичной обработке вторичного сырья».

– Санитарные правила и нормы 2.1.7.12-42-2005 «Гигиенические требования к накоплению, транспортированию и захоронению токсичных промышленных отходов».

#### **4.1 Регламентация сбора, заготовки и поставки отходов для использования в качестве вторичного сырья**

На предприятиях (в организациях) должны быть разработаны, согласованы с органами, осуществляющими государственный санитарный надзор и утверждены, инструкции по удалению токсичных промышленных отходов с их территории. Накопление и временное хранение промотходов на производственной территории осуществляется по цеховому принципу или централизованно. Условия сбора и накопления определяются классом опасности отходов, способом упаковки с учетом агрегатного состояния и надежности тары. При этом хранение твердых промотходов I класса разрешается исключительно в герметичных емкостях (контейнеры, бочки, цистерны); II - в надежно закрытой таре (полиэтиленовых мешках, пластиковых пакетах, закрытых ящиках); III – в бумажных мешках и ларях, хлопчатобумажных мешках, текстильных мешках; IV – навалом, насыпью, в виде гряд.

Накопление и временное хранение отходов на территории предприятия разрешается на специально оборудованных объектах (площадках, складах, бункерах, различных емкостях и пр.) с целью их дальнейшего использования в качестве вторичного сырья или вывоза на захоронение при условии получения соответствующего разрешения от природоохранных органов, оговаривающего условия, сроки и предельные объемы накопления отходов. Конструкция, схема расположения, предельная емкость, наличие природоохранных мероприятий и средств защиты мест временного размещения отходов должны быть отражены в проектной документации или в технологических регламентах, согласованных с органами охраны окружающей среды.

#### **4.2 Требования к трансграничным перемещениям опасных отходов**

Базельская конвенция вступила в силу 5 мая 1992 г. Республика Беларусь присоединилась к Базельской конвенции 29 сентября 1999 г.

Цель Конвенции – защитить здоровье людей и окружающую среду от неблагоприятных последствий производства опасных отходов, их трансграничной перевозки и использования.

Ключевым требованием Базельской конвенции является то, что отходы, полученные в результате производства товаров, должны быть регенерированы (переработаны) на территории того государства, где они были получены, с использованием технологий, исключаящих вредное воздействие на окружающую среду, жизнь и здоровье человека, а вывоз таких отходов может быть осуществлен только при условии согласия государства (в лице компетентного органа), на территорию которого планируется ввоз и утилизация отходов.

В настоящее время базовые требования к трансграничной перевозке отходов в Республике Беларусь установлены в ст. 27 Закона Республики Беларусь от 20 июля 2007 г. № 271-З «Об обращении с отходами»:

1) ввоз отходов в Республику Беларусь допускается только в целях их использования в качестве вторичного сырья на территории Республики Беларусь. Таким образом, ввоз отходов в Республику Беларусь в целях их хранения на объектах хранения отходов, а также их захоронения и (или) обезвреживания на территории Республики Беларусь запрещается;

2) ввоз и (или) вывоз отходов осуществляются на основании предварительно полученного разрешения (лицензии) на ввоз и (или) вывоз отходов, ограниченных к перемещению через таможенную границу Республики Беларусь по основаниям неэкономического характера, выдаваемого Минприроды;

3) собственники отходов либо уполномоченные ими лица, осуществляющие ввоз отходов в Республику Беларусь и (или) их перемещение транзитом через территорию Республики Беларусь, несут ответственность за причинение вреда при осуществлении их ввоза и (или) перемещения транзитом и обязаны обеспечить исполнение обязательств по вывозу отходов из Республики Беларусь при их перемещении транзитом через территорию Республики Беларусь, а также обязательств вследствие причинения вреда при ввозе этих отходов в Республику Беларусь или их перемещении транзитом через территорию Республики Беларусь путем внесения залога денежных средств в республиканский бюджет.

### 4.3 Государственная экологическая экспертиза

Экологическая экспертиза - это оценка воздействия на окружающую среду, природные ресурсы и здоровье людей комплекса хозяйственных нововведений в пределах какого-либо региона.

Государственная экологическая экспертиза проводится в целях предупреждения возможных неблагоприятных воздействий планируемой хозяйственной и иной деятельности на окружающую среду. Например, по предложениям экспертов вовлекаются мероприятия, улучшающие экологическую обстановку в городах (озеленение территорий, строительство очистных сооружений, уменьшение электромагнитных излучений).

Основной задачей экологической экспертизы является всесторонний контроль за соблюдением при проектировании хозяйственных объектов и технических систем природоохранного законодательства, а так же оценке предполагаемых решений с точки зрения поддержания и восстановления природных экосистем.

Выделяют несколько типов экологической экспертизы:

1. В зависимости от уровня организации (государственная, ведомственная, общественная).
2. В соответствии с масштабом рассматриваемой территории (межгосударственная, республиканская, региональная и местная).
3. По назначению (первичная, вторичная). Вторичная экологическая экспертиза проводится тогда, когда в первичной экспертизе указаны недостатки, требующие доработки и представления на повторную экспертизу или для доработки и представления для первичной экспертизы, а так же при неполноте представленных на первичную экспертизу материалов.

Экологической экспертизе подвергаются все виды хозяйственной деятельности, которые оказывают или могут оказать влияние на окружающую среду. К примеру, без экологической экспертизы запрещены: строительство промышленных, сельскохозяйственных и рекреационных предприятий, очистных сооружений и т.д.

Экологическая сертификация - это подтверждение соответствия продукции организаций и предприятий требованиям международного экологического стандарта ИСО 14001 и природоохранным требованиям, установленным законодательством РБ. Экологическая сертификация защищает интересы государства, общества и его

граждан в сфере окружающей среды. Экологическая сертификация обеспечивает экологическую безопасность технологических процессов, производств и продукции, способствует предотвращению ввоза в страну экологически опасных технологий и продукции, улучшает возможности интеграции экономики страны в мировой рынок и т.д. Сертифицированные предприятия имеют право маркировать свою продукцию и документацию специальным экологическим знаком соответствия.

#### *Экологическое нормирование.*

Экологическое нормирование является одним из наиболее эффективных средств рационального природопользования и охраны окружающей среды. Оно регулирует допустимую нагрузку на экосистемы и устанавливает границы взаимодействия хозяйственной деятельности на среду обитания. Экологическое нормирование представляет собой процесс установления показателей предельно допустимого воздействия человека на окружающую среду.

Главная цель - обеспечение взаимоприемлемого сочетания экономических и экологических интересов.

Система экологического нормирования включает в себя 3 типа нормативов:

1. Технологические. Это способность экономики обеспечивать выполнение установленных пределов воздействия человека на окружающую среду.

2. Научно-технические. Способность технических средств контролировать соблюдение пределов воздействия по всем направлениям.

3. Медицинские. Это нормативы качества окружающей среды определяющие пороговый уровень угрозы здоровью населения и компонентам биосферы (ПДК вредных веществ, допустимые уровни радиации и т.д.).

Закон РБ «Об охране окружающей среды» возлагает ответственность за разработку и утверждение нормативов качества окружающей среды на органы государственного управления по природным ресурсам и охране окружающей среды, а так же на систему здравоохранения.

ПДК (предельно допустимая концентрация) загрязняющих веществ - это максимально допустимая масса вредного вещества в единице объёма воздуха, воды или почвы.

ПДК устанавливается на таком уровне, что даже при ежедневном воздействии в течении продолжительного времени не вызывает патологических изменений в организме или заболеваний человека, животных, растений.

На основе ПДК определяются стандарты воздействия на окружающую среду. Они устанавливают ПДВ - предельно допустимый выброс и ПДС - предельно допустимый сброс конкретных вредных веществ из конкретных источников, исходя из условия непревышения ПДК этих веществ на данной территории.

Предельно допустимые нормы нагрузки на окружающую среду (ПДН). Этот норматив весьма важен при формировании территориально-производственных комплексов, для развития промышленности, сельского хозяйства, в строительстве и реконструкции. ПДН - это допустимая степень воздействия на окружающую природную среду в конкретном регионе. С этой целью для каждой экосистемы должны быть выявлены свои критерии качества природной среды, которые зависят от экологического резерва этой экосистемы и экологических возможностей данного региона.

## **5 ПЕРЕРАБОТКА ОТХОДОВ МЕТАЛЛОВ**

Металлы являются важнейшими конструкционными материалами. Несмотря на расширение использования новых материалов (полимеров, керамики и др.), металл остается основой конструкций машин, инструментов, приборов и др., которые со временем изнашиваются. После окончания срока службы в качестве конструкционного материала старый металл используют в новом качестве в виде вторичного металлургического сырья. Регенерация металла, закончившего срок службы, является началом нового цикла его кругооборота.

### **5.1 Образование металлолома и значение использования вторичных металлов**

Использование вторичных металлов имеет важнейшее значение, поскольку обеспечивает большую экономию общественного труда. Это связано с тем, что затраты на вовлечение металлоотходов в оборот значительно меньше, чем на выплавку металла из руды. Использование 1 т подготовленного лома черных металлов позволяет экономить свыше 1,8 т руды, агломерата и окатышей, 0,5 т кокса, 45 кг флюсов, около 100 м газа. При этом экономится более половины энергии, необходимой на выплавку металлов из руды.

При использовании металлолома для выплавки металлов значительно снижается нагрузка на окружающую среду.

Поскольку металлы являются важнейшим конструкционным материалом и применяются во всех отраслях промышленности, строительстве, сельском хозяйстве и на транспорте, то и происхождение их отходов может быть самым различным.

В общем виде металлолом - это металлические изделия, оборудование, машины, здания и сооружения или их металлические части, непригодные для дальнейшей эксплуатации. Металлолом может быть промышленным, военным, судовым, бытовым и бесхозным.

Промышленный металлолом состоит из скрапа, амортизационного лома, отходов, образующихся при металлообработке, и других отходов металла. Военный металлолом включает предметы военной техники, военно-технического имущества и боеприпасы. Судовой металлолом состоит из плавучих

средств и их оборудования. Бытовой металлолом - это предметы и детали бытовой техники и бытовых машин.

Скрап - зашлакованные отходы черных металлов. Скрап может быть стальным и чугунным. Стальной скрап - мелкие стальные частицы, образующиеся при разбрызгивании стали во время ее транспортировки и разлива в изложницы, а также остывшая сталь на стенках и дне разливочного ковша. Максимально возможное использование скрапа при выплавке стали зависит от способа ее производства.

Основное количество вторичных черных металлов образуется при их производстве, а также при амортизации оборудования. Доля источников образования отходов и лома черных металлов характеризуется следующими данными, %:

Амортизационный лом образуется при ликвидации основных средств, капитальном и текущем ремонте оборудования, ремонте и замене технологической оснастки и инструмента, а также при ремонте и замене малоценного инвентаря.

Количество образующихся в промышленности отходов черных металлов зависит от отрасли промышленности: наибольший объем отходов образуется в транспортном машиностроении, судостроении, станкостроении, приборостроении и других отраслях экономики.

Особую ценность представляют отходы и лом цветных металлов, к которым относятся все металлы и их сплавы, за исключением железа и его сплавов. Они обладают весьма ценными эксплуатационными свойствами и широко применяются в современной промышленности. В технике принято подразделять цветные металлы на легкие, тяжелые, благородные, тугоплавкие, рассеянные, редкоземельные, радиоактивные. Наиболее значительны объемы образования лома и отходов следующих цветных металлов и сплавов на их основе: алюминия, меди, свинца, цинка, никеля, титана, олова, вольфрама, молибдена, кадмия, кобальта, магния, ртути.

Получение цветных металлов из отходов является важнейшим источником их производства. Однако, большое количество отходов цветных металлов, особенно содержащихся в бытовых отходах, теряется на местах их образования, засоряя окружающую среду.

Так, важнейшими ресурсами свинца являются его отходы, образующиеся в результате амортизации аккумуляторов. Аккумуляторный свинцовый лом составляет до 80% от общего количества свинцовых отходов.

## 5.2 Классификация металлических отходов

Большое число видов отходов металлов и разнообразие технологий их переработки как вторичного сырья определяют необходимость четкой их классификации.

Классификация отходов черных металлов возможна по следующим признакам:

- сферам образования лома в процессе кругооборота металла в экономике;
- характеристикам лома с точки зрения необходимости его подготовки;
- направлениям использования лома в металлургическом производстве.

Наибольшее распространение получила классификация в зависимости от характеристик лома, определяющих возможности и направления его подготовки к переработке (исходное состояние, степень однородности, вещественный и химический составы, размеры, масса и форма куска и др.).

Поскольку количество марок металлов с различным химическим составом постоянно растет, то появляется необходимость все более глубокой классификации отходов, которая позволяет рассортировать их с целью наиболее полноценного использования.

Классификация отходов черных металлов производится согласно требованиям ГОСТ 278 - 86. В соответствии с ней отходы черных металлов в зависимости от содержания углерода подразделяются на два класса: стальной лом и отходы стали, а также чугунный лом и отходы чугуна. Стальные отходы содержат менее 2% углерода, а чугунные - более 2% углерода. Кроме того, существуют внеклассовые отходы с неопределенным содержанием углерода.

Внутри этих классов отходы в зависимости от наличия легирующих элементов подразделяются на углеродистые и легированные. По показателям качества отходы черных металлов подразделяются на 25 видов.

Стандартом регламентируются товарный вид отходов (брикеты, пакеты, шихтовые слитки, стружка, лом и т.д.), максимально допустимые габариты и масса кусков, брикетов и пакетов, а также ограничивается содержание посторонних безвредных примесей (для разных видов - различное, но не более 5%).

К качеству лома предъявляются высокие требования, обусловленные способом последующего переплава металла. При выплавке стали в мартеновских печах наиболее важна физическая характеристика лома, так как продолжительность загрузки и плавления, от которых зависит производительность мартеновских печей, определяется размерами и насыпной плотностью металлолома.

При переплаве лома в кислородных конвертерах и дуговых печах эти характеристики лома не имеют существенного значения, так как печи более удобны для загрузки. Производительность таких печей больше зависит от химической однородности лома и близости по составу к выплавляемым маркам стали.

Литейное производство предъявляет высокие требования и к габаритам, и к химическому составу лома.

Металлолом для сталеплавильного производства должен иметь насыпную плотность не менее 1300 - 1500 кг/м<sup>3</sup>. Тяжеловесный металлолом в зависимости от интенсивности продувки печи должен иметь толщину кусков не более 250 - 350 мм, размеры пакетов не должны превышать 1050x750x2000 мм, а масса их не должна быть менее 40 кг.

В дуговых электропечах может переплавляться металлолом в виде пакетов размерами не более 500x500x600 мм с насыпной плотностью не менее 2500 кг/м<sup>3</sup>. Дробленый лом должен иметь насыпную плотность не менее 800 - 900 кг/м<sup>3</sup>.

Независимо от способа переплава лом черных металлов не должен содержать цветных металлов. Даже небольшое количество примесей может сделать металлолом непригодным для дальнейшего использования.

Отходы цветных металлов и сплавов делят на классы, группы и сорта. В соответствии с ГОСТ 1639-78 «Лом и отходы цветных металлов и сплавов. Общие технические условия» отходы цветных металлов подразделяются на 15 классов. Класс объединяет отходы по физическим признакам. В зависимости от химического состава классы делятся на группы. Группа объединяет отходы по химическим признакам. Для различных видов металла количество групп различно; каждая первая группа представляет собой технически чистый металл, а каждая последняя - низкокачественные отходы.

Группы подразделяются на сорта, характеризующие качественные признаки лома и отходов: содержание металла, степень разделки, габариты, засоренность.

Масса пакетов, пачек или стопок отходов цветных металлов не должна превышать: для алюминия и алюминиевых сплавов 150 кг, для металлов и сплавов других видов 250 кг. Масса отдельных кусков для всех металлов и сплавов должна быть не более 100 кг, размеры - не более 600х600х1500 мм.

Отходы цветных металлов, не отвечающие требованиям к сортам основных групп, но направляемые на переработку, относятся к низкокачественным. Максимальные размеры отдельных кусков низкокачественных отходов не должны превышать 1000х1000х2000 мм.

В настоящее время 95% заготавливаемых отходов цветных металлов составляют алюминий, медь, свинец, цинк и их сплавы. Остальная часть заготавливаемого лома и отходов представлена титаном, никелем, магнием, оловом, вольфрамом, кадмием, кобальтом, молибденом, ртутью или их сплавами.

Эффективность использования вторичных металлов связана с их подготовкой и переработкой. Для получения качественных металлов и сплавов они должны быть подвергнуты первичной обработке, под которой понимается совокупность процессов сортировки, разделки, пиротехнического контроля (для лома цветных металлов) и приведения лома и отходов к соответствующим массе и размерам. К сожалению, уровень подготовки сдаваемого металлолома далек от предъявляемых требований, в результате чего, например, свыше 60% заготавливаемого лома и отходов цветных металлов сдается как низкокачественное сырье.

### **5.3 Технология и оборудование для подготовки металлолома к переплаву**

Для использования в различных металлургических агрегатах металлолом необходимо переработать. Под переработкой отходов металлов подразумевается технологический процесс, в результате которого они приводятся в состояние, пригодное для использования в металлургическом и литейном производствах.

В зависимости от происхождения и состояния металлолома при его подготовке к переплаву используют следующие способы: пиротехнический контроль; сортировку; пакетирование; механическую резку; дробление стружки; переплав; копровое и взрывное дробление; термическое измельчение и др.

*Пиротехнический контроль* проводится при переработке лома цветных металлов, поскольку они широко используются для производства боеприпасов, авиационной и ракетной техники и их отходы представляют потенциальную взрывоопасность. Проверка производится дважды: предприятием-сдатчиком при сдаче металлолома и предприятием-заготовителем при его приемке. Кроме того, металлолом проверяется непосредственно перед загрузкой в плавильные агрегаты.

Работы по контролю, транспортированию и обезвреживанию взрывоопасных предметов выполняются специально обученными рабочими под руководством пиротехника. На проведение работ по разделке взрывоопасных предметов, самолетного лома и отходов военной техники администрация предприятия должна выдавать специальные наряды-допуски.

Поскольку сплавы цветной металлургии характеризуются большим разнообразием марок и сложностью химического состава, то вопросы сортировки их отходов приобретают первостепенное значение. Поэтому при переработке отходов цветных металлов необходима сортировка по видам. Сведения о химическом составе отходов, их идентификация позволяют выпускать высококачественные вторичные сплавы с минимальными затратами.

*Видовая сортировка* отходов цветных металлов проводится по физическим и химическим признакам: по внешним характерным признакам (цвет, характер излома и др.); предметным признакам (наименование деталей); клеймам маркировки деталей и изделий по ГОСТ, ТУ или заводской марке; результатам химического, спектрального, рентгеновского, радиационного анализа. Сортируют отходы цветных металлов в цехах, на базах и площадках на сортировочных столах, конвейерах или конвейерных линиях, где сочетаются ручной и механизированный способы. При ручной сортировке механизмируют вспомогательные операции: транспортирование, классификацию для выделения примесей и др.

Для идентификации вида отходов сортировщик использует приборы или визуальный контроль.

При механизированной сортировке применяются механизированные столы, сортировочные конвейеры, сортировочные линии.

Обработка крупнокускового лома цветных металлов с выделением железных включений производится на сортировочной линии.

*Пакетирование* – один из наиболее распространенных способов подготовки металлолома. Его применяют для переработки листовой обрезки, выштамповки, проволоки, бытового лома, металлоконструкций и т.п.

Для пакетирования металлолома используют пакетировочные прессы. Особенность их работы в том, что прессование одновременно осуществляется в трех плоскостях, в результате чего получают прочные компактные пакеты. Пресс имеет камеру прессования с несколькими плунжерами, гидравлическую аппаратуру с баком для масла, механизм загрузки камеры. Прессование и пакетирование металлолома позволяют снизить потери металла на угар в процессе последующей плавки. Модель прессы и его рабочие характеристики определяют допустимую толщину листа металлолома и параметры пакетов спрессованного лома. Процесс включает следующие операции: загрузку лома в пресс; прессование в различных направлениях; складирование полуфабрикатов (пакетов). Пресс обслуживают кранами, грузоподъемными электромагнитами и другой механизированной техникой.

Для уплотнения крупногабаритного металлолома широко применяются гидравлические пресс-ножницы, которые могут работать как в режиме прессования, так и в режиме резания.

Для получения качественных брикетов стружку перед брикетированием необходимо очистить от посторонних примесей и кусков металла, а также промыть от масла и СОЖ. Стружку высоколегированных сталей необходимо отжечь для снижения прочности.

Резка металлолома применяется для уменьшения его габаритов. Процесс механической резки условно можно разделить на три стадии: упругая, а затем пластическая деформации; надрез (сдвиг и образование трещины); полное разрушение материала.

Эти стадии сопровождаются изменением характера усилия в процессе резания, а также изменением поверхности раздела (у пластичных материалов разделение происходит без образования трещины, только за счет сдвига слоев).

Наибольшее влияние на процесс резки оказывают: прочностные свойства материала; геометрия, температура и расположение

разрезаемого изделия по отношению к режущему инструменту; форма и состояние режущего инструмента; величина зазора между ножами; скорость приложения нагрузки (скорость резания); конструкция режущего оборудования (жесткость станины, точность направляющих, наличие опоры и т. д.); величина трения между металлом и режущим инструментом.

Гидравлические ножницы представляют собой агрегат, состоящий из станины, загрузочного и подающего устройств, механизмов прижима и реза, гидро- и электропривода. Конструкция ножниц позволяет резать металлолом порциями, объем которых определяется емкостью загрузочного устройства. Процесс переработки металлолома на гидравлических ножницах состоит из следующих операций: подготовки лома (отбора кусков, не подлежащих резке); загрузки лома в ножницы; резки лома; сортировки нарезанных кусков по габаритам. Ножницы работают совместно с мостовым краном, оборудованным полип-грейфером или электромагнитом.

Для резки стального трубопроката, армированных сталью кабелей и другого аналогичного металлолома применяются аллигаторные (рычажные) ножницы с усилием резания от 3,15 до 10 МН. Резка металлолома на аллигаторных ножницах производится поштучно, а потому они малопроизводительны.

Кроме ножниц различного типа для механической резки лома цветных металлов применяют пилы.

В зависимости от вида режущего инструмента различают пилы дисковые и ножовочные. Дисковые пилы применяются с подвижным (салазковые и маятниковые) и стационарно установленным вращающимся диском.

Дробление вьюнообразной стальной стружки осуществляется на стружкодробильном агрегате.

С целью подготовки к утилизации стружки из легированной высокопрочной стали используют переплав. Процесс осуществляется в дуговых печах небольшой емкости от 1,5 до 5,0 т. В результате переплава получают слитки усредненного состава.

Для дробления отходов металлов получили распространение молотковые, роторные, ножевые, щековые и виброщековые, конусные и конусно-инерционные, валковые и другие дробилки, а также мельницы.

Часто отходы (особенно в виде конкретных изделий) имеют сложное конструктивное исполнение, когда соединены в единое целое детали из различных материалов: полимеров, металлов, стекла и др. Для разделки таких отходов целесообразно применять криогенную технологию, поскольку различные материалы по-разному реагируют на охлаждение и последующее нагружение.

Стали и полимеры при понижении температуры в условиях ударного нагружения проявляют склонность к хрупкому разрушению, а алюминий, медь, свинец сохраняют пластичность и вязкость. Поэтому при измельчении этих материалов в условиях глубокого охлаждения поведение их различно: стали, полимеры, резины - измельчаются, а цветные металлы - нет. После дробления смесь разделяется с помощью классификации или сепарации. Таким способом можно перерабатывать смешанный лом черных и цветных металлов, а также лом кабельных изделий.

Для охлаждения отходов используют турбохолодильные машины (ТХМ), которые обеспечивают температуру рабочей среды (воздуха) от  $-100$  до  $-120^{\circ}\text{C}$ . Для более низкого (криогенного) охлаждения отходов используют жидкий азот.

Себестоимость получения холода достаточно высока, особенно при использовании жидкого азота. Для снижения затрат на охлаждение отходов последовательно применяют ТХМ и жидкий азот.

Время охлаждения отходов зависит от плотности их укладки в камере, условий обдува, начальной температуры металла и температуры охлаждающего воздуха. Производительность технологической линии охлаждения отходов определяется в основном холодильной установкой.

Копровое дробление применяется для переработки крупногабаритного, массивного стального или чугунного лома и скрапа. Эстакадные копровые установки имеют загрузочную эстакаду, по которой перемещается мостовой кран, бойное место и второй ярус с перемещающимся по нему бойным краном. Подача лома и удаление готовой продукции с бойного места осуществляется мостовым краном. Подъем и сбрасывание копровой бабы производится бойным краном. Установка монтируется на специальном фундаменте и имеет обшивку, ограничивающую разлет осколков, образующихся при дроблении. В зависимости от вида

измельчаемого лома загрузка бойного места производится поштучно (крупные изложницы) или порциями (тонкостенное литье).

Энергия, расходуемая на дробление на копровой установке, зависит от массы и формы копровой бабы, а также высоты ее падения. Существенное влияние на эффективность измельчения оказывает форма бабы. Оптимальна грушевидная копровая баба с плоским дном.

Копровые бабы изготавливают из стали, содержащей 0,1 - 0,2% углерода, и термически закаливают. Долговечность копровых баб невелика (до 6000 - 7000 т измельченного металлолома). Более долговечны копровые бабы, изготовленные из стали, содержащей 12-18% марганца.

Для переработки крупных стальных и чугуновых массивов используют взрывное дробление, основанное на способности взрывчатых веществ (ВВ) выделять большое количество энергии, распространяющейся с огромной скоростью. Взрывное дробление применяется для разрушения крупногабаритных высокопрочных конструкций (мосты, здания, сооружения), массивного оборудования и других изделий. Как правило, взрыв используют для первичного разрушения на фрагменты, которые затем дробят на более мелкие куски другими машинами (копрами, дробилками и др.). Этот способ требует специальных навыков, так как использует материалы и технологию повышенной опасности.

При проведении взрывных работ необходимы: тщательное соблюдение технологии; правильный выбор и расчет мощности зарядов; обеспечение мер безопасности; правильное транспортирование и хранение ВВ.

Работы должны проводиться специально обученными людьми, имеющими документы на право ведения взрывных работ.

*Термическое измельчение* металлолома заключается в местном расплавлении кусков лома. Различные термические методы измельчения делятся на: газовую, плазменную, кислородно-дуговую резку, шпурение с помощью кислородного копья.

Наибольшее распространение получила газовая резка, которая используется для разделки лома из нелегированных и низколегированных сталей, имеющего толщину до 500 мм. В частности, широко применяют газовую резку для разделки автомобилей, судов, вагонов, контейнеров, рельсов и другого крупногабаритного лома. Процесс газовой резки включает три стадии: подогрев металла в газовом пламени до температуры

воспламенения, окисление (сгорание) металла в кислородной струе и выдувание кислородной струей жидких продуктов из зоны резки. Для разогрева металла ацетилено-кислородное пламя направляют на поверхность металла, а после разогрева до температуры 1150 °С через мунштук горелки подают кислород, в результате чего металл начинает интенсивно окисляться. Продукты химической реакции окисления расплавляются, а нижележащие слои металла нагреваются до температуры воспламенения.

При больших толщинах металла расход кислорода велик, так как он необходим не только для окисления металла, но и для выдувания продуктов горения и расплавленного металла из разреза.

Газовую резку нельзя применять для разделки изделий из высоколегированных сталей, так как присутствующие в их составе легирующие элементы образуют в результате окисления тугоплавкие оксиды, которые не поддаются плавлению при температурах, достигаемых при газовой резке (около 1600 °С).

Работа установки базируется на сочетании кислородного способа резки горючих материалов и термоструйного способа резки негорючих материалов. Разрушение разрезаемых материалов происходит вследствие комплексного воздействия на них высокотемпературной химически активной струи продуктов сгорания высококалорийного топлива, вытекающей из резака с большой скоростью. Установка конструктивно проста и надежна в работе.

Для измельчения лома из легированных сталей применяют плазменную резку, которая позволяет разрезать лом с толщиной стенок до 150 мм.

Плазменная струя образуется за счет возникновения электрической дуги в газовом потоке. Газ подогревается дугой до такого состояния, при котором его молекулы ионизируются. Энергия струи плазмы выплавляет и частично испаряет металл из полости реза. Природа плазмообразующего газа влияет на скорость плазменной резки металла. По влиянию на скорость резки газы располагаются в такой последовательности (в порядке увеличения скорости): аргон, гелий, азот, водород. Однако природа газа влияет и на долговечность работы сопла, из которого вытекает плазма. Она снижается в ряду: аргон, азот, гелий, водород. Итак, наибольшую скорость резки обеспечивает водород, но он же в максимальной степени снижает долговечность инструмента. Поэтому на практике в качестве плазмообразующего газа используют смесь аргона с

водородом. Подбирая состав газа, можно регулировать химическую активность плазмы.

Важнейшей характеристикой плазмы является ее энтальпия, т.е. количество тепловой энергии, содержащейся в единице объема плазмы. Энергия образующейся плазменной струи складывается из энергии дуги и энергии, накопленной плазмой.

Температура в ядре плазмы достигает 30000 °С, что приводит к мгновенному расширению газа, выходящего вследствие этого из мундштука плазменного резака с очень высокой скоростью.

Кислородно-дуговую резку применяют реже, но она также позволяет измельчать лом из легированных сталей. Правда, толщина стенок такого лома не должна превышать 80 мм. Для создания дуги используется постоянно плавящаяся проволока, служащая в качестве отрицательного электрода, а положительным электродом является металллом.

Сущность процесса шпурения кислородным копьем состоит в постоянном сжигании в кислородном пламени стальной трубы, по которой подается газ. Для создания кислородного копья используют стальные трубы с внутренним диаметром 3 и 6 мм.

Резка лома цветных металлов огневыми методами сопровождается большими потерями металла, имеет низкую производительность и относится к работам повышенной опасности. Она применяется в основном для фрагментирования крупногабаритных отходов (самолетный лом, гребные винты и т. п.) при таких объемах переработки, когда применение других методов экономически нецелесообразно.

## **6 УТИЛИЗАЦИЯ ШЛАКОВ, ЗОЛЫ, ОГНЕУПОРОВ, ПЫЛИ ОТХОДЯЩИХ ГАЗОВ**

Предприятия металлургической промышленности являются крупнейшими производителями токсичных отходов, среди которых основной объем приходится на шлаки, золу, горелые земли и огнеупорные материалы, причем в последние годы использование таких отходов существенно отстает от их образования.

Вместе с тем образующиеся на металлургических предприятиях отходы являются ценным вторичным сырьем и могут быть использованы для получения товарной продукции.

### **6.1 Направления утилизации шлаков**

Среди различных видов промышленных отходов одно из первых мест по объему занимают шлаки и зола, образующиеся при выплавке металла (металлургические шлаки) и при сжигании твердого топлива (топливные шлаки). Выход металлургических шлаков велик и составляет от 0,4 до 0,65 т на 1 т чугуна.

Шлак представляет собой отвердевшее камневидное или стекловидное вещество, образующееся при выплавке металлов или сгорании твердого топлива. Роль шлака в металлургическом процессе велика: он защищает металл от вредного воздействия газовой среды печи, поглощает всплывающие примеси и участвует в различных физико-химических процессах, происходящих при выплавке металлов. Металлургические шлаки состоят из продуктов химических реакций между вводимыми в печь флюсами, рудой и примесями, содержащимися в топливе. В зависимости от состава веществ, участвующих в металлургическом процессе, шлак может быть кислым, щелочным (основным) и нейтральным.

Отношение содержания суммы оксидов кальция и магния (основные) к содержанию суммы оксидов кремния и алюминия (кислые) называют степенью основности. При степени основности меньше 1 шлаки кислые, а степени основности больше 1 - основные.

От основности зависят текучесть и температура плавления шлаков, которые являются важными технологическими характеристиками при их переработке из расплавов. Другими важными характеристиками шлаков являются плотность, химический состав и прочность.

Химический состав металлургических шлаков зависит от марки выплавляемой стали, состава используемой руды и флюсов и т.д.

Шлаки являются ценным сырьем для изготовления легких железобетонных конструкций, теплоизоляционных строительных материалов и для других целей в промышленном, гражданском и дорожном строительстве. Их можно использовать при производстве цемента и шлакопортландцемента высших марок, удобрений и других материалов.

## **6.2 Производство строительных материалов из металлургических шлаков**

*Производство цемента.* Цементная промышленность использует шлак как активную минеральную добавку при производстве шлакопортландцемента - вяжущего вещества, твердеющего в воде и на воздухе. Шлакопортландцемент получают путем измельчения клинкера (обожженной до спекания смеси известняка и глины), доменного гранулированного шлака и гипса.

Активные вещества, содержащиеся в шлаке, улучшают технические свойства цемента, повышают его качество и прочность изготовленных из него строительных конструкций. Это позволяет сократить расход шлакопортландцемента на 5% по сравнению с портландцементом при производстве бетона класса В-25, из которого делается до 80% всех сборных железобетонных конструкций.

Использование доменных шлаков при производстве шлакопортландцемента позволяет заменить глину, снизить в 1,2 - 1,6 раза расход известняка, увеличить объем производства цемента в 1,5 - 2 раза, снизить расход энергии на 40%, улучшить экологические характеристики в регионе.

Объемы использования доменных шлаков цементной промышленностью настолько велики, что их не хватает и проводятся работы по вовлечению в производство других металлургических шлаков (конвертерных, ферросплавных, мартеновских и др.).

При изготовлении цемента используют шлаки в гранулированном виде. В настоящее время грануляционные установки имеются на всех металлургических заводах.

*Производство гранулированных шлаков.* Грануляция шлаков - процесс производства стеклообразных гранул из жидкого шлака

путем резкого его охлаждения водой, паром, воздухом или другим газом. Размер получаемых гранул 1-5 мм.

Для последующего использования важны такие свойства гранулированных шлаков, как гидравлическая активность, способность к измельчению, влажность, гранулометрический состав.

Грануляция шлака производится либо у плавильного агрегата, либо на отдельно стоящих установках с транспортировкой к ним шлакового расплава в ковшах. Основная масса шлаковых расплавов пока перерабатывается во внепечных гидрожелобах, бассейновых и барабанных установках. Дробление шлака в этих установках производится водяной или водовоздушной струей.

Одним из способов утилизации шлаков является *производство шлакобетона* - легкого бетона, в котором в качестве облегченного заполнителя использован шлак. Причем вместо песка применяется мелкий гранулированный шлак, а в качестве крупного заполнителя (щебня) - кусковой топливный шлак. Шлак для изготовления армированного шлакобетона не должен содержать в больших количествах соединения серы (не более 3%) и частицы несгоревшего угля (не более 3%), так как при более высоком их содержании происходит коррозия стальной арматуры и снижение прочностных свойств конструкций.

Объемная плотность шлакобетона составляет 1400 - 1600 кг/м<sup>3</sup>, прочность при сжатии - до 10 МПа. Его используют в строительстве для изготовления легких перекрытий, строительных блоков и камня, используемых для кладки стен.

*Производство пемзы из доменных шлаков.* При производстве легких бетонов и конструкций, а также теплоизоляционных засыпок используют термозит (шлаковую пемзу) - искусственный пористый заполнитель, получаемый вспучиванием расплавов металлургических шлаков при их быстром охлаждении ограниченным количеством воды с последующей кристаллизацией и отжимом образующейся пористой массы. Средняя плотность термозитного песка не превышает 1200 кг/м<sup>3</sup>. Термозитный щебень выпускается трех марок - с плотностью 400; 600 и 800 кг/м<sup>3</sup>.

Использование термозита в качестве заполнителя для изготовления легких бетонов и теплоизоляционных строительных материалов позволяет снизить массу ограждающих конструкций зданий по сравнению с кирпичными на 10 - 15% и расход цемента на 15-20%.

Большинство свойств термозита зависит от его структуры. При содержании в нем 40 - 60% (масс.) микрокристаллических образований достигаются максимальные прочностные свойства материала. Чем больше размер пор, тем ниже прочность термозита и больше расход цемента при изготовлении бетонов с его применением.

Образование пор в расплавленном шлаке является следствием выделения газов при взаимодействии с водой сульфидов металлов, находящихся в шлаке.

Вода, помимо участия в реакции газообразования, выполняет роль охлаждающего агента и повышает вязкость шлака и его способность удерживать газы. Поэтому для правильной организации процесса необходим хороший контакт воды со шлаком.

Качество получающейся пемзы оценивается ее пористостью, от которой зависят прочность, морозостойкость, теплопроводность, жаростойкость и другие свойства.

Существуют различные способы получения пемзы, из которых наиболее распространенным до недавнего времени был бассейновый, при котором шлак с температурой 1260 - 1320 °С обрабатывается в ваннах-бассейнах водой под давлением 0,08 - 0,1 МПа.

Вспучивание поступающего в бассейн шлака происходит в течение 2-3 мин за счет воздействия воды, подаваемой в бассейн под давлением через отверстия в его днище. Кристаллизация и формирование пемзы продолжаются 6-8 мин. После вспучивания получившуюся массу охлаждают в течение 3 - 5 ч до 100 - 150 °С на промежуточном складе, затем дробят на валковых дробилках и сортируют на грохотах.

*Производство щебня* из доменного шлака. До 20% образующихся доменных шлаков перерабатывается в щебень, который используется для устройства оснований всех видов дорог. Нулевую фракцию размером до 5 мм, которую называют шлаковой мелочью, обладающую вяжущими свойствами, используют при изготовлении монолитных шлакобетонных оснований.

Требования, предъявляемые к щебню, определяются областями его применения. Одним из важных показателей является морозостойкость щебня, за которую принимается количество циклов заморзания и оттаивания, выдерживаемых насыщенным водой щебнем без изменения прочности. Существующие марки щебня имеют морозостойкость 15, 25, 50, 100, 150, 200 и 300, т.е. выдерживают количество циклов замораживания-размораживания,

равное номеру марки. Для производства бетонов используют щебень 300. Формирование необходимой структуры щебня достигается регулированием скоростей слива и охлаждения расплавленного шлака. Получению кристаллической структуры способствует медленное охлаждение шлака.

Наиболее распространенным является траншейный способ производства щебня, при котором шлак сливается в траншеи около доменных печей. Оптимальная толщина слоя шлака при сливе его в траншею составляет 100 - 200 мм. В траншею сливают 25 - 40 партий шлака с интервалом 20 - 30 мин. После этого шлак медленно, в течение 3-4 сут, охлаждается, а затем застывший слой разрабатывается экскаватором и вывозится на дробление. Толщина слоя остывшего шлака составляет 4 - 5 м (высота реза экскаватора).

Для дробления шлака используют щековые, конусные, валковые, роторные и другие дробилки.

После дробления измельченный шлак сортируют на грохотах. Сортированный по фракциям щебень транспортируется с помощью ленточных конвейеров на склад готовой продукции.

*Производство минераловатных изделий.* Металлургические шлаки являются отличным сырьем для производства минеральной ваты. Вата состоит из минеральных волокон диаметром до 7 мкм и длиной 2-10 мм. Высокая пористость минеральной ваты, ее химическая природа обеспечивают ценные эксплуатационные свойства: термо-, водо-, морозостойкость. При объемной массе 50 - 300 кг/м<sup>3</sup> коэффициент ее теплопроводности составляет 0,125 - 0,209 кДж/(м·ч·°С).

Основным сырьем для производства минеральной ваты служат кислые доменные шлаки, богатые кремнеземом и глиноземом, а также ваграночные и мартеновские шлаки. Принцип производства ваты основан на разбивании струи расплава на элементарные струйки и последующей их вытяжке.

Наиболее рационально получать минеральную вату из первичного расплава шлака без его повторного переплава, который требует дополнительного расхода энергии.

*Производство шлакоситаллов.* Превосходными материалами, получаемыми из доменных шлаков, являются шлакоситаллы. Они имеют двухфазную структуру и состоят из мельчайших кристаллов стекла размером не более 2 мкм и аморфной стекловидной массы, объем которой составляет не более 40%. Свойства шлакоситаллов

зависят от соотношения кристаллической и аморфной фаз, химического состава шлаков, вида и количества добавок, параметров технологического процесса.

В состав шлакоситаллов входят оксиды кремния, алюминия, кальция, магния, марганца, железа, титана, натрия, цинка, а также фтор. Шлакоситаллы в массе окрашены в белый, серый или черный цвета. Шихта для получения шлакоситалла состоит из измельченного доменного шлака (< 60%), песка (35 - 40%) и небольшого количества добавок. Катализаторами кристаллизации служат сульфиды железа и марганца, содержащиеся в шлаке. Для придания шлакоситаллу белого цвета в шихту добавляют оксид цинка. Процесс производства шлакоситалла осуществляется в стекловаренной печи.

Шлакоситаллы обладают высокой прочностью на сжатие и на изгиб: они прочнее, чем каменное литье, кислотоупорная керамика, фарфор и некоторые природные камни. Прочность шлакоситаллов на изгиб приближается к прочности чугуна, но этот материал легче чугуна в три раза. Шлакоситаллы имеют высокое сопротивление истиранию: в 4 - 8 раз выше, чем у каменного литья, в 20 -30 раз - чем у гранита и мрамора, в 35 раз - чем у фарфора. Шлакоситаллы тепло- и морозостойки, устойчивы к воздействию кислот и щелочей, имеют низкий коэффициент термического расширения.

Из шлакоситаллов делают листовые панели и трубы для различного химического оборудования, электроизоляторы, электровакуумные и оптические приборы, подшипники и фильтры, мелющие тела и т. д.

### **6.3 Утилизация золы и топливных шлаков**

Значительное количество шлаков и золы образуется при сжигании твердых топлив. Их количество составляет при сжигании, %:

Использование отходов теплоэлектростанций (ТЭС) имеет большое экономическое и экологическое значение, поскольку их очень много, а создание и содержание отвалов требует значительных средств. За сутки работы ТЭС мощностью 1 млн. кВт сжигает 10000 т угля и выделяет 1000 т шлака и золы. Ежегодно для захоронения такого количества шлаков при высоте захоронения 8 м требуется более 1 га площадей.

Топливные шлаки по составу и свойствам отличаются от металлургических. Основными компонентами золошлаковых отходов, образующихся при сжигании твердых топлив, являются оксиды кремния (19-65%) и алюминия (3-39%), несгоревшие частицы топлива (7 - 23%), а также в небольших количествах микроэлементы.

Температура в топливных камерах современных ТЭЦ достигает 1600 °С, топливо подается в камеру в пылевидном состоянии. Образующиеся из минеральной части топлива частицы пыли имеют различный фракционный состав. При размере до 100 мкм пылевидные частицы уносятся дымовыми газами (зола-унос). Более крупные частицы оседают на под камеры и оплавляются, образуя стекловидную массу, которую затем подвергают грануляции.

Зола-унос может использоваться в производстве строительных материалов без дополнительной обработки (помола, просеивания и т.п.). Нелетучая зола может использоваться в гранулированном виде в дорожном строительстве для изготовления основания участков парковки автомобилей, велосипедных дорожек, дорог, набережных. Ее можно использовать в качестве покрытия на полигонах для размещения твердых бытовых отходов.

Летучую и нелетучую золу можно использовать в качестве инертного наполнителя в асфальтах.

Большие возможности утилизации золы связаны с ее сорбционными свойствами. По составу зола близка к неорганическим катионообменникам – цеолитам. Несгоревшие частицы угля, присутствующие в золе, также являются активным адсорбентом по отношению к органическим малодиссоциирующим веществам. Благодаря этим свойствам золу можно применять для очистки слабозагрязненных сточных вод.

Для определения возможности и направлений использования золы необходимо знать ее физические и химические свойства. Химический состав золы влияет на ее способность к выщелачиванию, а также определяет ее поведение при старении. Физические свойства золы (такие, как дисперсность, гидравлическая проводимость, плотность, уплотняемость, прочность, несущая способность и др.) влияют на прочностные характеристики и эксплуатационные свойства получаемых строительных материалов на ее основе.

Наиболее важными являются испытания, при которых определяется способность к выщелачиванию различных

составляющих золы. Они позволяют определить поведение золы и ее производных при эксплуатации.

Главной областью применения топливных шлаков, так же как и металлургических, является производство строительных материалов. Их используют самостоятельно как теплоизолирующую засыпку и как компонент для производства цемента, газобетона, керамзитобетона, зольного гравия, глиняного и силикатного кирпича. При использовании шлакозольных вяжущих получают бетоны с прочностью на сжатие до 40 МПа.

Жидкие топливные шлаки можно использовать в производстве отделочной керамической плитки: при содержании в смеси до 30% шлаков плитка имеет отличные физико-механические свойства и хороший внешний вид.

Зола-унос сухого улавливания может использоваться при строительстве автомобильных дорог для укрепления грунтов, в качестве самостоятельного медленно твердеющего связующего, а также в сочетании с цементом и известью. Возможно также использование такой золы и при выполнении гидротехнических работ: для производства сборного железобетона, изготовления бетонных растворов при строительстве плотин, дамб и других гидротехнических сооружений.

В связи с тем что шлаки содержат соединения фосфора, кальция, магния, различные микроэлементы, их используют для производства минеральных удобрений в форме муки.

Представляет интерес использование в качестве удобрений гранулированных шлаков, так как такое удобрение будет разлагаться в почве в течение 10-15 лет, передавая все это время растениям необходимые питательные вещества. Такие гранулы не пылят, не слеживаются и не смерзаются, а потому их можно вносить в почву и летом, и зимой. Стоимость гранулированного шлака ниже стоимости муки.

#### **6.4 Утилизация отработанных огнеупорных материалов**

При разборке огнеупорной футеровки и кладки печей образуется огнеупорный лом, пригодный к дальнейшему использованию. Основное количество огнеупорного лома образуется на предприятиях черной металлургии и в литейных производствах машиностроительных заводов. Значительное количество

огнеупорного лома образуется в устройствах для разливки стали, и прежде всего в сталеразливочных ковшах, которые футеруются в основном алюмосиликатными огнеупорами.

Разборка огнеупорной футеровки печей и других тепловых агрегатов на большинстве предприятий производится вручную по элементам огнеупорной кладки. Разборка футеровки начинается со свода печи. Перед его обрушением в печь вводят стальные короба, затем свод обрушивают завалочной машиной. После этого короба с отходами кладки вынимают на рабочую площадку, где производится первичная ручная разборка. Затем производится разборка торцевых стен печи. Для удаления отработанной футеровки в шлаковики вводят скрепер-машины, которые подают отработанные огнеупоры и шлак в контейнеры. Далее контейнеры транспортируются на сортировочные площадки, где производится выборка годного для повторного использования кирпича. Годный лом собирается в контейнеры, которые затем отправляются потребителю. Отходы лома, к которым относятся блоки футеровки размером более 500 мм с включениями шлака и металла, а также мелочь размером менее 20 - 30 мм, уходят в отвал. Процесс ручной сортировки огнеупорного лома отличается низкой производительностью и тяжелыми условиями труда. На некоторых крупных металлургических комбинатах действуют установки по механизированной сортировке огнеупорного лома.

При разборке огнеупорного лома для извлечения частиц металла, имеющихся в нем, используется магнитная сепарация. В этом случае фракция размером менее 20 мм, оставшаяся после ручной сортировки, поступает в шаровые мельницы, работающие в замкнутом цикле с грохотом, где лом измельчается до размера частиц не более 3 мм. Измельченный лом подается на магнитные сепараторы. Огнеупорный лом используется как вторичное сырье для производства огнеупоров. Шамотный лом применяется при изготовлении обычного и ваграночного кирпича, в производстве пористой керамики, жаропрочных бетонов.

Магнезиальный лом используют при изготовлении периклазо-хромитовых и хромитопериклазовых изделий и порошков. Лом дианасовых изделий применяют в огнеупорной промышленности при изготовлении бетонных и дианасовых блоков, а также плит для наружной облицовки зданий.

Лом муллитокремнеземистых, муллитовых и муллитокорундовых изделий используют при производстве высокоглиноземистых масс для футеровки разливочных ковшей.

Вторичные огнеупорные материалы широко используют на машиностроительных предприятиях. Малоизмененные огнеупорные изделия, отобранные при ремонте печей, идут в кладку этих же печей. Повторное использование огнеупорных изделий наиболее эффективно, так как не требует дополнительных затрат ручного труда и энергии и позволяет экономить первичные огнеупоры.

## **7 УТИЛИЗАЦИЯ ОТХОДОВ ГАЛЬВАНИЧЕСКИХ ПРОИЗВОДСТВ И СЕРНОЙ КИСЛОТЫ**

### **7.1 Переработка отходов гальванических производств**

При производстве машиностроительной продукции многие предприятия для повышения коррозионной стойкости и улучшения внешнего вида металлических деталей наносят на них гальванические покрытия. В гальваническом производстве образуются сточные воды, которые содержат такие металлы, как хром, никель, свинец, медь, кадмий, цинк, олово и др. Длительное их поступление в организм с водой или пищей даже в незначительных дозах приводит к нарушению функционирования центральной нервной системы, внутренних органов, эндокринной и других жизненно важных систем организма.

Значительная часть предприятий с гальваническим производством не имеет очистных сооружений и сбрасывает промышленные стоки в городскую канализацию. Многие предприятия, хотя и производят очистку сточных вод, полной нейтрализации токсичных компонентов не добиваются и также сбрасывают в канализацию большое количество вредных веществ.

Сточные воды гальванических производств подразделяют на отработанные и промывные. Отработанные сточные воды образуются при смене технологических растворов на свежие, промывные - при промывке деталей с нанесенным покрытием. Характерной особенностью всех сточных вод гальванических производств является низкая концентрация кислот и высокая концентрация ионов металлов.

Методы очистки сточных вод гальванических производств подразделяются на химические, электрохимические и физические. Система очистки сточных вод может быть проточной и замкнутой. При проточной системе очистки сточные воды после нейтрализации сбрасываются в канализацию. Замкнутые системы очистки используют в технологическом цикле очищенные сточные воды. Конечно, замкнутая система требует от предприятия более глубокой очистки сточных вод, но ее использование исключает сброс токсичных веществ в городскую канализацию, поэтому она более прогрессивна и предпочтительна.

Наиболее перспективны безреагентные способы очистки гальванических сточных вод, например электрокоагуляционный.

Преимущества таких методов по сравнению с технологиями, использующими химические вещества для осаждения мелкодисперсных шламов, заключаются в сокращении продолжительности процесса и производственных площадей, непрерывности процесса и повышении качества очищенной воды.

При отстаивании сточных вод гальванических производств в шламонакопителях образуются шламы, которые представляют собой коллоидные системы, состоящие из мелкодисперсных нерастворимых частиц, находящихся во взвешенном состоянии в воде. Их состав и количество колеблется в широком интервале в зависимости от типа производства.

Во многих случаях шламы сбрасываются в шламонакопители, отвалы и пруды, загрязняя как воздушный бассейн, так и подземные и поверхностные воды.

При их захоронении в шламонакопителях помимо ущерба, наносимого окружающей среде, одновременно теряется большое количество ценного сырья. Повторное использование извлеченных из шламов материалов, наоборот, позволяет в ощутимых количествах экономить природные ресурсы и снизить нагрузку на окружающую среду.

При утилизации шламов гальванических производств применяют следующие методы: химические, физико-химические, термические и их комбинации. Важнейшей операцией при утилизации этих шламов является обезвоживание, поскольку содержание воды в них достигает 99%. Для обезвоживания шламов применяют фильтрование, центрифугирование, для чего используют камерные и ленточные прессы, а также фильтрующие центрифуги. Заключительную стадию обезвоживания проводят на фильтр-прессах при давлении до 1,5 МПа. После фильтрования содержание сухого вещества может составлять 30 - 70% (масс.). Дальнейшее удаление влаги до содержания не более 10% (масс.) проводят с помощью сушки в барабанных и других сушилках. Полученный сухой порошок является ценным сырьем для получения товарной продукции.

Огневая обработка позволяет полностью обезвредить шламы и получить безвредные продукты горения и зольные остатки, состоящие из оксидов металлов. Наряду с прямым сжиганием термические методы часто являются составной частью комплексных технологий обезвреживания и утилизации шламов. В этих технологиях термическая обработка либо предшествует, либо следует

за физико-химическим или химическим процессом выделения ценных материалов из шламов.

Для обжига гальванических шламов применяют барабанные печи с противоточной системой термической обработки. Для этих же целей используют циклонные печи с верхним выводом газов, прокаливание в которых обеспечивает полное обезвреживание шлама за счет сгорания токсичных органических веществ и улавливание ценных минеральных продуктов. Дозирование шлама в циклонную печь осуществляется двухвалковым шнеком. При переработке шламов используют газообразное топливо для разогрева реактора.

Малые габариты циклонных реакторов обуславливают незначительные потери тепла в окружающую среду. В сочетании с низким коэффициентом расхода воздуха это позволяет осуществлять сжигание обводненных шламов при повышенных температурах с жидким шлакоудалением, что недостижимо в барабанных и шахтных печах. Кроме того, циклонные реакторы обладают повышенной сепарационной эффективностью, вследствие чего выделяющиеся газы содержат меньше пыли, что облегчает их обработку перед выбросом в атмосферу.

Работоспособность огневых реакторов, полнота выжигания органических веществ из шлама зависят от температуры процесса горения. При этом наиболее целесообразно образующиеся при горении шлаки удалять в жидком состоянии, при котором обеспечивается высокая полнота окисления выделяющихся продуктов. При твердом шлакоудалении, т. е. когда температура процесса недостаточна для расплавления шлака, не происходит полного выжигания веществ из шлама.

Обезвоженные гальванические шламы используют в промышленности строительных материалов. Для устранения экологической опасности отходов гальванических производств используют метод химической фиксации токсичных соединений, находящихся в шламе. Фиксация производится путем ферритизации, силикатизации, отверждения с использованием вяжущих материалов и спекания твердой фазы.

Например, хромсодержащие шламы после сушки используют в производстве декоративного стекла в качестве красителей. В зависимости от состава шлама можно получить стекла следующих цветов: зеленого, синего, коричневого, черного и их оттенков.

Добавка 3% порошка в смесь для изготовления строительной керамики позволяет повысить ее прочностные свойства. Обжигают керамику в туннельной печи при 980 °С.

При изготовлении кирпичей в глину добавляют 3-5% обезвоженных шламов с влажностью 60 - 80%, что позволяет улучшить технологические свойства композиции. Использование обезвоженного порошка при изготовлении керамической черепицы повышает ее прочностные свойства.

Гидроксидные шламы гальванических производств добавляют в количестве до 5% в асфальт, бетон, гипсовые смеси. Незначительное распыление частиц асфальта в процессе эксплуатации дорожного покрытия не вносит существенных изменений в химический состав грунта и дренажных вод.

Железосодержащие шламы после сушки используют для получения керамзита, а также для производства высококачественных ферросплавов. При получении ферросплавов обезвоженный шлам при содержании влаги до 10% смешивают с окалиной, золой, угольной пылью и другими компонентами, затем прессуют в виде брикетов, которые используют вместе с коксом и флюсами для получения ферросплавов методом восстановительной плавки.

Гидрометаллургические методы переработки гальванических шламов позволяют селективно извлечь практически все цветные металлы. Влажность используемых в этих процессах шламов не должна превышать 10%, а масса отдельных кусков не должна быть более 1 кг. Хорошим способом выщелачивания цветных металлов, например меди, цинка и др., является экстракция на ионообменных смолах в органическом экстрагенте с последующей рекстракцией меди из раствора серной кислотой и дальнейшим электролитическим осаждением меди. Извлечение других металлов возможно с помощью других экстрагентов. Однако при разработке таких технологий следует помнить, что в шламах различные металлы несовместимы между собой, так, цинк является ядом для никеля, свинец - для цинка и никеля и т. п. Последнее обстоятельство приводит к тому, что во многих случаях регенерация металлов из шламов гальванического производства не производится.

## 7.2 Регенерация отработанной серной кислоты

Серная кислота является важнейшим продуктом химической промышленности как по объему производства, так и по разнообразию областей применения. Крупными потребителями серной кислоты являются химическая и нефтехимическая промышленность, металлургия, машиностроение, сельское хозяйство и другие отрасли.

Отходы, образующиеся при использовании серной кислоты, включают кроме отработанной серной кислоты травильные растворы, кислые гудроны и сточные воды, содержащие кислоту менее 10% (масс.). В промышленном производстве насчитывается более 200 видов отработанной серной кислоты, содержащих около ста видов примесей.

Отработанная серная кислота обезвреживается и утилизируется следующими способами:

- нейтрализацией растворов без использования образующихся продуктов;
- использованием загрязненных растворов в других технологических процессах;
- регенерацией отходов с получением товарной серной кислоты.

Сточные воды с низкой концентрацией серной кислоты обычно нейтрализуют щелочами. Метод нейтрализации применяют при небольших количествах отходов и отсутствии в них органических примесей.

Отработанную кислоту применяют после очистки и концентрирования в производстве сульфатных минеральных удобрений. Непосредственное использование отходов кислоты в других процессах ограничено из-за наличия в них примесей.

Основная масса отработанной серной кислоты и кислых гудронов подвергается регенерации (кислые гудроны - это высоковязкие смолообразные жидкости, содержащие серную кислоту и большое количество органических веществ). Содержание кислоты в них составляет 24 - 89%).

В зависимости от состава отработанной кислоты применяют различные методы регенерации: термическое расщепление, экстрагирование органических примесей, адсорбцию, каталитическое окисление пероксидом водорода, коагулирование, выпаривание и др. Наибольшее распространение у нас в стране получила регенерация серной кислоты огневым методом, при котором происходит ее

высокотемпературное расщепление. Метод универсален и высокоэффективен. При огневом методе используется концентрированная серная кислота, поэтому предварительно проводят упаривание отработанной кислоты до необходимой концентрации.

Процесс термического расщепления кислоты проводят при 950 - 1200 °С, для чего в огневом реакторе сжигают топливо

Огневая регенерация серной кислоты из отходов позволяет одновременно с их обезвреживанием получать товарную продукцию высокого качества при сокращении расхода природного сырья и снижении затрат на 25 - 30% по сравнению с ее производством из первичного сырья (элементарной серы).

Для рентабельной регенерации серной кислоты необходимо предварительное обезвоживание (концентрирование) отходов, которое осуществляют в контактных теплообменниках за счет теплоты отходящего из огневого реактора сернистого газа. При этом одновременно происходит закалка газа.

При огневой утилизации отработанных травильных растворов и гидролизной серной кислоты получают побочный продукт - порошкообразный оксид железа. В том случае если травильные растворы не загрязнены различными примесями, получаемый оксид железа применяется в производстве красителей, активных катодных масс, ферритных порошков, полирующих паст и т. д. Загрязненный оксид железа используется как металлургическое сырье. В процессе регенерации травильных сернокислотных растворов образуется сульфат железа, который можно использовать непосредственно без дополнительной обработки как ядохимикат, а также для мелиорации почв и очистки сточных вод. Кроме того, этот продукт может использоваться как сырье для получения серы и оксида железа.

Существуют методы переработки сульфата железа в сернистый газ (а, следовательно, в серную кислоту). В частности, разработана технология получения серной кислоты путем одновременного сжигания сульфата железа и серы в реакторе с «кипящим» слоем при температуре 900 - 1000 °С. Образующиеся в процессе сжигания продукты сгорания подвергаются очистке от пыли, охлаждаются до 290 - 300 °С и направляются на получение серной кислоты по классической схеме.

## 8 ЗАХОРОНЕНИЕ ОТХОДОВ

Одним из наиболее распространенных способов удаления отходов является их захоронение. В принципе, захоронению должна подвергаться только та часть отходов, которая остается после их переработки тем или иным способом, а также те отходы, которые сегодня невозможно или экономически нецелесообразно утилизировать. Однако в действительности подвергается захоронению значительная часть отходов, которые можно было бы при достигнутом уровне технологии переработать с большой пользой для общества.

### 8.1. Полигоны для захоронения отходов

Захоронение отходов должно происходить на специально организованных полигонах. Полигоны для твердых коммунальных отходов (далее – ТКО) являются специальными сооружениями, предназначенными для изоляции и захоронения ТКО. На полигонах обеспечивается статическая устойчивость ТКО с учетом динамики уплотнения, минерализации, газовыделения, максимальной нагрузки на единицу площади, возможности последующего рационального использования участка после закрытия полигонов. Полигоны могут быть организованы для любых по величине населенных пунктов. Рекомендуется создание централизованных полигонов для групп малонаселенных пунктов.

Захоронения твердых бытовых отходов в нашей стране должны отвечать санитарным правилам и нормам 2.1.7.12-9-2006 «Гигиенические требования к устройству и содержанию полигонов для твердых коммунальных отходов».

Требования к размещению, устройству и содержанию полигонов токсичных отходов и объектов складирования определены в санитарных правилах и нормах 2.1.7.12-42-2005 «Гигиенические требования к накоплению, транспортированию и захоронению токсичных промышленных отходов»

При организации полигонов для захоронения отходов важное значение имеют:

- правильный выбор площадки;
- создание необходимых инженерных сооружений;
- порядок заполнения полигона отходами;

- глубина предварительной обработки отходов;
- проведение мониторинга окружающей среды;
- контроль за образованием, сбором и транспортировкой биогаза;
- контроль за образованием, сбором и удалением фильтрата.

Участок для размещения полигона токсичных отходов должен располагаться на территориях с уровнем залегания подземных вод на глубине более 20 метров с коэффициентом фильтрации подстилающих пород не более 10<sup>-6</sup> см/с; на расстоянии не менее 2 метров от земель сельскохозяйственного назначения, используемых для выращивания технических культур, не используемых для производства продуктов питания

Не допускается размещение полигонов на заболачиваемых и подтопляемых территориях.

Размер участка определяется производительностью, видом и классом опасности отходов, технологией переработки, расчетным сроком эксплуатации 20-25 лет и последующей возможностью использования отходов.

Функциональное зонирование участков объектов зависит от назначения и вместимости объекта, степени переработки отходов и должно включать не менее 2 зон (административно-хозяйственную и производственную).

На территории объектов допускается размещать автономную котельную, специальные установки для сжигания отходов, сооружения мойки, пропарки и обеззараживания машинных механизмов.

Размещение отходов на территории объекта осуществляется различными способами: террасами, терриконами, грядами, в котлованах, в траншеях, в цистернах, в емкостях, накопителях, на картах, на платформах.

Хранение и захоронение отходов на объекте осуществляется с учетом классов опасности, агрегатного состояния, водорастворимости, класса опасности веществ и их компонентов.

На все отходы, ввозимые на полигон, должен предоставляться паспорт опасности отходов, оформленный в соответствии с требованиями ГОСТ 17.9.0.5-2001 «Обращение с отходами. Паспорт опасности отходов».

Захоронение отходов I класса опасности, содержащих водорастворимые вещества, следует производить в котлованах в контейнерной упаковке, в стальных баллонах с двойным контролем

на герметичность до и после их заполнения, помещаемых в бетонный короб. Заполненные отходами котлованы изолируются слоем грунта и покрываются водонепроницаемым покрытием.

При захоронении отходов, содержащих слабо растворимые вещества I класса опасности, должны быть предусмотрены дополнительные меры по гидроизоляции стен и дна котлованов с обеспечением коэффициента фильтрации не более 10<sup>-6</sup> см/с.

Твердые пастообразные отходы, содержащие растворимые вещества II-III классов опасности нерастворимые в воде, осуществляют в котлованах с гидроизоляцией дна и боковых стенок. Захоронение твердых и пылевидных отходов, содержащих отходы II-III классов опасности, нерастворимые в воде, осуществляют в котлованах с уплотненным грунтом с коэффициентом фильтрации не более 10<sup>-6</sup> см/с. Твердые отходы IV класса опасности складировются на специальной карте с послойным уплотнением. Эти отходы в соответствии с санитарно-токсикологическим заключением могут использоваться в качестве изолирующего материала.

Отходы производства и потребления III-IV классов опасности разрешается складировать вместе с твердыми коммунальными отходами (далее – ТКО) в соотношении не более 30% от массы ТКО при содержании в их водной вытяжке химических веществ, комплексное воздействие которых по уровню потребления кислорода (БПК<sub>20</sub> и ХПК) не превышает 3400-5000 мг/дм<sup>3</sup> O<sub>2</sub>, что соответствует фильтрату ТКО.

Без ограничения в количестве на полигоны принимаются и используются в качестве изолирующего промежуточного слоя отходы IV класса опасности, имеющие однородную структуру с размером фракций менее 250 мм при условии сохранения в фильтрате уровня биохимического потребления кислорода (БПК<sub>20</sub>) и ХПК не более 300 мг/дм<sup>3</sup> O<sub>2</sub>.

Объекты должны быть обеспечены централизованными сетями водоснабжения и канализации, допускается использование привозной воды для хозяйственно-бытовых целей в соответствии с гигиеническим заключением. Для очистки поверхностного стока и дренажных вод предусматриваются локальные очистные сооружения.

Для перехвата поверхностного стока в зоне складирования полигона предусматривается система нагорных канав и дождевая канализация, а для отвода фильтрата – дренажная система.

В проекте полигона по всему периметру зоны захоронения должны быть предусмотрены кольцевой канал и кольцевой вал высотой не менее 2 м.

Не допускается попадание ливневых и талых вод с участков карт полигона, на которых захоронены токсичные отходы, на любую территорию, особенно используемую для хозяйственных целей. Сбор этих вод осуществляется на специальные карты-испарители внутри полигона.

Для предотвращения попадания загрязнений в водоносный горизонт, грунты предусматривается гидроизоляцией дна и стен ложа уплотненными глинистыми, грунто-битумно-бетонными, асфальтобетонными, асфальтополимербетонными и другими материалами, имеющими гигиеническое заключение.

Условия труда работающих с токсичными отходами должны соответствовать требованиям действующих санитарных норм и правил.

Работающие с токсичными отходами должны быть обеспечены средствами индивидуальной защиты, спецодеждой в соответствии с отраслевыми нормами. Работа с токсичными отходами без применения средств индивидуальной защиты запрещается.

Существуют два основных типа захоронения: наземное и подземное.

Подземные захоронения - шахты, пустоты, скважины, старые нефтяные поля и другие выработки - используются в основном для размещения опасных и радиоактивных отходов.

Наземные захоронения различных видов используют для размещения бытового и строительного мусора, а также промышленных отходов с точно учтенным небольшим содержанием токсичных компонентов.

## **8.2 Использование биогаза из захоронений отходов**

Захоронение подверженных гниению отходов в поверхностных хранилищах неизбежно ведет к образованию биогаза, являющегося продуктом анаэробного разложения, протекающего внутри массы захороненных отходов.

Основным компонентом биогаза является метан, но в нем содержатся и другие вещества, наносящие урон окружающей среде: сероводород и галогенсодержащие углеводороды. При наличии

непроницаемого верхнего слоя повышается возможность горизонтальной миграции газа из зоны захоронения.

Биогаз необходимо отводить для того, чтобы предотвратить его миграцию с полигона, так как он токсичен и взрывоопасен. Его опасность распространяется не только на территорию полигона, но и за ее пределы в связи со значительным объемом образования.

Газ обычно отсасывается и направляется на сжигание в открытом факеле или при значительных количествах и соответствующем качестве утилизируется. Сбор биогаза осуществляется из вертикальных скважин, пробуренных на месте уже заполненных хранилищ, или горизонтальных скважин-коллекторов, сооруженных в процессе складирования отходов.

В пробуренный ствол скважины на глубину не менее 10 м (лучше 20 - 30 м) помещается перфорированная в нижней части стальная труба. Затрубное пространство хранилища заполняется гранулированным материалом. Верхняя часть затрубного пространства бетонируется для предотвращения поступления в скважину воздуха. Типичное оборудование для сбора биогаза состоит из всасывающего трубопровода, диафрагменного расходомера и задвижки для регулирования потока.

В наиболее простом случае газы могут собираться и направляться по трубопроводам потребителю в качестве топлива.

Другим простым вариантом использования биогаза является сжигание его в специальных установках для получения электроэнергии. Это могут быть газовые двигатели с искровым зажиганием, газовые турбины. Газовые двигатели позволяют создавать маломощные установки. Наиболее целесообразно применение двухтактных газовых двигателей без впускающих и выпускающих клапанов.

Поскольку биогаз может содержать сероводород и галогенпроизводные углеводороды, то для использования в качестве топлива для газовых двигателей необходима его очистка.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- 1 Бобович, Б.Б., Переработка отходов производства и потребления: справочное издание/ Б.Б.Бобович, В.В.Девяткин; под ред. Б.Б. Бобовича/ М. СП Интернет инжиниринг, 2000.-496 с.
- 2 Бобович, Б.Б Переработка промышленных отходов/Б.Б. Бобович - учебник для ВУЗов. - М.: СП Интернет инжиниринг, 1999.-445 с.
3. Милюков, С.В. Утилизация отходов металлургического производства: Учеб-ное пособие. / С.В. Милюков, О.Б. Прошкина/ Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2010. – 62 с.
4. Шуберт, Г. Подготовка металлургических материалов: Ресурсы, классификация, измельчение/ Г. Шуберт - М.: Металлургия, 1989.-359 с.
5. Переработка шлаков и безотходная технология в металлургии /М.И.Панфилов [и др.] - М.:Металлургия, 1987.-239 с.
6. Родионов, А.И. Техника защиты окружающей среды/ А.И.Родионов и др./ учебник для ВУЗов- М.: Химия, 1989.- 360 с.
7. Закон Республики Беларусь от 20.07.2007 №271-3 «Об обращении с отходами».
- 8 Закон Республики Беларусь от 7.01.2012 г. № 340-3 «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения».
9. Санитарные правила и нормы 2.1.12-61-2005 «Гигиенические требования к сбору, хранению, транспортировке и первичной обработке вторичного сырья».
10. Санитарные правил и нормы 2.1.7.12-42-2005 «Гигиенические требования к накоплению, транспортированию и захоронению токсичных промышленных отходов».
11. Гигиенический классификатор токсичных промышленных отходов 2.1.7.12-44-2005.
12. ГОСТ 17.9.0.5-2001 «Обращение с отходами. Паспорт опасности отходов».

# **МЕТАЛЛУРГИЧЕСКАЯ ПЕРЕРАБОТКА ОТХОДОВ**

**Пособие  
для студентов специальности  
1-42 01 01 «Металлургическое производство  
и материалообработка (по направлениям)» направление  
специальности 1-42 01 01-01 «Металлургическое  
производство и материалообработка (металлургия)»  
специализации 1-42 01 01-01 02 «ЭлектрOMETаллургия  
черных и цветных металлов»  
дневной формы обучения**

Составитель: Заяц Татьяна Михайловна

Подписано к размещению в электронную библиотеку  
ГГТУ им. П. О. Сухого в качестве электронного  
учебно-методического документа 20.12.17.

Рег. № 12Е.  
<http://www.gstu.by>