

Б.Б. Бобович  
В.В. Девяткин

# ПЕРЕРАБОТКА ОТХОДОВ ПРОИЗВОДСТВА И ПОТРЕБЛЕНИЯ

Под редакцией докт. техн. наук,  
проф. Б.Б. Бобовича



Москва

“ИНТЕРМЕТ ИНЖИНИРИНГ”, 2000

Бобович Б.Б., Девяткин В. В.

**Переработка отходов производства и потребления:** Справочное издание / Под ред. докт. техн. наук, проф. Б. Б. Бобовича. – М.: "Интермет Инжиниринг", 2000. –496с.

ISBN 5-89594-040-4

В справочном издании обобщен современный отечественный и зарубежный опыт в области переработки промышленных отходов. Рассмотрены проблемы, связанные с воздействием отходов на состояние окружающей среды и качество жизни. Приведены современные способы классификации отходов, нормативно-правовое обеспечение управления отходами. Подробно описаны процессы и аппараты, используемые при переработке отходов.

Приведены современные технологии утилизации многих видов отходов: металлолома (в т. ч. изношенных автомобилей и аккумуляторов), шлаков, пластмасс, резин (в т. ч. автопокрышек), текстильных материалов, древесных отходов, макулатуры, отработанных минеральных масел, лакокрасочных материалов и других.

Рассмотрены вопросы захоронения отходов на полигонах и в море. Описаны различные технологии термической обработки отходов.

Предназначено для широкого круга инженерно-технических работников различных отраслей промышленности, экологов, студентов высших учебных заведений, изучающих вопросы инженерной защиты окружающей среды. Ил. 176. Табл. 63. Библиогр. список: 140 назв.

УДК 669.002.68

ББК 34. 69

# ОГЛАВЛЕНИЕ

|  |     |
|--|-----|
| Введение   | 6   |
| Глава 1. Экологические аспекты ресурсопользования  | 8   |
| 1.1. Характеристика современной экологической обстановки   | 8   |
| 1.2. Механизмы регулирования ресурсопользования  | 16  |
| 1.3. Экологический паспорт предприятия   | 19  |
| 1.4. Загрязнение окружающей среды и его влияние на качество жизни человека                               | 22  |
| 1.5. Автомобиль и окружающая среда   | 25  |
| 1.6. Новые подходы к проблеме устойчивого развития общества  | 31  |
| Глава 2. Образование и классификация отходов   | 34  |
| 2.1. Ресурсоемкость и образование отходов в экономике России   | 34  |
| 2.2. Классификация отходов   | 41  |
| 2.3. Паспортизация и планирование сбора отходов на предприятии   | 51  |
| Глава 3. Утилизация отходов – основа ресурсосбережения в народном хозяйстве                              | 53  |
| 3.1. Ресурсосберегающие технологические процессы   | 53  |
| 3.2. Комплексное использование сырья и материалов в условиях территориально-промышленных комплексов      | 57  |
| 3.3. Зарубежный опыт рационального использования вторичных материальных ресурсов                         | 58  |
| 3.4. Возможности и пределы утилизации отходов  | 63  |
| Глава 4. Нормативно-правовое обеспечение управления отходами   | 66  |
| 4.1. Регламентация сбора, заготовки и поставки отходов для использования в качестве вторичного сырья     | 68  |
| 4.2. Регламентация транспортировки отходов   | 70  |
| 4.3. Требования к трансграничным перемещениям опасных отходов  | 72  |
| 4.4. Порядок установления лимитов на размещение отходов  | 73  |
| 4.5. Нормирование образования отходов  | 77  |
| 4.6. Платежи за размещение отходов   | 78  |
| 4.7. Государственная экологическая экспертиза  | 80  |
| 4.8. Лицензирование деятельности по обращению с отходами   | 81  |
| Глава 5. Транспортирование отходов   | 83  |
| 5.1. Трубопроводный транспорт для перемещения отходов  | 83  |
| 5.2. Подъемно-транспортное оборудование для перемещения твердых промышленных отходов                     | 88  |
| 5.3. Использование автомобильного, железнодорожного и водного транспорта. Контейнерные перевозки отходов | 108 |
| Глава 6. Технологические процессы, используемые при переработке отходов                                  | 111 |
| 6.1. Измельчение и разделение отходов по крупности   | 113 |
| 6.2. Агрегирование отходов   | 139 |
| 6.3. Смешение материалов   | 145 |
| 6.4. Физические методы сепарации отходов   | 149 |
| 6.5. Гидро- и аэродинамические процессы, используемые при переработке отходов                            | 162 |
| 6.6. Теплообменные процессы, используемые при переработке отходов  | 197 |

|  |     |
|--|-----|
| 6.7. Диффузионные процессы . . . . .   | 201 |
| 6.8. Химические процессы переработки отходов . . . . .                             | 210 |
| 6.9. Биохимические процессы . . . . .  | 213 |
| Глава 7. Термические способы переработки отходов . . . . .                         | 218 |
| 7.1. Беспламенные термические способы утилизации отходов . . . . .                 | 218 |
| 7.2. Сжигание отходов . . . . .  | 225 |
| 7.3. Промышленные установки для сжигания отходов . . . . .                         | 233 |
| 7.4. Плазменный способ утилизации отходов . . . . .                                | 236 |
| Глава 8. Захоронение отходов . . . . .   | 238 |
| 8.1. Полигоны для захоронения отходов . . . . .                                    | 238 |
| 8.2. Использование биогаза из захоронений отходов . . . . .                        | 248 |
| 8.3. Захоронение отходов в море . . . . .  | 251 |
| Глава 9. Переработка отходов металлов . . . . .                                    | 253 |
| 9.1. Образование металлолома и значение использования вторичных металлов . . . . . | 253 |
| 9.2. Классификация металлических отходов . . . . .                                 | 257 |
| 9.3. Технология и оборудование для подготовки металлолома к переплаву . . . . .    | 260 |
| 9.4. Сепарация лома и отходов цветных металлов . . . . .                           | 282 |
| 9.5. Технологические схемы переработки лома и отходов металлов . . . . .           | 287 |
| Глава 10. Утилизация шлаков, золы, огнеупоров и горелой земли . . . . .            | 299 |
| 10.1. Направления утилизации шлаков . . . . .                                      | 299 |
| 10.2. Производство строительных материалов из металлургических шлаков . . . . .    | 301 |
| 10.3. Утилизация золы и топливных шлаков . . . . .                                 | 313 |
| 10.4. Утилизация отработанных огнеупорных материалов . . . . .                     | 317 |
| 10.5. Регенерация горелой земли . . . . .  | 319 |
| Глава 11. Переработка отходов полимерных материалов . . . . .                      | 321 |
| 11.1. Классификация отходов пластмасс . . . . .                                    | 321 |
| 11.2. Способы утилизации и обезвреживания отходов пластмасс . . . . .              | 322 |
| 11.3. Особенности переработки отходов некоторых термопластов . . . . .             | 331 |
| 11.4. Использование отходов реактопластов . . . . .                                | 349 |
| 11.5. Классификация резиновых отходов и способов их переработки . . . . .          | 352 |
| 11.6. Изготовление и применение резиновой крошки . . . . .                         | 356 |
| 11.7. Производство регенерата . . . . .  | 363 |
| 11.8. Термические методы утилизации резиновых отходов . . . . .                    | 368 |
| 11.9. Другие способы использования изношенных шин . . . . .                        | 372 |
| Глава 12. Переработка текстильных отходов . . . . .                                | 374 |
| 12.1. Образование и классификация текстильных отходов . . . . .                    | 374 |
| 12.2. Первичная обработка и разволокнение текстильных отходов . . . . .            | 376 |
| 12.3. Производство пряжи из разволокненных текстильных отходов . . . . .           | 381 |
| 12.4. Производство нетканых материалов из вторичных волокон . . . . .              | 383 |
| Глава 13. Переработка отходов древесины . . . . .                                  | 392 |
| 13.1. Образование, классификация и использование отходов древесины . . . . .       | 392 |
| 13.2. Переработка кусковых отходов древесины в технологическую щепу . . . . .      | 395 |

|   |     |
|---|-----|
| 13.3. Производство строительных и конструкционных материалов из отходов древесины . . . . . | 404 |
| 13.4. Использование опилок . . . . .  | 410 |
| 13.5. Химическая технология переработки древесных отходов . . . . .                         | 412 |
| 13.6. Другие методы переработки древесных отходов . . . . .                                 | 414 |
| Глава 14. Использование макулатуры . . . . .  | 419 |
| 14.1. Преимущества и возможности использования макулатуры . . . . .                         | 419 |
| 14.2. Деагрегация макулатуры . . . . .  | 421 |
| 14.3. Очистка макулатурной массы . . . . .  | 424 |
| 14.4. Роспуск агрегированных волокон . . . . .  | 425 |
| 14.5. Сортировка волокнистой массы . . . . .  | 427 |
| 14.6. Облагораживание целлюлозной массы . . . . .   | 430 |
| Глава 15. Переработка отходов, содержащих нефтепродукты . . . . .                           | 433 |
| 15.1. Источники и классификация нефтесодержащих отходов . . . . .                           | 433 |
| 15.2. Обезвреживание нефтесодержащих отходов . . . . .                                      | 435 |
| 15.3. Сжигание нефтеотходов . . . . .   | 436 |
| 15.4. Химическое обезвреживание нефтесодержащих отходов . . . . .                           | 441 |
| 15.5. Биохимическая обработка нефтесодержащих отходов . . . . .                             | 442 |
| 15.6. Регенерация отработанных минеральных масел . . . . .                                  | 443 |
| 15.7. Утилизация смазочно-охлаждающих жидкостей . . . . .                                   | 455 |
| Глава 16. Переработка некоторых жидких отходов . . . . .                                    | 458 |
| 16.1. Переработка отходов гальванических производств . . . . .                              | 458 |
| 16.2. Регенерация отработанной серной кислоты . . . . .                                     | 461 |
| 16.3. Переработка отходов растворителей . . . . .   | 464 |
| 16.4. Регенерация лакокрасочных материалов . . . . .  | 467 |
| Глава 17. Техника безопасности при переработке промышленных отходов . . . . .               | 474 |
| Список использованной литературы . . . . .  | 484 |

# ВВЕДЕНИЕ

Сложная экологическая обстановка в стране в значительной мере является следствием постоянного увеличения количества промышленных и бытовых отходов и неудовлетворительной их переработки. Только токсичных отходов в стране накоплено более 1,7 млрд. т, причем их количество продолжает расти, несмотря на общий спад производства.

Конечно, оптимальное решение проблемы в том, чтобы разработать и внедрить в производство малоотходные технологии. Однако экологические проблемы не следует рассматривать в отрыве от социально-экономических процессов, из чего следует, что создание и использование таких технологий у нас в стране – процесс длительный, а во многих производствах и технически, и экономически нереальный. Поэтому еще длительное время отходы производства и потребления будут негативно влиять на качество жизни общества.

В связи с этим важнейшей задачей современных хозяйственных руководителей является организация переработки отходов с целью их обезвреживания и рационального использования. Эта задача может быть решена только тогда, когда при принятии хозяйственных решений их экологические последствия будут рассматриваться как главные наряду с социальными и экономическими. Важнейшая роль в организации такого хозяйственного подхода принадлежит государству, которое с помощью нормативно-правовых, экономических и воспитательных механизмов способно создать в стране систему управления отходами, при которой хозяйственные руководители будут стремиться к максимальному сокращению образующихся отходов, а также вовлечению их в хозяйственный оборот как ценного сырья.

В последние годы в стране немало делается для создания такого механизма: приняты федеральная целевая программа "Отходы", федеральный закон "Об отходах производства и потребления", совершенствуется нормативно-правовая база управления отходами. Однако реальное положение с образованием и переработкой отходов изменяется мало.

Причины такого положения комплексные: это и крайне неудовлетворительное финансирование работ по созданию технологических процессов и оборудования для переработки отходов, и отсутствие доступной и полной информации о существующих технологиях, и недостаточная экологическая грамотность населения, и несоответствие нормативно-правовой базы управления отходами сложностям современной экологической обстановки.

Все это приводит к тому, что вопросы экологии и рационального использования ресурсов, сокрытых в отходах, не стали еще в нашем обществе важнейшими.

В настоящем издании предпринята попытка обобщить современный отечественный и зарубежный опыт управления отходами, описаны передовые технологии их переработки, даны описания и характеристики используемого для этих целей оборудования, изложена отечественная нормативно-правовая база управления отходами.

При написании книги авторами использованы работы отечественных и зарубежных авторов, посвященные теоретическим и практическим вопросам управления отходами.

Введение, гл. 1, 3, 5 – 17 написаны Б. Б. Бобовичем, гл. 4 – В. В. Девяткиным, гл. 2 – совместно Б. Б. Бобовичем и В. В. Девяткиным.

Авторы надеются, что предлагаемое вниманию читателей издание будет полезно широкому кругу специалистов самых различных отраслей народного хозяйства, а также студентам вузов и будет способствовать улучшению состояния дел в области переработки отходов производства и потребления.

# **Глава 1. ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ РЕСУРСОПОЛЬЗОВАНИЯ**

Научно-технический прогресс привел к созданию мощного промышленного и сельскохозяйственного потенциала, интенсивному развитию всех видов транспорта, строительству крупнейших гидротехнических сооружений. К сожалению, развитие цивилизации сопровождается нарушением экологического равновесия в результате воздействия человека на природные объекты. Одним из факторов этого воздействия является загрязнение экосферы твердыми, жидкими и газообразными отходами, которое во многих регионах достигает угрожающих размеров. Дальнейшее ухудшение ее состояния становится опасным для человечества. Предварительные оценки показывают, что стоимость работ по восстановлению окружающей среды, изменившейся в результате хозяйственной деятельности человека, превосходит рыночную стоимость выпускаемой продукции в сотни раз.

Поэтому необходимы срочные и кардинальные меры по улучшению экологической обстановки во многих регионах земного шара.

## **1.1. Характеристика современной экологической обстановки**

На ранних этапах развития человеческого общества антропогенное воздействие на природу было незначительным. Загрязнение окружающей среды вызывалось в большей степени естественными природными процессами: извержением вулканов, землетрясениями, лесными пожарами и другими природными катаклизмами. Подобные явления проходили без каких-либо серьезных последствий для развития жизни на Земле.

На пороге третьего тысячелетия в результате научно-технической революции произошел качественный скачок в развитии производительных сил, который привел к возникновению проблем, от решения которых зависит выживание человека как биологического вида.

Многие используемые и в наше время технологии сохраняются без принципиальных изменений в течение многих десятилетий, а многократное увеличение объемов производства промышленной продукции сделало образующиеся при этом отходы опасными для окружающей среды.

Рост численности населения на земном шаре, увеличение его плотности привели к невиданному ранее росту объемов образования сельскохозяйственных и бытовых отходов. Серьезнейший



ущерб окружающей среде наносит транспорт, являющийся источником огромного количества газообразных, жидких и твердых отходов.

Большое количество отходов промышленного, сельскохозяйственного и бытового происхождения нарушило равновесие, при котором природа успешно справлялась с переработкой отходов с помощью бактерий, воды, воздуха и солнечного света.

Экологические катастрофы создают кризисные ситуации для всего человечества. Противоречия между развитием человеческого общества и ограниченными ресурсами среды, возможностями ее саморегенерации становятся все более существенными, долговременными и труднопреодолимыми.

В связи с создавшейся ситуацией необходимо коренное изменение отношения общества к природопользованию. Регулирование использования природных ресурсов осложняется еще и противоречием между сегодняшними потребностями общества и проблемами будущих поколений. Решая сегодняшние задачи, общество использует природные ресурсы в ущерб будущим поколениям. Развитие современного общества входит в противоречие с выживанием будущих поколений.

Производственная деятельность человека связана с использованием разнообразных природных ресурсов, которое сопровождается изменением их состояния и объемов. Снижение их качества и (или) уменьшение их количества – реальный фактор современности.

Подсчитано, что на производство промышленной продукции расходуется всего 1/3 потребляемых сырьевых ресурсов, а 2/3 утрачивается в виде побочных продуктов и отходов. На технические нужды ежегодно расходуется из атмосферы 6 млрд. т кислорода, что составляет 12% от того количества, которое вырабатывается биосферой планеты.

Ежегодно промышленные предприятия всех стран мира выбрасывают в атмосферу:

|                                     |       |
|-------------------------------------|-------|
| Диоксид углерода, млрд. т . . . . . | . 20  |
| Оксид углерода, млн. т . . . . .    | . 200 |
| Диоксид серы, млн. т . . . . .      | . 200 |
| Оксиды азота, млн. т . . . . .      | . 50  |
| Фреоны, млн. т . . . . .            | . 1,0 |
| Свинец, млн. т . . . . .            | . 0,4 |
| Пыль, млн. т . . . . .              | . 250 |
| Зола, млн. т . . . . .              | . 200 |

В общем виде воздействие человека на биосферу определяется следующими факторами:

1. Синтезом множества (более 10 млн.) веществ, отсутствующих в природе и обладающих качествами, не свойственными природным соединениям.

2. Строительством широкой сети газо- и нефтепроводов, других транспортных артерий и массовым транспортированием различного сырья из районов добычи в районы переработки, сопровождающимся его рассеиванием и расширением регионов загрязнения.

3. Развитием энергетики, использующей для выработки энергии углеводородное сырье, при сжигании которого выделяются в большом количестве загрязняющие биосферу вещества.

4. Освоением методов проведения управляемых ядерных реакций, приведшим к широкому использованию радиоактивных материалов и загрязнению ими биосферы.

5. Развитием транспорта, при эксплуатации которого выделяется большое количество токсичных отходов.

6. Интенсификацией сельскохозяйственного производства, сопровождающейся использованием на полях удобрений, гербицидов и пестицидов.

7. Расширением металлургической, целлюлозно-бумажной, нефтеперерабатывающей и других отраслей промышленности, производящих в массовом количестве химически активные отходы производства.

По мнению специалистов, антропогенное загрязнение атмосферы является причиной таких заболеваний человека, как бронхит, астма, аллергия, рак и др., а в обозримом будущем оно может оказать влияние на генетические процессы многих видов.

Важнейшей проблемой стала угроза возникновения парникового эффекта вследствие загрязнения атмосферы диоксидом углерода, образующимся в процессе сжигания углеродсодержащего топлива: угля, бензина, природного газа, дров и т.д. По различным оценкам специалистов, опасный порог содержания диоксида углерода в атмосфере (0,045%) будет достигнут к 2030 либо к 2050 г., что приведет к возникновению парникового эффекта в 2050 или в 2090 г. соответственно. В начале XX в. содержание диоксида углерода в атмосфере составляло 0,03%. При удвоении его содержания температура атмосферы поднимется на 2 – 4 °С в среднем (со значительными отклонениями), что приведет к подъему уровня мирового океана на 1 м.

Загрязнения, поступающие в атмосферу, возвращаются на Землю с осадками и попадают в водоемы и почву. Наряду с этим реки, озера и моря загрязняются сточными водами промышленных и сельскохозяйственных предприятий.

Вода – самый важный строительный материал любого живого организма. Вместе с тем вода – незаменимый технологический материал для промышленного производства; например, для выплавки 1 т стали требуется более 100 т воды. Человечество ежегодно рас-

ходует 7 - 8 млрд. т минеральных ресурсов, а такое же количество воды расходуется ежедневно.

Объемы неконтролируемого сброса загрязненных промышленными стоками вод в реки и закрытые водоемы составляют 600 - 700 млрд. м<sup>3</sup> в год. Это привело к тому, что водные ресурсы во многих странах стали остродефицитными. А ведь еще не так давно человечество рассматривало гидросферу как неисчерпаемый источник ресурсов.

Одними из главных загрязнителей гидросферы стали нефтепродукты. В результате аварий судов, промывки резервуаров танкеров, утечек нефти при добыче ее в шельфовой зоне ежегодно в воды океана попадает 12 - 15 млн. т нефти.

Нефтяная пленка приводит к гибели морских животных, нарушает процессы фотосинтеза и выделения кислорода, в результате чего происходит нарушение газо- и влагообмена между атмосферой и гидросферой.

Огромную нагрузку в результате деятельности человека испытывает и литосфера. Практически все полезные ископаемые вместе с содержащими их породами извлекаются из недр земли. Кроме того, подземная среда используется для строительства (размещение производств, прокладка коммуникаций, создание хранилищ и т.д.). Поверхностные накопители промышленных и бытовых отходов, а также сточных вод в результате несоблюдения правил складирования и захоронения отходов наносят большой ущерб флоре и фауне этих регионов, влияя на динамическое равновесие биосферы.

Накапливание токсичных веществ приводит к постепенному изменению химического состава почв, нарушению единства геохимической среды и живых организмов. Любое загрязнение литосферы твердыми отходами может вызвать загрязнение подземных вод.

Таким образом, антропогенное воздействие на природу приводит к возникновению следующих проблем, связанных с загрязнением окружающей среды:

1. Изменение климата вследствие поступления в атмосферу техногенного тепла, диоксида углерода и аэрозолей.

2. Биологические последствия загрязнения биосферы радиоактивными веществами, тяжелыми металлами, новыми химическими продуктами и другими вредными веществами.

3. Биологические последствия, связанные с загрязнением мирового океана речными стоками, морским транспортом и продуктами техногенного происхождения.

Возможно, мы стоим на пороге очередного важного эволюционного события, которое определит развитие жизни на Земле: дальнейшее ухудшение состояния биосферы может привести к вымиранию большинства видов, если мы не научимся контролировать свои потребности и не сохраним существующую экологическую си-

стему, в которой будет соблюдаться равновесие между всеми обитающими на Земле видами. Необходимо сделать выбор: либо создать условия для сохранения экологической системы, либо в ближайшие 50 лет мы можем стать очевидцами и участниками катастрофы.

Экологический кризис, переживаемый человечеством в конце XX – начале XXI вв., требует критического пересмотра ценностей научно-технической революции и определения приоритетных задач общественного развития.

Необходимо, чтобы природоохранная деятельность стояла наряду со здравоохранением на первом месте в ряду приоритетов политики государства. Соблюдение сформулированного акад. Н. Н. Моисеевым "экологического императива" общественного развития необходимо для выживания нации. Не решая эффективно экологические проблемы, мы разрушаем природный, а значит, продовольственный, сырьевой и в целом экономический потенциал общества.

Разрешение противоречий между производительными силами и производственными отношениями является основой устойчивого развития человеческого общества и создания совместимой с развитием окружающей среды материально-технической базы общества. В качестве одного из приоритетов необходимо особо выделить стремление к достижению качественно новой экологической культуры человечества, адекватной современной ситуации и направленной на перерастание ее в устойчивые нормы общественного, коллективного и индивидуального поведения.

В нашей стране экологическая ситуация является одной из самых неблагоприятных среди промышленно развитых стран. Достаточно отметить, что 16% территории нашей страны, где проживают 50 – 70 млн. человек, признано зоной экологического бедствия. Около 10% городов имеют высокий уровень загрязнения основных природных сред, причем среди них все города, включая Москву и Санкт-Петербург, с населением больше 1 млн. человек. Все города страны относятся к территориям с "очень высоким" и "наиболее высоким" экологическим неблагоприятием. Острая экологическая ситуация в 1998 г. была зафиксирована в 60% городов с населением 0,5 – 1,0 млн. жителей. В стране продолжается интенсивное загрязнение атмосферы, гидросферы и литосферы.

Выбросы загрязняющих веществ в атмосферу только от стационарных источников в 1998 г. составили в России 18,7 млн. т. Среднегодовые уровни загрязнения атмосферного воздуха более чем в 200 городах и поселках превышают санитарные гигиенические нормы. 30 млн. человек в нашей стране проживают в городах, где средние за 1998 г. концентрации взвешенных частиц и диоксида азота в атмосфере в 10 раз превысили предельно-допустимые концентрации.

Несмотря на то что в связи с кризисной ситуацией в экономике и падением промышленного производства в последние годы происходит снижение потребления воды, объем сброса загрязненных сточных вод не изменяется. В поверхностные водные объекты в 1998 г. было сброшено 22 млрд. м<sup>3</sup> сточных вод. Качество воды в большинстве водных объектов страны не соответствует нормативным требованиям. Например, ресурсы экологически чистой воды в Волжском бассейне составляют не более 3% общих ресурсов поверхностных вод.

Острой, требующей незамедлительного решения является проблема экологически безопасного управления отходами производства и потребления. Несмотря на некоторое снижение объемов образования промышленных отходов, произошедшее в последние годы за счет сокращения промышленного производства, уровень их отрицательного воздействия на окружающую среду и качество жизни продолжает увеличиваться. Это является следствием сокращения объемов утилизации отходов и увеличения объемов их захоронения, причем в большинстве случаев на несанкционированных свалках, не имеющих должного инженерного обустройства.

В стране продолжается рост площади земель, загрязненных отходами промышленных предприятий, под складирование которых занято более 250 тыс. га. В 1998 г. органами Госкомэкологии выявлено 16,3 тыс. несанкционированных свалок отходов, занимающих площадь 32,9 тыс. га. В этом же году в стране образовалось более 107 млн. т токсичных отходов, из которых 39,4 тыс. т были направлены на захоронение. На учтенных свалках накоплено 65 млрд. т твердых отходов, а на самих предприятиях – более 1,7 млрд. т токсичных отходов. Основной прирост объемов накопленных токсичных отходов происходит за счет наиболее токсичных отходов I класса опасности, поскольку их утилизация является наиболее дорогостоящей.

Серьезный ущерб окружающей среде на урбанизированных территориях с большой плотностью населения, где проживает 107,5 млн. человек, причиняют крупные промышленные аварии, ежегодное количество которых за три года (1996 – 1998 гг.) в среднем составляет 250. Растет число аварий и катастроф с негативными экологическими последствиями на магистральных, внутрипромысловых и промышленных трубопроводах.

Крупнейшим загрязнителем окружающей среды является автотранспорт, численность которого в стране постоянно растет и в 1998 г. составила 23,7 млн. единиц. Выбросы от автотранспортных средств в 1998 г. составили более 11,8 млн. т загрязняющих веществ. Доля автотранспорта в выбросах всех видов транспорта составила 91%.

Состояние земель Российской Федерации, находящихся в сфере хозяйственной деятельности, оценивается как неудовлетворитель-

ное. По данным государственного учета на 1.01.1999 г. в стране зарегистрировано 1186,3 тыс. га нарушенных земель. Более 50 млн. га земель России подвержено процессам опустынивания. Проблема загрязнения земель в результате хозяйственной деятельности, по мнению специалистов-экологов, является приоритетной на значительной части территории страны.

Ускоряющиеся темпы антропогенной трансформации природных экосистем ведут к уменьшению запасов растительных ресурсов, исчезновению многих видов растений, обеднению биологического разнообразия, дальнейшему ухудшению экологической обстановки.

По сравнению с 1980 г. рождаемость в России упала с 2,2 до 1,28 млн. человек (на 42%) в год. Только в 1998 г. естественная убыль населения составила 705 тыс. человек. Превышение смертности над рождаемостью происходит в 77 субъектах Федерации, население которых составляет 92% от населения всей страны. Скорость и интенсивность процесса депопуляции является характерной для военного времени.

При бездумном расхищении потенциала, дарованного нам природой, мы находимся в состоянии хронического сырьевого и топливно-энергетического дефицита, особенно обострившегося в последнее время. Анализ показывает, что в России имеются гигантские резервы ресурсосбережения: наша страна потребляет на единицу валового внутреннего продукта (ВВП) нефти – на 36%, угля – на 56%, газа – на 42%, стали – на 138% больше, чем США.

Ресурсоемкость единицы ВВП в России почти в два раза выше, чем в США, и примерно в четыре раза выше, чем в Западной Европе. Это означает, что в общее загрязнение окружающей среды Россия вносит примерно такой же вклад, как США и Западная Европа, значительно уступая им по объему ВВП. Отсюда справедливое беспокойство мирового сообщества по поводу экологической ситуации в России.

За последние 15 лет в индустриально развитом мире совершилась настоящая революция в ресурсосбережении и были достигнуты значительные успехи в снижении уровня загрязнения окружающей среды. В России, к сожалению, положение в области ресурсосбережения практически не изменилось, а экологическая ситуация заметно ухудшилась. Следует признать, что определенную роль в ресурсорасточительности нашего хозяйства в какой-то мере играет богатство природных недр страны, малая зависимость России от импорта сырья и энергоносителей.

Необходимо наведение элементарного порядка в хранении, перемещении и использовании сырья и энергии, а также стимулирование создания новой ресурсосберегающей техники и технологии. Важную роль должны сыграть структурные сдвиги в экономике и рециклирование большинства промышленных материалов.

Особо тяжелая экологическая обстановка сложилась в Москве. В настоящее время Московский регион стал одним из крупнейших урбанизированных регионов мира. Здесь на 0,3% территории России проживает 10% населения. Рост Москвы как крупнейшего промышленного центра обусловил возникновение сложных экологических проблем. Анализ всех аспектов экологического состояния городской среды показывает, что город находится в критической экологической ситуации. За последние годы заболеваемость органов дыхания у детей увеличилась на 20%, количество гормональных иммунных расстройств – на 24%, постоянно растет число врожденных уродств, по которым Москва держит первое место в стране.

Правительством Москвы проводится значительная работа по улучшению экологической обстановки в городе. В Москве действуют несколько федеральных, отраслевых и городских экологических программ, имеются экологические разделы во всех научно-технических программах, принятых городом.

Московским городским комитетом охраны окружающей среды совместно с другими департаментами правительства, специалистами институтов проанализированы различные аспекты экологических проблем города и подготовлена Комплексная экологическая программа, утвержденная постановлением правительства Москвы. Ведется строительство и реконструкция заводов по обезвреживанию и утилизации твердых бытовых отходов; много внимания уделяется дорожному строительству и правильной организации дорожного движения.

Однако этих мер при сложившейся ситуации недостаточно, и пока они не привели к качественному изменению экологической обстановки в городе.

Наиболее неблагоприятным экологическим фактором в Москве является загрязнение воздуха. Без уменьшения загрязнения воздуха, в первую очередь от стремительно нарастающего количества автотранспорта, невозможно улучшить экологическую обстановку в городе.

Москва сбрасывает 10% всех сточных вод России. Водопотребление в городе на душу населения – самое большое в мире.

Одна из самых злободневных проблем города – промышленные и бытовые отходы. В городе отсутствует индустрия их переработки. Площадь, занимаемая в черте города несанкционированными свалками, оценивается в 900 га, в ближайшем Подмосковье – в несколько тысяч гектаров. Особенно острой проблемой является отсутствие в городе предприятий по сбору и обезвреживанию токсичных промышленных отходов. Сегодня, как бы ни была законопослушна администрация московского предприятия, как бы она ни хотела сдать на переработку токсичные отходы, сделать этого она не

может. Поэтому сотни тонн растворов, жидкостей, отработанных масел, лаков и красок и т.п., включая сильнодействующие ядовитые вещества, в конце концов попадают в гидро- и литосферу.

## 1.2. Механизмы регулирования ресурсопользования

Важнейшей задачей государства в области ресурсопользования является создание механизмов, направленных на экономное использование сырья, материалов, энергии и других ресурсов. Управление ресурсопользованием осуществляется с помощью нормативно-правового, экономического и общественно-политического механизмов.

*Нормативно-правовой механизм* решает задачи экономного ресурсопользования с помощью системы норм состояния и допустимых воздействий на окружающую среду, системы норм и стандартов использования ресурсов, экологической экспертизы, системы законодательных актов, определяющих правовую ответственность ресурсопользователя.

Несмотря на то что в последние годы немало сделано в области совершенствования нормативно-правовой базы, современный уровень контроля за состоянием природной среды пока недостаточно эффективен. Основные вопросы нормативно-правового обеспечения регулирования природопользования рассмотрены в гл. 4.

*Экономический механизм* рационального ресурсопользования должен обеспечить создание ресурсосберегающих технологических процессов, экологичной техники, экологически обоснованное размещение производительных сил, перераспределение материально-технических и трудовых ресурсов с целью более рационального ресурсопользования. Средствами экономического механизма являются дифференцированные тарифы за пользование природными ресурсами, а также гибкая система налогообложения и государственные дотации и инвестиции.

Основные элементы экономического механизма определены законом РСФСР от 19.12.91 г. №2060-1 "Об охране окружающей природной среды". В основе экономического механизма, действующего в нашей стране, лежит система платы за негативное воздействие на окружающую среду, при расчете которой используются нормативно-методические указания, разработанные Госкомэкологией.

Перспективны также и такие экономические рычаги регулирования природоохранной деятельности, как лицензирование, экологический аудит, экологическая сертификация, экологическое страхование. В 1998 г. в стране подлежали лицензированию 22 вида деятельности, связанной с возможным негативным воздействием на окружающую среду и здоровье населения.



Экологический аудит представляет собой своеобразную природоохранную ревизию, проводимую с целью объективного анализа сложившейся ситуации и установления направлений развития деятельности рассматриваемого объекта.

Экологический аудит в промышленно развитых странах является одним из важнейших инструментов регулирования природопользования. У нас в стране он применяется совершенно недостаточно, в основном по заказам зарубежных инвестиционных организаций при рассмотрении возможности приватизации объектов или их инверстировании. Порядок аудирования определяется рядом документов, разработанных Госкомэкологией в 1998 г. В 1999 г. Госстандарт России ввел в действие государственные стандарты ГОСТ Р ИСО 14010 – 98, ГОСТ Р ИСО 14011 – 98 и ГОСТ Р ИСО 14012 – 98, разработанные с учетом международного опыта в области проведения экологического аудита.

Обязательная сертификация на соответствие экологическим требованиям действует у нас в стране с мая 1992 г., со времени введения Госстандартом России Системы сертификации ГОСТ Р.

Экологическое страхование – новый для нашей страны вид экономического регулирования природоохранной деятельности. В 1998 г. разработан пакет проектов нормативно-методических документов для реализации экологического страхования, в том числе федеральный законопроект "Об экологическом страховании в Российской Федерации". Разработка и принятие этих документов позволит учитывать вредное воздействие природопользователей на окружающую среду, оценить степень экологического риска страхуемого предприятия и рассчитать потенциальный ущерб от его деятельности.

Экономический механизм регулирования природоохранной деятельности – один из важнейших рычагов, который постоянно дополняется и корректируется с учетом реальной экологической и экономической ситуации в стране.

Рыночная экономика открывает большие возможности для более эффективного регулирования ресурсопользования с помощью экономических рычагов, которые у нас в стране применяются пока еще слабо, о чем свидетельствует неэффективное использование материальных и энергетических ресурсов. Но имеющийся в передовых странах опыт свидетельствует о больших потенциальных возможностях экономического регулирования ресурсопользования.

*Общественно-политический механизм* решает задачи рационального ресурсопользования и охраны окружающей среды путем воспитания и экологического образования населения страны, повышения личной ответственности каждого гражданина за состояние окружающей среды. Решению этих задач посвящен ряд законодательных актов, а также решений правительства страны. В частно-

сти, закон Российской Федерации "Об охране окружающей природной среды" от 19 декабря 1991 г. устанавливает всеобщность и непрерывность экологического воспитания и образования, в том числе преподавание в высших учебных заведениях специальных курсов по охране окружающей природной среды и рациональному природопользованию. В развитие этого закона принято постановление Правительства Российской Федерации от 03.11.94 г. № 1208 "О мерах по улучшению экологического образования населения".

Экологическое образование способствует устойчивому развитию страны и без него невозможно рассчитывать на кардинальное изменение экологической ситуации в стране. Однако разработанные проект федерального закона "О государственном регулировании образования в области экологии" и федеральная целевая программа "Экологическое образование и просвещение населения на 1997 – 2010 годы" до настоящего времени не приняты из-за отсутствия возможности их финансирования. Безусловно, отсутствие этих документов является серьезным тормозом создания системы непрерывного экологического образования.

Важную роль в деле воспитания населения в духе правильного природопользования должны играть средства массовой информации и различные общественные организации.

Одной из форм государственного воздействия на ресурсопользование являются федеральные целевые программы. Так, постановлением Правительства Российской Федерации от 13.09.96 г. № 1098 утверждена федеральная целевая программа "Отходы", срок действия которой заканчивается в 2000 г. Программа нацелена на проведение единой государственной политики в сфере комплексной переработки, транспортировки, утилизации, безопасного хранения и обезвреживания производственных и бытовых отходов.

Программа касается твердых отходов, а также отходов, улавливаемых защитными сооружениями. При ее выполнении должны быть разработаны правовые, экономические, методические, научно-технические и организационно-управленческие основы системы обращения с отходами. В рамках Программы намечено выполнить 156 пилотных проектов малоотходных технологий, а также производств по обезвреживанию, вторичному использованию и захоронению отходов. Выполнение Программы должно создать условия для ежегодной переработки до 55 млн. т отходов, экономии различных видов материальных и энергетических ресурсов на 20 – 25%, сокращения площади земель, занятых под полигоны и свалки отходов, разработки новых процессов и оборудования для переработки отходов.

Ее реализация направлена в конечном счете на решение крупных социальных проблем, связанных с негативным воздействием отходов на окружающую среду и качество жизни. Реализация этой программы во многом зависит от инвестиций. К сожалению, феде-

ральная программа "Отходы" финансируется крайне слабо, выполняется в небольшом объеме и в настоящее время ведется работа по ее пролонгации.

### 1.3. Экологический паспорт предприятия

В соответствии с действующим законодательством предприятие в своей деятельности по использованию природных ресурсов и воздействию на окружающую среду, планированию и проведению природоохранных мероприятий подконтрольно местной администрации и органам Государственного комитета Российской Федерации по охране окружающей среды (Госкомэкологии). С целью систематизации информации о влиянии предприятия на окружающую среду и контроля за соблюдением им природоохранительных норм и правил в процессе хозяйственной деятельности в нашей стране разработан и введен в действие в январе 1990 г. ГОСТ 17.0.0.04 – 90 "Экологический паспорт промышленного предприятия".

Экологический паспорт промышленного предприятия – нормативно-технический документ, включающий данные по использованию предприятием ресурсов (природных, вторичных и др.) и определению влияния его производства на окружающую среду. Этот документ разрабатывается за счет средств предприятия и утверждается его руководителем после согласования с местными органами власти и территориальным органом Госкомэкологии РФ, где он регистрируется.

Основой для разработки экологического паспорта являются важнейшие показатели производства, нормы содержания в атмосфере вредных веществ, разрешение на природопользование, паспорта газо- и водоочистных сооружений и установок по утилизации и использованию отходов, формы государственной статистической отчетности и другие нормативные и нормативно-технические документы.

Экологический паспорт дополняют при изменении технологии производства, замене оборудования и т.п. в течение месяца со дня изменений; он хранится на предприятии и в территориальном органе Госкомэкологии РФ.

В экологическом паспорте отражаются экологические и технологические характеристики предприятия. Он включает:

- \* общие сведения о предприятии и его реквизиты;
- \* краткую природно-климатическую характеристику района расположения предприятия;
- \* краткое описание технологии производства и сведения о продукции и балансовой схеме материальных потоков;
- \* сведения об использовании земельных ресурсов;

- \* характеристики сырья, а также используемых материальных и энергетических ресурсов;
- \* характеристики выбросов в атмосферу;
- \* характеристики водопотребления и водоотведения;
- \* характеристики отходов;
- \* сведения о рекультивации нарушенных земель;
- \* сведения о транспорте предприятия;
- \* сведения об эколого-экономической деятельности предприятия.

Краткая природно-климатическая характеристика района расположения предприятия включает:

- \* характеристику климатических условий;
- \* характеристику состояния воздушного бассейна, включая фоновые концентрации в атмосфере;
- \* характеристику источников водозабора и приемников сточных вод, фоновый химический состав вод водных объектов.

Природно-климатическая характеристика составляется на основе данных государственных кадастров и ежегодников качества атмосферного воздуха и поверхностных вод суши, а также базовой информации о соответствующем биогеохимическом регионе.

Краткую характеристику производства, сведения о продукции иллюстрируют балансовой схемой, что позволяет оценить потенциальные источники потерь, неполного использования сырья и загрязнения окружающей среды.

Балансовая схема производства – это структурное отображение последовательных стадий производства с указанием качественных и количественных характеристик потоков.

При описании земельных ресурсов наряду с землями, отведенными под здания и сооружения, учитывают земельный отвод под полигоны для отходов, накопители сточных вод, а также санитарно-защитную зону и озелененные участки.

Характеристики сырья, а также используемых материальных и энергетических ресурсов включают сведения о химическом составе сырья, источниках энергии и их расходе (годовом и на единицу производимой продукции), что позволяет оценить энерго- и материалоемкость производства.

Характеристика выбросов в атмосферу отражает состав, качественное и количественное содержание загрязняющих атмосферу веществ, содержащихся в выбросах предприятия. Отдельно в виде справки с указанием времени, объемов и состава приводят данные о залповых выбросах в атмосферу загрязняющих веществ.

Этот раздел представляет собой базу данных для расчета величины ущерба от загрязнения атмосферы и платежей за нормативные, сверхнормативные и залповые выбросы. Кроме того, инфор-

мация раздела учитывается при разработке локальных программ оперативного мониторинга атмосферного воздуха.

Характеристика водопотребления, водоотведения, состояния водоочистных сооружений отражает объемы, удельные нормативы, состав, качественные и количественные характеристики содержания загрязняющих веществ в сточных водах предприятия. Отдельно в виде справки с указанием времени, объемов и состава приводятся данные о залповых и аварийных сбросах (сливах) загрязняющих веществ, в том числе в почву, водные объекты, канализационные сети, отстойники, отдельные емкости, очистные сооружения и т.д. На основании данных этого раздела рассчитывают величину ущерба от загрязнения гидросферы и размер платежей за сброс сточных вод.

Кроме характеристики отходов, включающей их физико-химические свойства и классы опасности, в паспорте приводят перечень полигонов и накопителей, предназначенных для их захоронения и складирования, а также данные о технологическом процессе, в котором образуются отходы, способах их обезвреживания и использования на предприятии.

В приложении к экологическому паспорту приводят сведения о рекультивации нарушенных земель.

Сведения о транспорте приводят с учетом характеристики передвижных средств, среднегодового пробега, удельных и годовых выбросов (включая оксиды углерода и азота, углеводороды, пары топлива, тетраэтилсвинец, полициклические углеводороды, сажу и т.д.).

Оценка воздействия на окружающую среду осуществляется предприятием на основании действующих нормативно-технических документов.

Сведения об эколого-экономической деятельности предприятия включают данные о затратах на природоохранные мероприятия и об их эффективности.

Данные о платежах предприятия за загрязнение окружающей среды, порядок определения и применения нормативов платы за выбросы (сбросы) приводятся в специальном разделе.

Составление экологического паспорта требует проведения инвентаризации источников воздействия на окружающую среду и разработки мер контроля и поэтапного снижения этого воздействия.

К сожалению, местные органы Госкомэкологии РФ не располагают, как правило, корректными, сопоставимыми и полными данными, характеризующими состояние использования природных ресурсов и размещения отходов в окружающей среде. Одним из эффективных способов получения достоверной информации является экологическое аудирование предприятий.

## 1.4. Загрязнение окружающей среды и его влияние на качество жизни человека

*Загрязнение окружающей среды* – это изменение ее качества, способное вызвать отрицательные последствия для человека, животного и растительного мира. Загрязнение вызывается веществами, поступающими в окружающую среду в процессе производства от промышленного оборудования, очистных сооружений, транспортных устройств, а также из мест накопления и хранения отходов.

Загрязнение окружающей среды может быть: *механическим, химическим, физическим, радиационным и биологическим*. В свою очередь, физические загрязнения подразделяются на тепловое, световое, шумовое и электромагнитное, а биологические загрязнения – на биотическое и микробиологическое (биотическое загрязнение связано с распространением биогенных веществ – выделений, мертвых тел и т.п.). Все виды загрязнений взаимосвязаны и могут активизировать друг друга.

Оптимальные для жизни человека условия окружающей среды находятся в относительно узких пределах. Переход тех или иных параметров за границы этих пределов вызывает ухудшение качества жизни человека. Существуют верхняя и нижняя критические границы параметров окружающей среды, переход через которые угрожает необратимыми изменениями в биологической системе и ее звеньях. Так, некоторые химические элементы в малых дозах необходимы для нормального развития живых организмов, а в больших дозах являются сильнодействующими ядами. Это относится и к другим видам воздействия: звуковому, радиационному и т.п.

В связи с большим загрязнением биосферы в нашей стране в 1952 г. впервые были приняты ограничения на выброс вредных веществ промышленными предприятиями, в частности путем установления предельно допустимых концентраций (ПДК) этих веществ в воздухе. Требования, предъявляемые к ПДК в нашей стране, являются для большинства веществ более жесткими, чем в других странах, а перечень веществ, по которым установлены нормы ПДК, у нас в стране существенно шире. ПДК загрязняющего вещества в атмосферном воздухе населенных мест утверждается постановлением Главного государственного санитарного врача Российской Федерации по рекомендации Комиссии по государственному санитарно-эпидемиологическому нормированию при Минздраве России.

*ПДК загрязняющего вещества в атмосферном воздухе* – это такая его концентрация, которая не оказывает в течение всей жизни человека прямого или косвенного неблагоприятного действия на настоящее или будущие поколения, не снижает его работоспособности, не ухудшает его самочувствия и санитарно-бытовых условий жизни. Величины ПДК устанавливаются в миллиграммах ве-

щества на 1 м<sup>3</sup> воздуха (мг/м<sup>3</sup>). Перечень веществ, для которых в 1998 г. установлены ПДК, содержит 589 наименований (гигиенические нормативы ГН 2.1.6.695 – 98). Кроме того, постановлением Главного государственного санитарного врача РФ в 1998 г. утвержден перечень веществ, выброс которых в атмосферный воздух запрещен. Этот перечень включает еще 39 веществ.

Кроме этого, Главным государственным санитарным врачом РФ утвержден перечень веществ из 1495 наименований, по которым установлены ориентировочные безопасные уровни воздействия (ОБУВ) в атмосферном воздухе населенных мест (гигиенические нормативы ГН 2.1.6.695-98). ОБУВ представляют собой нормативы максимально допустимого содержания загрязняющих веществ в атмосферном воздухе (мг/м<sup>3</sup>). Они устанавливаются, как правило, сроком на три года, после чего пересматриваются либо заменяются ПДК.

В результате хозяйственной деятельности человека происходит ухудшение качества его жизни, усиливается опасность для здоровья и жизни. Изменение среды обитания в результате ее загрязнения приводит к росту заболеваемости населения. При этом структура заболеваемости зависит от количества и качества выбросов. По данным Всемирной организации здравоохранения, воздействие химических веществ может стать главным фактором развития многих болезней человека.

Так, выбросы предприятий цветной металлургии повышают заболеваемость сердечно-сосудистой системы, а загрязнения от предприятий черной металлургии и энергетики приводят к росту заболеваний легких. Предприятия химических комплексов способствуют развитию аллергических заболеваний.

Врожденные пороки у детей, родившихся в городе с крупной промышленностью, встречаются в 3 – 5 раз чаще, чем у детей, родившихся в сельской местности.

Загрязнение окружающей среды у нас в стране таково, что около 60 млн. человек проживают в условиях постоянного превышения в атмосфере предельно допустимых концентраций вредных для здоровья веществ.

Большое влияние на здоровье людей оказывает и качество воды. В регионах с низким качеством воды распространены кишечные инфекции бактериальной и вирусной природы.

По данным Госкомэкологии России, за последние 18 лет (с 1980 по 1998 г.) смертность возросла с 8,9 до 13,6 на 1000 человек, причем в районах с более высоким загрязнением окружающей среды отмечена и более высокая смертность.

Все это не может не сказаться на продолжительности жизни людей. Тяжелая экологическая обстановка в нашей стране является одной из главных причин низкой продолжительности жизни и

высокой детской смертности (табл. 1.1 и 1.2). Продолжительность жизни в России существенно ниже, чем в таких развитых странах, как Япония, Швеция, Франция, США и др., а детская смертность, наоборот, намного выше. Существует сильная зависимость между общей смертностью населения от болезней крови и кроветворных органов, психических расстройств, болезней органов пищеварения и комплексным загрязнением окружающей среды. По данным Всемирной организации здравоохранения, на 25 – 30% наше здоровье зависит от экологии, еще на 15 – 20% от генетики, но генетические заболевания также связаны с экологическими причинами.

Таблица 1.1

Ожидаемая продолжительность жизни при рождении, лет

| Годы | Все население | В том числе |         |
|------|---------------|-------------|---------|
|      |               | мужчины     | женщины |
| 1992 | 67,9          | 62,0        | 73,8    |
| 1993 | 65,1          | 58,9        | 71,9    |
| 1994 | 64,0          | 57,6        | 71,2    |
| 1995 | 64,6          | 58,3        | 71,7    |
| 1996 | 65,9          | 59,8        | 72,5    |
| 1997 | 66,6          | 60,8        | 72,9    |
| 1998 | 67,2          | 61,8        | 72,8    |

Таблица 1.2

Коэффициенты естественного движения населения

| Годы | Естественный прирост на 1000 населения | Детская смертность |
|------|--|--------------------|
| 1992 | -1,5                                   | 18,0               |
| 1993 | -5,1                                   | 19,9               |
| 1994 | -6,1                                   | 18,6               |
| 1995 | -5,7                                   | 18,1               |
| 1996 | -5,3                                   | 17,4               |
| 1997 | -5,2                                   | 17,2               |
| 1998 | -4,8                                   | 16,7               |

Особенно сильное влияние загрязнение окружающей среды оказывает на здоровье детей, что подтверждается данными табл. 1.2. Детская смертность определяется как число детей, умерших в возрасте до одного года из 1000 родившихся. Доказано, что в городах с высоким уровнем загрязнения окружающей среды детская смертность выше, чем в остальных городах и в целом по стране.

Наряду с зависимостью качества жизни от загрязнения окружающей среды существует также зависимость объема перерабатываемых обществом отходов от качества жизни. Так, в США при неуклонном подъеме качества жизни в течение почти всего XX столетия происходило постоянное снижение доли перерабатываемых отходов, т.е. с повышением уровня жизни общество все меньше нуждалось в использовании отходов, так как становилось экономически целесообразнее применять первичные материальные ресурсы. Лишь периоды Первой и Второй мировых войн, которые приводили к резкому ухудшению качества жизни, в том числе из-за недостатков материальных ресурсов, заставляли общество активнее использовать вторичные материалы. Но с окончанием войн



жизнь стабилизировалась, и общество вновь возвращалось к потребительской психологии. Наметившееся в конце XX столетия ухудшение качества жизни, связанное с загрязнением окружающей среды, подтолкнуло общество к разработке технологических процессов с обязательной утилизацией отходов, что позволяет улучшить экологическую обстановку и, следовательно, повысить качество жизни.

### 1.5. Автомобиль и окружающая среда

Современная цивилизация характеризуется увеличением радиуса действия населения, выражающегося расстоянием, преодолеваемым человеком за какой-либо сравнимый отрезок времени. За последние 30 лет ежегодное расстояние, преодолеваемое человеком в развитых странах, увеличилось в 2,5 раза. Такова же динамика роста грузоперевозок: транспорт обеспечивает перевозку постоянно возрастающего количества грузов на постоянно увеличивающиеся расстояния в самые различные уголки планеты.

Значительная часть перевозок сегодня осуществляется автотранспортом, который стал крупнейшим загрязнителем окружающей среды в больших городах. При этом автомобиль является источником загрязнений не только в процессе его создания, но и во время всей активной жизни и после "смерти", т.е. когда он попадает на свалку, исчерпав свой ресурс.

Специалисты высказывают различные мнения о причинах и последствиях развития транспорта в зависимости от личных интересов, ведомственной принадлежности и т.п. Поляризацию мнений можно выразить двумя крайними точками зрения. По мнению специалистов промышленности, развитие транспорта – ключевой фактор роста экономики. Экологи же считают, что транспорт, особенно автомобильный, является главным разрушителем природы.

Подлинная же проблема современной цивилизации заключается не в транспорте, а в постоянном росте наших потребностей, которые становятся все более экстенсивными в отношении использования различных территорий, а транспорт есть лишь средство для их реализации. Таким образом, удовлетворение постоянно растущих и ничем не ограничиваемых потребностей общества, в том числе в транспорте, и есть непосредственная угроза окружающей среде.

Наша жизнь без автомобильного транспорта, по-видимому, невозможна, так как общеизвестны те выгоды, которые он дает и обществу в целом, и индивидуальному владельцу автомобиля. Следствием известных достоинств автомобиля является интенсивный рост количества транспортных средств, находящихся в эксплуатации. Считают, что в настоящее время мировой парк автомобилей превысил 600 млн. единиц.

Только в г. Москве зарегистрировано около 3 млн. автомобилей, и парк их постоянно растет. В целом же в России автомобильный парк насчитывает 23,7 млн. единиц подвижного состава, и в 1998 г. он увеличился на 5,2%.

Автомобильная промышленность, хотя и не является крупнейшим поставщиком отходов, производит их в очень большом ассортименте, что не позволяет организовать на самих предприятиях переработку большинства образующихся вторичных ресурсов. Отходы образуются на всех стадиях создания автомобиля: от его проектирования и испытания опытных образцов до серийного производства на сборочном конвейере.

При этом нужно иметь в виду, что многие виды отходов образуются в различных производствах, поэтому требуется их сбор из разных источников и общее складирование. Кроме того, некоторые обобщенные виды отходов состоят из различных материалов, которые необходимо учитывать, собирать и перерабатывать отдельно. Так, пластмассы требуют отдельного сбора не только по типу полимера, но и по цвету. Цветные металлы следует собирать отдельно по виду сплавов и т.д. Все это усложняет сбор, хранение и переработку отходов. Но без этого их утилизация будет значительно усложнена и экономически нецелесообразна.

Основное количество отходов образуется при эксплуатации автомобиля. Часть из них составляют вещества обеспечивающие возможность его эксплуатации: топливо (бензин, дизельное топливо, газ и др.), масла, серная кислота и другие рабочие жидкости. Эти материалы попадают в окружающую среду вследствие недостаточной герметичности заправочных емкостей и агрегатов автомобиля, небрежного обращения с ними при заправке.

Но самые большие объемы веществ, загрязняющих окружающую среду, образуются в процессе работы автомобиля. Это токсичные продукты сгорания топлива, вещества, образующиеся вследствие износа фрикционных накладок и шин, отработанные масла, использованные аккумуляторы и покрышки, а также всевозможные детали и агрегаты, снятые с автомобиля вследствие физического износа или аварии.

Ежегодно автомобильный парк страны "производит" в качестве отходов 1160 тыс. т изношенных автопокрышек, 180 – 200 тыс. т свинцовых аккумуляторов, 60 тыс. т деталей из пластмасс. Все эти отходы могут быть ценным вторичным сырьем, использование которого снизило бы потребление первичных материальных ресурсов.

Отработанные рабочие жидкости, вышедшие из строя комплектующие изделия также являются ценным сырьем для получения вторичных материалов. Они могут быть утилизированы и должны собираться, складироваться и передаваться заинтересованным организациям.

Большая часть отечественных бензинов – этилированные, в состав которых входит антидетонатор – тетраэтилсвинец. При работе двигателей в отработанных газах содержатся соединения свинца, являющиеся высокотоксичными веществами. Автомобильный транспорт является серьезным загрязнителем окружающей среды диоксинами. По данным Госкомэкологии России, уровень диоксинового загрязнения отработанными газами двигателей на этилированном бензине сопоставим с загрязнением от выбросов, образующихся при сжигании хлорорганических отходов. Так, автомобиль, работающий на этилированном бензине, выбрасывает в атмосферу 30 – 540 пг диоксинов в диоксиновом эквиваленте на каждый километр пройденного пути. Ведется работа по замене этилированных бензинов неэтилированными, что связано с ужесточением норм на выбросы вредных веществ с отработанными газами и необходимостью использования для этого специальных каталитических нейтрализаторов, работоспособных только в отсутствие соединений свинца. Разработан и введен ГОСТ Р 51105-97 "Топлива для двигателей внутреннего сгорания. Неэтилированный бензин", что позволяет обеспечить соответствие отечественных бензинов нормам Евро-1 и Евро-2 и европейскому стандарту EN 228.

Отечественный стандарт устанавливает жесткие требования к концентрации свинца и серы в бензине. Содержание свинца по отечественному стандарту не должно превышать 0,01%, а серы 0,05%, в то время как согласно евростандарту эти нормы составляют 0,13 и 0,1% соответственно. Однако эта работа в нашей стране только начинается, и, по-видимому, еще долгое время в ряде регионов будут использоваться этилированные бензины. Следует заметить, что в странах ЕЭС, Японии и США применение этилированных бензинов запрещено законодательно.

В последние годы расширяется применение альтернативных топлив: природного и синтетического газов, спиртов, водорода и др. Сообщалось о готовности Швеции закупить у Испании вино, спрос на которое падает, и полученный после его перегонки спирт использовать в качестве автомобильного топлива.

Ниже приведены сведения о выделении загрязняющих веществ современным автотранспортом (доля автотранспорта в общем объеме загрязняющего вещества, выделяемого всеми видами транспорта), %:

|                             |        |
|-----------------------------|--------|
| Оксиды азота . . . . .      | .83,0  |
| Угарный газ . . . . .       | .84,4  |
| Диоксид серы . . . . .      | .64,5  |
| Углеводороды . . . . .      | .72,5  |
| Соединения свинца . . . . . | .100,0 |

В целом по России выбросы загрязняющих веществ от автотранспортных средств в 1998 г. составили 11,824 млн. т, что на 4,2% больше по сравнению с 1997 г.

Автотранспорт, использующий в качестве горючего углеводородное топливо, является одним из главных источников выбросов углекислого газа в атмосферу. Его влияние на возникновение парникового эффекта было рассмотрено выше.

Одним из наиболее токсичных продуктов, содержащихся в выхлопных газах автомобиля, работающего на углеводородном топливе, является оксид углерода (угарный газ). Хотя сам он и не относится к веществам, вызывающим парниковый эффект, но легко вступает в реакцию с кислородом воздуха с образованием углекислого газа.

Загрязнение воздуха оксидами азота и кислотные дожди приносят огромный вред здоровью людей, а также растительному миру. Наряду с такими токсичными отходами, как оксид углерода, оксиды азота, по которым ведется инструментальный контроль органами Российской транспортной инспекции, автотранспорт выбрасывает значительные количества веществ, оказывающих канцерогенное и высокотоксичное воздействие на здоровье человека. В 1998 г. суммарные выбросы автотранспорта в России по таким веществам составили: 27 тыс. т бензола, 17,5 тыс. т формальдегида, 15 т бенз(а)пирена, 3,1 тыс. т соединений свинца. Соединения свинца вызывают расстройство нервной системы, аллергию, некоторые углеводороды и твердые частицы способствуют развитию канцерогенных заболеваний. Содержание токсичных веществ в выхлопных газах зависит от режима работы двигателя (табл. 1.3).

Таблица 1.3

## Содержание вредных веществ в выхлопных газах

| Вредные вещества | Содержание вредных веществ, %, при различных режимах работы |                     |                           |                            |
|------------------|---|---------------------|---------------------------|----------------------------|
|                  | холостой ход  | постоянная скорость | ускорение от 0 до 40 км/ч | замедление от 40 до 0 км/ч |
| Оксиды углерода  | 0,5 – 8,5   | 0,3 – 3,5           | 2,5 – 5,0                 | 1,8 – 4,5                  |
| Углеводороды     | 0,03 – 0,12   | 0,02 – 0,6          | 0,12 – 0,17               | 0,23 – 0,44                |
| Оксиды азота     | 0,005 – 0,01  | 0,10 – 0,20         | 0,12 – 0,19               | 0,003 – 0,005              |

Приблизительно общее количество токсичных газов, выброшенных в атмосферу автомобилем, можно рассчитать, используя уравнение:

$$N = nA/100, \quad (1.1)$$

где  $N$  – общее количество токсичного вещества в отработанных газах, кг;  $A$  – расход топлива, кг;  $n$  – удельный выброс токсичного вещества, % (масс.).

Удельные выбросы токсичных веществ приведены ниже, % (масс.):

|                          | Бензин | Дизельное топливо |
|--------------------------|--------|-------------------|
| Оксид углерода . . . . . | 0,6    | 0,1               |
| Углеводороды . . . . .   | 0,1    | 0,03              |
| Оксиды азота . . . . .   | 0,04   | 0,04              |

Понятно, что эти отходы, представляющие большую угрозу окружающей среде, не подлежат сбору и утилизации. Единственная мера борьбы с ними – это сокращение их объема, которое достигается техническими и эксплуатационными способами.

Основными направлениями сокращения вредных выбросов от автотранспорта являются: развитие дорожно-транспортного строительства; улучшение качества используемого топлива за счет добавок и очистки; максимальное использование альтернативных видов топлива, в первую очередь газа; внедрение более жестких административных мер контроля за техническим состоянием автотранспорта; улучшение работы и расширение общественного транспорта; введение дифференцированных и расширяющихся налогов на пользование индивидуальным автотранспортом; автоматическая электронная регулировка зажигания в зависимости от режима работы двигателя, позволяющая снизить образование оксидов азота без увеличения расхода топлива.

Необходимы строгий контроль за регулировкой существующих двигателей, а также разработка двигателей с более высокой степенью сжатия, способных работать на бедных смесях, с электронной системой регулирования состава смеси и зажигания.

Для нынешнего поколения автомобилей необходимо снижение удельного расхода топлива и ограничение количества вредных выбросов. Совершенствование автомобиля возможно в результате улучшения конструкции двигателя и трансмиссии, снижения массы, улучшения аэродинамических характеристик и более широкого использования автоэлектроники. Модели, оснащенные компьютерами, имеют вдвое меньший расход топлива, что обеспечивается оптимальным числом оборотов двигателя, достигаемым с помощью автоматической коробки передач. Такая система обеспечивает экономичную работу двигателя при любой скорости.

Для массового внедрения ресурсосберегающего (в данном случае с точки зрения экономии горючего) автомобиля необходим широкий спектр административных мер, которые заставляли бы и производителя, и пользователя автомобилем стремиться к экономному расходу горючего. Налоговая политика должна способство-

вать выпуску экономических моделей и препятствовать производству автомобилей с высоким расходом горючего и высоким выделением вредных веществ. Налоги при этом могут быть дифференцированными: налог на топливо; налог на расход топлива; сборы за парковку с учетом расхода автомобилем топлива.

Кроме того, необходима разработка технических решений по очистке выхлопных газов с применением различных по конструкции (и используемым материалам) катализаторов дожигания, которые представляют собой пористую керамическую вставку с высококоразвитой поверхностью, на которую тончайшим слоем нанесено покрытие из драгоценных металлов – платины и родия. Количество металлов зависит от конструкции катализатора и достигает 9 г, они напылены на поверхность около 15000 м<sup>2</sup>. Наиболее современными являются так называемые трехходовые катализаторы, устойчиво работающие при температуре выхлопных газов до 255°С. Эти катализаторы работают только при использовании неэтилированного бензина и способствуют эффективному дожиганию токсичных компонентов выхлопных газов. Такие катализаторы можно применять как при изготовлении новых автомобилей, так и оснащать ими старые двигатели.

С 1993 г. все страны ЕЭС выпускают автомобили, оснащенные такими катализаторами, а правительство Германии выплачивает владельцам старых автомобилей безвозмездные субсидии в размере 100 марок на покупку и установку катализаторов. Применение катализаторов нового поколения снижает содержание ядовитых веществ в выхлопных газах на 90%.

Несмотря на то что автомобильная промышленность занимает далеко не первое место по количеству образующихся отходов, выпускаемая ею продукция потенциально является источником большого объема разнообразных видов отходов.

Автомобиль, хотя и является предметом длительного пользования, все же имеет конечный срок эксплуатации, после чего необходимо принять меры для его утилизации.

В изношенном и выброшенном на свалку автомобиле содержатся все те материалы, которые были использованы при его изготовлении: черные и цветные металлы, пластмассы и резинотехнические изделия, стекло и керамика, дерево и картон, текстильные и битумные материалы и многое другое. Материальный состав усредненного автомобиля приведен ниже, % (масс.):

|                            |       |
|----------------------------|-------|
| Черные металлы . . . . .   | .69,0 |
| Пластмассы . . . . .       | .10,0 |
| Цветные металлы . . . . .  | .6,5  |
| Стекло . . . . .           | .3,5  |
| Резина . . . . .           | .9,0  |
| Другие материалы . . . . . | .2,0  |

Вышедший из эксплуатации автомобиль может и должен стать источником вторичных материальных ресурсов (ВМР). Однако если сортировка деталей, изготовленных из разных металлов, достаточно проста и давно известна, а отходы черных и цветных металлов широко применяются и на автозаводах, и в металлургической промышленности, то с изделиями из полимерных материалов дело обстоит сложнее. Их переработка во вторичные материалы и использование с максимальной эффективностью возможны только после рассортировки по видам полимеров и конкретным маркам пластмасс. Иными словами, чем точнее проведена идентификация неметаллических материалов, тем с большей экономической цельюсообразностью возможна их утилизация. Некоторые фирмы на Западе ввели с этой целью стандартизованную маркировку деталей из резины и пластмасс, позволяющую четко определить марку материала.

Зарубежные фирмы накопили большой опыт утилизации изношенных автомобилей. Так, фирма "Мерседес-Бенц" (Германия) широко использует детали, изготовленные из вторичных материалов: коврики из отходов пластмасс и резины, шумопоглощающие детали и материалы из прессованных и пропитанных смолой волокон, ящики для перчаток из вторичного картона, различные детали из термопластичных полимеров с использованием отходов (в том числе бампер, панель приборов и воздухопроводы), регенерированные масла, тормозную и охлаждающую жидкости, катализаторы дожигания выхлопных газов, аккумуляторные батареи. Все детали, которые должны быть повторно переработаны после снятия с автомобиля, имеют специальный знак, означающий пригодность к повторной переработке (рециклизации), а также кодовый номер, указывающий на вид использованного сырья.

## 1.6. Новые подходы к проблеме устойчивого развития общества

Комиссия ООН по окружающей среде и развитию определяет устойчивое общество как общество, удовлетворяющее нужды сегодняшнего поколения, не лишая будущие поколения возможности удовлетворять их собственные нужды. Одним из условий устойчивого развития общества является непревышение им возможностей окружающей среды поглощать загрязняющие вещества антропогенного происхождения.

Прежде считалось (а многие и сейчас так думают), что разработка способов эффективной очистки дымовых газов и сточных вод, безопасного захоронения отходов позволяет решить проблемы защиты окружающей среды. Однако опыт развитых стран показывает, что поступать таким образом – значит перемещать загрязнитель из одной среды в другую (например, из воздуха или воды – в

почву) или вообще перекладывать решение вопроса на плечи следующих поколений (например, радиоактивные отходы).

Стало очевидным, что для сохранения окружающей среды, отходы не надо производить. Это – важнейшее условие устойчивого развития общества. Для этого необходима разумная политика в области добычи и экспорта природных ресурсов.

Наша страна занимала первое место в мире по добыче нефти, газа, железной руды, по производству кокса, стали, цемента, минеральных удобрений, деловой древесины, по площади обрабатываемых земель, объему водопотребления и т.д. Темпы добычи природных ресурсов, а также производства многих промежуточных продуктов на их базе до последнего времени были существенно выше, чем в других странах. С 1950 до 1990 г. добыча и производство важнейших видов сырья, топлива и первичной продукции (удобрений, цемента и т.п.) увеличились с 600 до 3000 млн. т.

Значительная часть природных ресурсов у нас добывается не "для внутреннего пользования", а на экспорт. Сильная зависимость экономики России от экспорта одного-двух продуктов (нефть и газ дают 80% поступлений валюты от экспорта) делает ее крайне незащищенной от стихии мирового рынка, подрывает безопасность страны.

В то же время экспортируются невосполняемые природные ресурсы страны, т. е. сегодняшнее общество берет в долг у грядущих поколений, нарушая тем самым устойчивость своего развития. При этом необходимо иметь в виду, что средства от экспорта природных ресурсов в значительной мере направляются на дальнейшее наращивание мощностей по добыче и экспорту энергоносителей и продуктов их первичной переработки.

Бессистемное увеличение добычи и экспорта сырьевых ресурсов ведет к их исчерпанию и превращению регионов их добычи в безжизненные пространства с массой экологических проблем и низким качеством жизни.

Следует отметить, что раньше всех поняли опасность, грозящую человечеству от загрязнения окружающей среды, ученые и крупные организаторы промышленности. Так, группа ученых и промышленников из 30 человек, собравшаяся в 1968 г. в Риме по инициативе итальянского специалиста в области управления промышленностью Аурелио Печчеи, подготовила в 1972 г. первый доклад "Пределы роста" из серии "Докладов Римскому клубу" под общим названием "Затруднения человечества". В этом докладе осуждается общественная мания роста, при которой целью на всех уровнях общества (индивидуальном, семейном, национальном) является стремление стать богаче и могущественнее без учета окончательной платы за этот рост. В самом центре экологического кризиса, вызванного этим стремлением, находятся две постоянно расширяющиеся пропасти: между человеком и природой, а также



между богатыми и бедными странами. Если мы хотим избежать глобальной катастрофы, то эти пропасти должны быть уничтожены, однако достигнуть этого можно, только обеспечив некое единство всего мира, при котором народы всех стран четко представляли бы себе, что природные ресурсы Земли не бесконечны.

Однако в докладе "Цели для глобального общества", подготовленном для Римского клуба в 1977 г. профессором философии Эрвином Ласло, отмечается глубокое расхождение целей в разных странах. Многие высокоразвитые богатые страны сосредоточили свои усилия исключительно на ближайших национальных интересах и озабочены больше всего дальнейшим увеличением потребления.

По мнению ряда ученых, современные постиндустриальные общества являются паразитарной формой существования "богатых государств" за счет ресурсного истощения экономически зависимых стран. По данным ЮНЕП (программа охраны окружающей среды ООН), эти общества добились трехкратного увеличения эксплуатации природных ресурсов мира по сравнению с 70-ми годами текущего столетия.

Важнейшая роль в повышении устойчивости развития общества принадлежит органам государственной власти. Государство должно побуждать предприятия всеми доступными ему методами (законодательными и экономическими) работать с использованием передовых технологий. Предприятие обязано осуществлять необходимые природоохранные меры, в том числе платить за пользование природными ресурсами, компенсировать отрицательное воздействие на окружающую среду, сооружать и эффективно эксплуатировать природоохранные установки. В противном случае деятельность предприятия должна быть остановлена. Предприятия должны быть заинтересованы в том, чтобы не уплачивать значительные штрафы или тем более не быть остановленными, что непосредственно скажется на прибыли и, следовательно, зарплатке персонала.

Конечно, государство не должно ограничиваться только карающими мерами. Эффективность экологической политики во многом зависит от правильного распределения государственных капиталовложений. Они должны быть направлены на: создание эффективной системы нормирования и контроля; осуществление приоритетных мероприятий по ликвидации и предупреждению кризисной экологической обстановки; проведение специализированных природоохранных мероприятий; создание экологически совершенных технологий и техники.

Правильное сочетание всех форм воздействия государственной власти на общество создает предпосылки для его устойчивого развития.

## **Глава 2. ОБРАЗОВАНИЕ И КЛАССИФИКАЦИЯ ОТХОДОВ**

Отходы производства, как сказано выше, 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.

Карл Маркс в третьем томе "Капитала" писал, что при крупномасштабном производстве "отходы получаются в столь значительных массах, что они сами становятся предметами торговли, а следовательно, новыми элементами производства". Он рассматривал отходы в качестве нового сырья той же самой или другой отрасли промышленности. Их применение уменьшает затраты на сырье и экономит общественно полезный труд.

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. Ресурсоемкость и образование отходов в экономике России**

Уровень затрат важнейших видов сырья, материалов и топливно-энергетических ресурсов (ТЭР) в экономике России значительно превосходит аналогичные показатели в развитых зарубежных странах. Так, уровень потребления электроэнергии в расчете на единицу сопоставимого ВВП в России выше, чем в США, в 2,5 раза, больше, чем в Германии и Японии, в 3,6 раза.

Более высокий уровень потребления в расчете на единицу сопоставимого ВВП характерен для России и по железной руде, стали, прокату, деловой древесине, цементу. Вместе с тем удельные показатели потребления прогрессивных материалов, таких как алюминий и пластмассы, в России ниже, чем в развитых странах, в среднем примерно в два раза.

Основной причиной отставания России от ведущих стран мира по показателям ресурсоемкости экономики является более низкий уровень развития производственной базы. Доля многих видов продукции, выпускаемой в России по прогрессивным ресурсосберегающим технологиям, составляет несколько процентов. Лишь по отдельным видам она превышает 50%, в то время как в развитых странах мира преимущественно близка к 100%. Доля производства электростали и кислородно-конвертерной стали в общем объеме выплавки стали достигла в России 68%; сталь, разлитая на машинах непрерывного литья заготовок, составляет около 50%; производство алюминия по ресурсосберегающим технологиям 15, меди 65, цемента 8, стекла 47, картона 33, бумаги 7%. Глубина переработки нефтяного сырья составляет в среднем 62%, уровень использования попутного газа 81%, что значительно ниже, чем в развитых странах мира.

Негативное воздействие на ресурсоемкость экономики России оказывает также широкое использование устаревшего оборудования. Степень износа машин и оборудования составляет: в нефтеперерабатывающей промышленности - 83%, химической и нефтехимической - свыше 60, в машиностроении, черной металлургии, лесной и легкой промышленности, промышленности строительных материалов - более 50, сельском хозяйстве 56, строительстве 62, транспорте 62, материально-техническом снабжении 54, в сфере заготовок 68%, что увеличивает затраты на их содержание и эксплуатацию, приводит к удорожанию продукции.

Из-за преобладания материалоемких производств и несовершенства технологической базы 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. Удельные показатели образования отходов в этих видах производства можно оценить в пределах от 30 до 95% от добытого сырья (в отдельных случаях и более).

Высоки объемы образования отходов и при переработке природного сырья, в частности в химической промышленности при производстве минеральных удобрений, черной и цветной металлургии, в топливно-энергетическом комплексе при сжигании углей. Так, образование фосфогипса в производстве экстракционной фосфорной кислоты составляет от 4,2 до 5,4 т/т кислоты; шлама при производстве борной кислоты 2,7 т/т кислоты; галитовых отходов в производстве хлористого калия 2,5 - 4 т/т продукции; пиритных огарков при производстве серной кислоты 0,6 - 0,7 т/т кислоты; шлаков металлургических - от 30 кг до 3,2 т/т металлов и сплавов; золы и шлаков тепловых электростанций, работающих на каменном угле - от 50 до 500 кг/т сжигаемого угля.

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 чугунных 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.

Удельные показатели образования твердых бытовых отходов (ТБО) в жилищно-коммунальном хозяйстве оцениваются в среднем по России 350 - 450 кг на человека в год.

Суммарные объемы образования отходов в России за 1998 г. составили около 2,5 млрд. т. Более 90% этого объема составляют отходы добычи и обогащения полезных ископаемых. Среди других видов крупномасштабных отходов следует выделить золошлаковые отходы ТЭС (объем их образования в 1998 г. составил около 40 млн. т), лом и отходы черных металлов 18 млн. т, металлургические шлаки 19, галитовые отходы 19, фосфогипс 5, изношенные шины 0,8, макулатура 0,9, отработанные нефтепродукты 1,2, пиритные огарки 1,0, стеклобой (отходы производства) 0,2, текстильные отходы 0,2 млн. т., древесные отходы 16 млн. м<sup>3</sup>.

Средний уровень хозяйственного использования отходов составляет около 35%. При этом большая часть используемых отходов (около 80%, преимущественно в виде вскрышных пород и отходов обогащения) применяется для закладки выработанных пространств шахт и карьеров.

Высокий уровень ресурсоемкости и образования отходов свидетельствует о низкой эффективности использования сырья, материалов и ТЭР в экономике России 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.

Последовательность образования и возможные пути утилизации отходов в промышленности показаны на схеме, приведенной на рис. 2.1.

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.

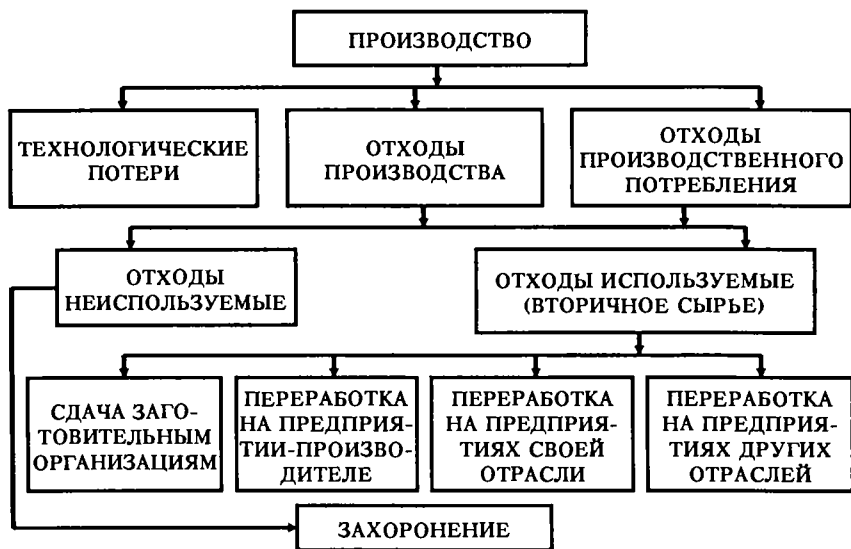


Рис. 2.1. Принципиальная схема образования и утилизации отходов

В общем объеме выбросов загрязняющих веществ в атмосферу от всех стационарных источников страны по данным за 1998 г. лидирует энергетика – 23,2%. Следующие места занимают цветная и черная металлургия – соответственно 17,6 и 11,7%, затем нефтедобывающая и нефтеперерабатывающая промышленность – соответственно 7,4 и 4,1%. Наиболее крупными загрязнителями гидросферы являются жилищно-коммунальное хозяйство 55,2, сельское хозяйство 11,8, энергетика, деревообрабатывающая и химическая промышленность 6,6; 5,6 и 5,6 соответственно, металлургия 4,8, машиностроение 2,5, угольная промышленность 2,0%.

В 1998 г. объем выброшенных твердых токсичных отходов составил 2,4 млн. т, из которых утилизировано и обезврежено не более 50%. Основными отраслями промышленности, где образуются токсичные отходы, являются металлургия, энергетика, химия и нефтехимия. Их суммарный вклад в общий объем отходов составляет почти 80%. Номенклатура отходов настолько велика, что полный их перечень порой известен только узкому кругу специалистов предприятия.

*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 выбро-

сы 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.

В поверхностные водоемы в 1998 г. сброшено 962,5 млн. м<sup>3</sup> сточных вод, в том числе 552,3 загрязненных. Наибольшие объемы загрязненных сточных вод за этот период пришлось на долю следующих гигантов отечественного автомобилестроения, млн. м<sup>3</sup>/год: 24,4 – АО "АвтоВАЗ", 22,5 – АМО ЗИЛ.

Машиностроительные предприятия в 1998 г. выбросили в атмосферу более 460 тыс. т загрязняющих веществ. Улов загрязняющих веществ по машиностроительному комплексу (45,1%) значительно ниже среднего по промышленности России (79,6%).

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 (137,9 т, или 43% от выброса всей промышленностью).

Такие города, как Тольятти, Челябинск, Екатеринбург и др., где доля предприятий комплекса является определяющей, входят в список городов России с наибольшим уровнем загрязнения атмосферного воздуха.

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.

Включая в себя более 700 промышленных предприятий с разнообразными технологиями производства, машиностроение оказывает существенное влияние на состояние окружающей природной среды. Значительные объемы производства и определяющее положение в социальной жизни городов ставят предприятия машиностроительного комплекса в разряд приоритетных при комплексном решении природоохранных проблем.

*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. Предприятиями отрасли в 1998 г. выброшено в атмосферу более 388 тыс. т загрязняющих веществ. В природные водоемы сброшено более 1,24 млрд. м<sup>3</sup> загрязненных сточных вод, содержащих нефтепродукты, нитраты, хлориды, сульфаты, фосфор, цианиды, кадмий, кобальт, марганец, медь, никель, ртуть, свинец, хром, цинк и т.д. Твердых отходов образовалось около 12,7 млн. т, из которых использовано около 50%.

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. На свалки вывозится большое количество фосфогипса, известковых, гипсовых и других твердых отходов. В последние годы происходит некоторое снижение объемов вредных выбросов, адекватное спаду производства.

*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 silos, 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.

Предприятиями пищевой промышленности в 1998 г. выброшено в атмосферу около 198 тыс. т вредных веществ, а сброс загрязненных вод по отрасли составил около 98 млн. м<sup>3</sup>.

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.

Предприятия легкой промышленности в 1998 г. сбросили в открытые водоемы более 120 млн. м<sup>3</sup> загрязненных сточных вод, которые содержали взвешенные вещества, сульфаты, хлориды, соединения фосфора и азота, нитраты, поверхностно-активные вещества, железо, медь, цинк, никель, хром, свинец, фтор и другие вещества.

Предприятия легкой промышленности выбросили в том же году в атмосферу свыше 50 тыс. т вредных веществ. Основными источниками загрязнения атмосферы в отрасли являются электролизные ванны, места загрузки, выгрузки и пересыпки сырья, дробильно-мельничное оборудование, смесители, сушильные барабаны, трепальные агрегаты, шлифовальные станки, прядильные и чесальные машины, оборудование для окраски изделий, барабаны для специальной обработки пушно-меховых заготовок и изделий.

В выбросах предприятий легкой промышленности присутствуют оксиды серы, азота, углерода, твердые вещества, бензин, этилацетат, 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. Сброс загрязненных сточных вод этой отрасли составил в 1998 г. более 1220 млн. м<sup>3</sup> в год. Наиболее крупными загрязнителями поверхностных водоемов явились Котласский ЦБК (194,6 млн. м<sup>3</sup>), Братский ЛПК (155,8 млн. м<sup>3</sup>), Архангельский ЦБК (127,1 м<sup>3</sup>). Загрязненные сточные воды предприятий отрасли характеризуются наличием в них таких вредных веществ, как сульфаты, хлориды, нефтепродукты, фенолы, формальдегид, метанол, фурфурол, диметилсульфид, скипидар.

Предприятиями этой отрасли выброшено в атмосферу в 1998 г. около 352 тыс. т вредных веществ. Наиболее характерными загрязняющими веществами, выбрасываемыми в атмосферу предприятиями отрасли, являются оксиды углерода, серы, азота, толуол, сероводород, ацетон, ксилол, бутилацетат, этилацетат, метилмеркаптан, 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. Вследствие многих причин в настоящее время и у нас в стране, и за рубежом 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; гранулята из отходов отработанных изделий из термопластов взамен первичного полимерного сырья; 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. Так, в странах ЕЭС установлено 14 категорий опасности отходов для здоровья человека и риска для окружающей среды: 1 – взрывоопасные; 2 – оксиданты; 3А – отходы с высокой степенью воспламеняемости; 3В – воспламеняемые; 4 – раздражающие; 5 – вредные; 6 – токсичные; 7 – канцерогенные; 8 – коррозионно-активные; 9 – инфекционные; 10 – тератогенные (повреждающие зародыши – эмбрионотоксичные); 11 – мутагенные (вызывающие наследственные изменения); 12 – выделяющие при контакте с водой токсичные газы; 13 – выделяющие опасные вещества; 14 – экотоксичные.

Согласно отечественному стандарту 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.

Наличие в отходах ртути, хромовокислого калия, треххлористой сурьмы (VI), оксида мышьяка и других высокотоксичных веществ требует отнесения их к первому классу опасности.

Наличие в отходах хлористой меди, хлористого никеля, оксида сурьмы, азотнокислого свинца и др. относит их ко второму классу опасности.

Наличие в отходах сернистой меди, оксида свинца, шавелевокислой меди, четыреххлористого углерода требует отнесения их к третьему классу опасности.

Принадлежность к тому или иному классу опасности определяется расчетным путем по методике, утвержденной Минздравом СССР.

В соответствии с Временным классификатором токсичных промышленных отходов и методическими рекомендациями по определению токсичности промышленных отходов (1987 г.) отходы также делятся на четыре класса опасности:

к отходам 1-го класса опасности относятся цианиды, ртуть, оксиды меди, хрома, кадмия, никеля, других тяжелых металлов, пентисернистый фосфор, хлорорганические соединения, бенз(а)пирен, инсектициды, а также отходы, содержащие эти компоненты в значительных концентрациях;

ко 2-му классу опасности относятся мышьяк, нефтепродукты, спирты, смолы, серная кислота, фенол, толуол и отходы, содержащие эти компоненты в значительных концентрациях;

к 3-му и 4-му классам опасности относятся отходы, содержащие те же опасные вещества 1-го и 2-го классов опасности в меньших концентрациях, а также шлаки и другие отходы.

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.

Интересная систематическая классификация промышленных отходов предложена НИИ Генплана г. Москвы, согласно которой все виды отходов делятся на 13 групп:

1. Гальванические и другие шламы, содержащие отходы реагентов и химреактивов, хром, никель, кобальт, цинк, свинец, кислые и щелочные отходы химических производств, вещества неорганического характера.

2. Канализационные, водопроводные и нефтесодержащие осадки промышленных сточных вод, образующиеся на очистных сооружениях производственных зон.

3. Нефтеотходы, легковоспламеняющиеся жидкости (ЛВЖ), смазочно-охлаждающие жидкости (СОЖ), кубовые остатки, отходы лакокрасочной промышленности.

4. Отходы пластмасс, полимеров, синтетических волокон, нетканых синтетических материалов и композиций на их основе.

5. Отходы резинотехнических изделий, шины и т.п.

6. Древесные отходы.

7. Отходы бумаги.
8. Отходы черных и цветных металлов и легированных сталей.
9. Шлаки, зола, пыль (кроме металлической).
10. Пищевые отходы (отходы пищевой, мясо-молочной и других отраслей промышленности).
11. Отходы легкой промышленности.
12. Стеклоотходы.
13. Отходы стройиндустрии.

Классификация промышленных отходов по видам представлена на рис. 2.2.



Рис. 2.2. Классификация промышленных отходов по видам

Для единого подхода к классификации отходов при организации их учета, в том числе в связи с обеспечением выполнения международных обязательств Российской Федерации по государственному регулированию и контролю за трансграничными перевозками опасных отходов, Госкомэкологией России в 1997 г. введен в действие Федеральный классификационный каталог отходов, представляющий собой перечень видов отходов, систематизированных по совокупности следующих приоритетных признаков: происхождению отходов, агрегатному состоянию, химическому составу, экологической опасности.

Вид отхода классифицируется этим каталогом как совокупность отходов, которые имеют одинаковые классификационные признаки и по химическому составу соответствуют одному и тому же уровню экологической опасности (относятся к одному и тому же классу опасности).

В соответствии с Каталогом отходы классифицируются по пяти иерархически взаимосвязанным уровням в виде блоков, групп, подгрупп, позиций и субпозиций. Ключевое значение имеет классификация отходов по первому уровню (блокам), осуществляемая по признаку происхождения отходов. В соответствии с ним отходы могут быть органические природного происхождения (животного и растительного); минерального и химического происхождения, а также коммунальные.

Классификация отходов по следующим двум уровням – группам и подгруппам – дает более развернутую характеристику происхождения отходов, в том числе характеризует принадлежность к определенному виду производства и технологии. Четвертый и пятый уровень классификации отходов (по позициям и субпозициям) отражает состав и свойства отходов, в том числе агрегатное состояние и степень их опасности.

В соответствии с установленной классификацией осуществляется кодирование видов отходов. В шестом разряде кода отходов используют буквенные символы, характеризующие виды опасности отходов: Л – легковоспламеняющиеся жидкие отходы; П – пожароопасные отходы; В – взрывоопасные отходы; С – самовозгорающиеся отходы; И – отходы, способные вызывать инфекционные заболевания у людей и животных; К – отходы, характеризующиеся коррозионными свойствами; Т – отходы, способные выделять токсичные газы при контакте с водой или воздухом.

Согласно требованиям Федерального классификационного каталога для каждого отхода должен быть определен его вид и шестизначный код. Производитель отходов обязан представить в территориальные органы Госкомэкологии России исходные данные по каждому из отходов, в том числе сведения о происхождении отхода, его агрегатном состоянии, химическом составе, классе опасности. На основании этих данных территориальные органы Госкомэкологии России должны выдать производителю паспорт отхода с установленным кодом.

Классификатор отходов приведен в табл. 2.1.

Таблица 2.1

## Федеральный классификационный каталог отходов

| Коды<br>отходов | Наименование  |
|-----------------|---|
| 1               | 2   |
| 100000          | <b>ОТХОДЫ ОРГАНИЧЕСКИЕ ПРИРОДНОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ<br/>(ЖИВОТНОГО И РАСТИТЕЛЬНОГО)</b> |
| 110000          | <i>Отходы пищевых и вкусовых продуктов</i>  |
| 111000          | Отходы производства пищевых продуктов   |
| 114000          | Отходы производства вкусовых продуктов  |
| 117000          | Отходы производства кормовых продуктов (кормов)                                     |
| 120000          | <i>Отходы растительных и животных продуктов</i>                                     |
| 121000          | Отходы производства растительных и животных масел                                   |
| 123000          | Отходы производства растительных и животных жиров и восков                          |
| 125000          | Эмульсии и смеси, содержащие растительные и животные продукты                       |
| 126000          | Отходы продуктов из растительных масел  |
| 127000          | Шламы производства растительных и животных жиров                                    |
| 129000          | Остатки рафинирования при переработке растительных и животных жиров                 |
| 130000          | <i>Отходы содержания животных, убоя скота и птицы, рыбы, морепродуктов и др.</i>    |
| 131000          | Отходы убоя скота и птицы   |
| 133000          | Отходы переработки рыбы и других морепродуктов                                      |
| 134000          | Тела животных   |
| 137000          | Фекалии животных  |
| 140000          | <i>Отходы шкур и кожи</i>   |
| 141000          | Отходы шкур и мехов   |
| 144000          | Отходы дублен (кроме дубильных веществ)   |
| 147000          | Отходы кожи   |
| 170000          | <i>Древесные отходы</i>   |
| 171000          | Отходы обработки и переработки древесины  |
| 173000          | Отходы лесозаготовок  |
| 180000          | <i>Отходы целлюлозы, бумаги и картона</i>   |
| 181000          | Отходы производства целлюлозы   |
| 184000          | Отходы переработки целлюлозы  |
| 187000          | Отходы бумаги и картона   |

Продолжение табл. 2.1

| 1      | 2   |
|--------|---|
| 190000 | <i>Другие отходы от переработки продуктов животного и растительного происхождения</i>               |
| 199000 | Другие отходы от переработки и улучшения качества продуктов животного и растительного происхождения |
| 300000 | <b>ОТХОДЫ МИНЕРАЛЬНОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ</b>  |
| 310000 | <i>Отходы минерального происхождения (исключая отходы металлов)</i>                                 |
| 311000 | Печной бой, металлургический и литейный щебень (брак)   |
| 312000 | Металлургические шлаки, съемы и пыль  |
| 313000 | Золы, шлаки и пыль от топочных установок и от термической обработки отходов                         |
| 314000 | Прочие твердые минеральные отходы   |
| 316000 | Минеральные шламы   |
| 340000 | <i>Отходы горнодобывающей промышленности</i>  |
| 350000 | <i>Отходы металлов и сплавов</i>  |
| 351000 | Лом и отходы железа и стали   |
| 353000 | Лом и отходы цветных металлов и сплавов   |
| 355000 | Металлические шламы   |
| 390000 | <i>Другие отходы минерального происхождения</i>   |
| 399000 | Другие отходы минерального происхождения, а также отходы рафинирования продуктов                    |
| 500000 | <b>ОТХОДЫ ХИМИЧЕСКОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ</b>   |
| 510000 | <i>Отходы оксидов, гидроксидов, солей</i>   |
| 511000 | Гальванические шламы  |
| 513000 | Отходы оксидов и гидроксидов  |
| 515000 | Отходы солей  |
| 520000 | <i>Отходы кислот, щелочей и концентратов</i>  |
| 521000 | Отходы неорганических кислот  |
| 522000 | Отходы органических кислот  |
| 524000 | Отходы щелочей  |
| 527000 | Концентраты   |
| 530000 | <i>Отходы средств защиты растений, средств дезинфекции, отходы фармацевтической продукции</i>       |
| 531000 | Отходы средств обработки и защиты растений от вредителей  |
| 533000 | Отходы гигиенических средств  |



Продолжение табл. 2.1

| 1      | 2  |
|--------|--|
| 535000 | Отходы фармацевтической продукции, ее производства и приготовления                                 |
| 540000 | <i>Отходы продуктов переработки нефти, угля и сланцев</i>  |
| 541000 | Отходы синтетических и минеральных масел   |
| 542000 | Отходы жиров (смазок) и парафинов из минеральных масел   |
| 544000 | Отходы эмульсий и смесей нефтепродуктов  |
| 547000 | Шламы минеральных масел  |
| 548000 | Остатки рафинирования нефтепродуктов   |
| 549000 | Прочие отходы нефтепродуктов, продуктов переработки нефти, угля и сланцев                          |
| 550000 | <i>Отходы органических растворителей, красок, лаков, клеев, мастик и смол</i>                      |
| 552000 | Отходы органических галогенсодержащих растворителей, их смесей и других галогенированных жидкостей |
| 553000 | Отходы негалогенированных органических растворителей и их смесей                                   |
| 554000 | Шламы, содержащие растворители, краски, лаки, клеи, мастики и смолы                                |
| 555000 | Отходы лакокрасочных средств   |
| 559000 | Отходы клея, клеящих веществ, мастик, незатвердевших смол  |
| 570000 | <i>Отходы полимерных материалов и резины</i>   |
| 571000 | Затвердевшие отходы пластмасс  |
| 572000 | Отходы незатвердевших пластмасс, формовочных масс и компонентов                                    |
| 573000 | Шламы и эмульсии полимерных материалов   |
| 575000 | Отходы резины, включая старые шины   |
| 577000 | Резиновые шламы и эмульсии   |
| 578000 | Остатки в размельчителях   |
| 580000 | <i>Отходы текстильного производства, производства волокон</i>                                      |
| 581000 | Текстильные отходы и шламы   |
| 582000 | Текстиль загрязненный  |
| 590000 | <i>Другие химические отходы</i>  |
| 591000 | Отходы взрывчатых веществ  |
| 592000 | Отходы, содержащие металлоорганические соединения, не вошедшие в другие пункты                     |
| 593000 | Лабораторные отходы и остатки химикалий  |
| 594000 | Отходы чистящих и моющих средств   |

Окончание табл. 2.1

| 1      | 2   |
|--------|---|
| 595000 | Катализаторы  |
| 596000 | Сорбенты, не вошедшие в другие пункты                                       |
| 598000 | Отходы упакованных газов  |
| 599000 | Прочие отходы процессов преобразования и синтеза                            |
| 900000 | <b>ОТХОДЫ КОММУНАЛЬНЫЕ (ВКЛЮЧАЯ БЫТОВЫЕ ОТХОДЫ)</b>                         |
| 910000 | <i>Твердые бытовые отходы</i>   |
| 911000 | Отходы из жилищ   |
| 912000 | Отходы потребления на производстве, подобные бытовым                        |
| 915000 | Мусор уличный   |
| 916000 | Мусор рыночный  |
| 917000 | Растительные отходы садов и парков  |
| 940000 | <i>Отходы от водоподготовки, обработки сточных вод и использования воды</i> |
| 941000 | Шламы водоподготовки (очистки)  |
| 943000 | Нестойкие осадки (шламы) при биомеханической обработке сточной воды         |
| 945000 | Стабильные осадки (шламы) при биомеханической обработке сточной воды        |
| 947000 | Остатки канализаций и от обработки воды (кроме шламов)                      |
| 948000 | Шлам при обработке сточных вод  |
| 949000 | Отходы от водозащиты  |
| 950000 | <i>Жидкие отходы очистных сооружений</i>                                    |
| 951000 | Фекалии из выгребных ям   |
| 953000 | Инфильтрационные воды объектов размещения отходов                           |
| 954000 | Жидкие отходы термической обработки отходов и от топочных установок         |
| 970000 | <i>Медицинские отходы (больниц и лечебно-оздоровительных учреждений)</i>    |
| 971000 | Медицинские отходы  |
| 990000 | <i>Прочие коммунальные отходы</i>   |

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.

### 2.3. Паспортизация и планирование сбора отходов на предприятии

Для повышения эффективности использования ВМР на каждом предприятии должна быть разработана система мер, основные принципы которой заключаются в:

- \* выявлении ресурсов и паспортизации вторичного сырья в соответствии с принятой классификацией;
- \* планировании сбора и использования вторичного сырья;
- \* сборе, учете и подготовке отходов к утилизации;
- \* разработке и организации в соответствии с современными технологиями процессов переработки отходов;
- \* реализации не используемых у себя ВМР другим перерабатывающим или заготовительным организациям.

При паспортизации отходов необходимо отражать показатели, характеризующие объемы отходов, их физическое состояние, токсичность, пожароопасность, технологическую операцию, при выполнении которой они образуются, возможное направление утилизации и т.д.

В основе планирования сбора и использования ВМР лежит нормирование. Основным методом разработки нормативов сбора является расчетно-аналитический метод, который предусматривает их расчет в соответствии с нормами технологических потерь, установленными технологическим регламентом. Нормы сбора вторичного материального ресурса  $H_{сб}$  определяют как часть от всего объема перерабатываемого сырья или материалов:

$$H_{сб} = (P_{в1} + P_{в2}) / \Pi_1, \quad (2.1)$$

где  $P_{в1}$  – количество вторичного сырья, образовавшегося при производстве данного вида продукции, подлежащее использованию на своем предприятии (без деловых отходов);  $P_{в2}$  – количество вторичного сырья, передаваемого в другие организации для его использования;  $\Pi_1$  – количество сырья, при переработке которого образуются отходы данного вида.

Если количество переработанного сырья  $\Pi_1$  определить как  $\Pi_1^n H_p^n$ , где  $\Pi_1^n$  – объем продукции, при производстве которой образуются отходы данного вида;  $H_p^n$  – норма расхода первичного сырья на единицу продукции, то уравнение для расчета  $H_{сб}$  будет иметь вид:

$$H_{сб} = (P_{в1} + P_{в2}) / (\Pi_1^n H_p^n). \quad (2.2)$$

Нормы сбора для отходов потребления определяются с использованием уравнения:

$$H_{сб} = P_{в.а} / П_{пот}, \quad (2.3)$$

где  $P_{в.а}$  – количество вторичного сырья, подлежащего сбору при амортизации использованных изделий;  $П_{пот}$  – количество материалов в составе изделий, вышедших из эксплуатации.

Нормы использования вторичного сырья  $H_{ис}$  определяют как количество вторичного сырья, которым можно заменить часть первичного сырья при изготовлении определенного объема конкретно вида продукции:

$$H_{ис} = (P_{в1} + P_{в.п}) / П_{п}(H_{р}^{п1} + H_{р}^{в}A_3), \quad (2.4)$$

где  $H_{р}^{п1}$  – норма расхода первичного сырья, используемого совместно с вторичным сырьем;  $P_{в.п}$  – объем вторичного сырья, поступившего на предприятие и подлежащего использованию при производстве данного вида продукции;  $П_{п}$  – объем продукции, при производстве которой используется вторичное сырье данного вида;  $H_{р}^{в}$  – норма расхода вторичного сырья, используемого совместно с первичным сырьем, в производстве данного вида продукции;  $A_3$  – коэффициент взаимозаменяемости, характеризующий количественное соотношение потребности в первичном и вторичном сырье при производстве единицы одной и той же продукции.

Коэффициенты взаимозаменяемости рассчитывают применительно к особенностям производства на данном предприятии по формуле:

$$A_3 = H_{п} / H_{в}, \quad (2.5)$$

где  $H_{п}$  и  $H_{в}$  – нормы расхода первичного и вторичного сырья на производство единицы данного вида продукции соответственно.

Правильный учет и планирование образования отходов на предприятии, а также сбор их способствуют рациональному использованию материальных ресурсов, утилизации образующихся отходов и снижают себестоимость продукции.

# Глава 3. УТИЛИЗАЦИЯ ОТХОДОВ – ОСНОВА РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЯ В НАРОДНОМ ХОЗЯЙСТВЕ

Несмотря на колоссальные затраты, прогрессивное законодательство и большую воспитательную работу среди населения, направленные на защиту окружающей среды от вредных выбросов и отходов производства и потребления, изменить ситуацию в мире, сохраняя прежние принципы хозяйствования и построения технологических процессов, не удастся. Среднегодовой ущерб в США от загрязнения окружающей среды по оценкам специалистов составляет 3 – 5% валового национального продукта. Вместе с тем и отечественный, и зарубежный опыт убеждают: своевременные инвестиции в природоохранную деятельность могли бы быть в несколько раз меньше тех средств, которые тратит общество на восполнение нанесенного ущерба (если он вообще может быть восполнен). Капитальные вложения на эти цели по некоторым оценкам окупаются в 1,3 раза быстрее, чем в целом по народному хозяйству. Срок окупаемости малоотходных ресурсосберегающих технологий в США составляет от года до пяти лет, что объясняется большой долей стоимости сырья и материалов в себестоимости готовой продукции. Именно поэтому сокращение расхода ресурсов дает экономический и экологический эффекты.

## 3.1. Ресурсосберегающие технологические процессы

Резервы ресурсосбережения при комплексной переработке сырья и использовании отходов весьма значительны. Энергоемкость производства алюминия из вторичного сырья в 20 раз ниже, чем из первичного, а стали – в 4 раза. В нефтепереработке выбросы низкопотенциального тепла составляют до 80% расходуемой энергии, а в теплоэнергетике – до 50 – 70%. Существует тесная взаимосвязь между экономией энергии и загрязнением окружающей среды, поэтому снижение энергоемкости, так же как и материалоемкости продукции, дает ощутимый экологический эффект.

В хозяйственном цикле добыча – обработка – потребление – утилизация восполнение потерь в основном осуществляется за счет добытых первичных материальных ресурсов. В настоящее время при производстве стали ВМР составляют 30%, при производстве бумаги 25%, цветных металлов 20%. В то же время капитальные вложения, необходимые для переработки вторичного сырья, примерно в четыре раза меньше, чем при получении продукции из первичного сырья.

Очевидно, что необходимо вкладывать средства в безотходные технологические процессы, которые сберегают сырьевые и энергетические ресурсы и вместе с тем обеспечивают высокое качество продукции.

*Ресурсосберегающая технология* – такая организация производства, при которой отходы сведены к минимуму и перерабатываются в реальные ВМР. По определению Европейской экологической комиссии ООН по малоотходной технологии безотходная технология – это такой способ производства продукции, при котором наиболее рационально и комплексно используются сырье и энергия в цикле сырьевые ресурсы – производство – потребление – ВМР. При этом любое воздействие на окружающую среду не нарушает ее нормального функционирования. Важно отметить, что полный цикл включает и стадию потребления. При ресурсосберегающей технологии предполагается создание оптимальных технологических схем с замкнутым материальным и энергетическим потоками. Однако еще не для всех производств разработаны промышленные технологии рационального использования ресурсов, не созданы экономические и юридические предпосылки для этого. Такая задача должна быть и будет решена, так как альтернативы такому подходу сегодня уже нет.

Ресурсосберегающие технологии позволяют:

1. Снизить размер ущерба, наносимого окружающей среде выбросом отходов. Например, утилизация жидких и твердых хлорсодержащих отходов металлургической переработки титансодержащих концентратов позволяет на 45% снизить выброс хлора в окружающую среду.

2. Уменьшить площади земель, занятых накопителями, свалками отходов.

3. Уменьшить загрязнение окружающей среды от переработки первичного сырья, "компенсирующего" неиспользование ВМР, содержащихся в отходах, а также тепла, содержащегося во вторичных энергетических ресурсах (ВЭР). Так, утилизация диоксида серы на металлургических и химических предприятиях не только уменьшает загрязнение окружающей среды, но и позволяет сократить добычу серы.

Очень важно максимально полное вовлечение в цикл полимерных отходов, поскольку оно не только дает возможность уменьшить расход нефти и газа на синтез полимеров, но и снижает нагрузку на окружающую среду, так как в атмосферных условиях полимеры разлагаются очень медленно.

4. Снизить термическое загрязнение окружающей среды (в случае использования ВЭР).

5. Сократить выбросы в окружающую среду при производстве продукции из вторичных ресурсов по сравнению с использованием первичного сырья (за счет исключения из технологической цепоч-

ки ряда звеньев). Например, при выплавке 1 т стали из металлолома по сравнению с ее производством из железной руды загрязнение атмосферного воздуха уменьшается на 86%, использование воды – на 40%, объем твердых отходов сокращается на 97%; при производстве картона или бумаги из макулатуры загрязнение атмосферы уменьшается на 37%, воды – на 25 – 44%.

б. Сократить количество топлива, сжигаемого на электростанциях, в котельных, промышленных печах, и соответственно уменьшить объемы загрязнений, связанных как с продуктами сгорания экономленного эквивалентного количества топлива, так и с его добычей, подготовкой и транспортировкой.

Широкое применение во всех отраслях народного хозяйства ресурсосберегающих технологий может стать решающим фактором улучшения экологической обстановки в стране. Эти технологии, окупаясь в короткий срок, могут обеспечить наибольший выход конечного продукта в расчете на единицу исходного сырья, а учитывая высокую степень автоматизации таких процессов, и в расчете на единицу трудозатрат.

Несмотря на то что наиболее продуктивным способом защиты окружающей среды является создание новых ресурсосберегающих технологий, старые технологии также имеют значительные резервы экономии природных ресурсов, которые заключаются в:

- \* замене исходного сырья на более совершенное, которое дает меньше отходов, не изменяя качество конечного продукта. Например, применение в окрасочном производстве водоразбавляемых красок взамен красок на основе органических растворителей;
- \* изменении конечного продукта без ухудшения его потребительских свойств. Например, применение для изготовления липких аппликаций бумажной основы вместо полимерной, содержащей в своем составе токсичные продукты;
- \* изменении технологического процесса изготовления продукта. Так, организация непрерывной работы оборудования взамен периодической резко сокращает отходы и выбросы в атмосферу в процессе перегрузки оборудования и транспортировки промежуточных продуктов;
- \* усовершенствовании оборудования. Например, применение более совершенных систем сбора и очистки смазывающе-охлаждающих жидкостей, применение ЭВМ, позволяющих наиболее рационально раскраивать и вырубать детали из листовых и рулонных материалов;
- \* усовершенствовании эксплуатации и обслуживания оборудования, обеспечивающем снижение количества отходов, в том числе брака. Например, своевременная заточка инструмента, организация планово-предупредительных ремонтов, исключающих поломку оборудования и аварийные выбросы рабочих сред.

Во всех случаях подход, при котором исключаются или уменьшаются отходы производства, должен быть приоритетным по сравнению с технической политикой, направленной на переработку, обезвреживание или захоронение отходов. Говоря о приоритетах в деле охраны окружающей среды от отходов, следует расположить различные способы их ликвидации в таком порядке:

- \* предотвращение или сокращение загрязнений в источнике их образования;
- \* использование отходов производства;
- \* перевод отходов в безопасное для человека и природы состояние;
- \* захоронение отходов в полностью безопасных контейнерах.

Как известно, важнейшие научно-технические решения находятся на стыке наук. Разработка ресурсосберегающих технологий не является в этом смысле исключением. Положительные результаты (сокращение объемов потребляемого сырья, комплексность его переработки, малоотходность, экологичность) легко прослеживаются на примере разработки новейших технологий химических и химико-биологических процессов горно-химического производства.

Примерами могут служить методы обогащения угля пиролизом (США), химические методы добычи медных руд, химические методы обогащения (Россия); метод щелочной обработки торфов и бурых углей с получением гумата натрия – физиологически активного стимулятора роста сельскохозяйственных растений (Россия) и др. Химические технологии создают основу для более глубокого преобразования минерального сырья. Эта особенность еще ярче проявляется по мере перехода к более сложным химико-биологическим процессам. Воздействие на сырье при этом осуществляется не на молекулярном, как при химических технологиях, а на субатомном уровне. Примерами химико-биологических технологий могут служить: бактериальное выщелачивание металлов из руд с получением меди, свинца, цинка (США); бактериальное извлечение ценных металлов из сточных вод с получением урана, хрома, селена, ванадия, вольфрама, молибдена (США); бактериальное выщелачивание органической и неорганической серы из каменного угля; биологическое получение гумуссодержащих суспензий из бурого угля путем воздействия поликультурой (ассоциацией микроорганизмов), представляющее собой создание искусственной почвы (Россия); методы бактериальной очистки вод и почв от загрязнения нефтепродуктами (Великобритания, Россия).

Последовательное использование новых технологий в горно-химическом производстве позволяет резко сократить количество образующихся отходов и затраты на производство готовой продукции.



### **3.2. Комплексное использование сырья и материалов в условиях территориально-промышленных комплексов**

Сама природа минерального сырья обуславливает необходимость комплексной его переработки. Максимально полное использование сырья возможно только при объединении в единую структуру нескольких перерабатывающих предприятий. Следовательно, для рационального использования сырьевых ресурсов необходимо создание территориальных межотраслевых производственных объединений, состоящих из предприятий разных отраслей.

При этом происходит соединение в единый комплекс производств разных отраслей промышленности, представляющих собой либо последовательные ступени обработки сырья (например, выплавка чугуна из руды и передел чугуна в сталь, а далее, может быть, производство тех или иных готовых изделий из стали), либо играющих вспомогательную роль по отношению друг к другу (например, обработка побочных продуктов, производство предметов упаковки и т.д.).

Вопрос о необходимости комбинирования предприятий поднимали многие исследователи. В 40-е – 50-е годы Н. Н. Колосовский, работая над проблемой формирования Прибайкальского комплекса, сделал ряд выводов и предложений по использованию природных ресурсов, которые связаны с комбинированием производств. Кратко их можно охарактеризовать следующим образом.

1. Географическая группировка предприятий в родственные технологические сочетания в пределах территории промышленной зоны.

2. Расположение промышленных предприятий с учетом направлений движения сырья, отходов и побочных продуктов производства.

3. Технологическое комбинирование производственных процессов (энергетическое, сырьевое и др.).

4. Экономическое сочетание производств путем взаимного обмена продуктами производства.

5. Организация в необходимых случаях общих энергетических, транспортных, сортировочных и распределительных станций.

6. Создание общей для всех производств инфраструктуры.

Комплексное использование имеющихся ресурсов путем комбинирования различных производств позволяет использовать отходы одного производства в качестве исходного сырья для другого.

Региональный подход к переработке материальных и энергетических ресурсов способствует сокращению потерь сырья, материалов, энергии, снижает транспортные расходы и трудозатраты, рас-

ширяет ассортимент продукции, изготавливаемой из используемого сырья.

Создание в регионе комбинированных производственно-хозяйственных систем, включающих в себя группу предприятий различных отраслей промышленности, вызывает необходимость формирования общей технологической цепи. В этом случае возможна разработка региональной технологии, которая представляет собой совокупность технологий отдельных производств, размещенных на данной территории и связанных между собой задачей максимального использования исходного сырья с наименьшими затратами.

Современная политическая ситуация, при которой регионам предоставлена большая самостоятельность, создает благоприятные предпосылки для реализации такой технической политики.

### 3.3. Зарубежный опыт рационального использования вторичных материальных ресурсов

Учитывая грозящую людям и окружающей среде опасность от накопления отходов и нерационального использования сырьевых ресурсов, многие страны уделяют этой проблеме значительное внимание, используя все возможные средства: экономические, юридические, воспитательные. Это позволило многим странам уже к середине 80-х годов достичь значительных успехов в деле переработки основных видов отходов.

В США государственное регулирование как на федеральном, так и на штатном уровнях играет все более заметную роль в стимулировании производства вторичного сырья из отходов. Ежегодные расходы правительства и предприятий США на защиту окружающей среды от загрязнений уже превысили 90 млрд. долл., причем 60% этой суммы расходуется самими предпринимателями. Это объясняется не столько их высоким чувством долга перед обществом и грядущими поколениями, сколько реальной необходимостью, вытекающей из действующего в стране законодательства. Для сравнения: в 1998 г. предприятиями и организациями всех форм собственности в нашей стране израсходовано на охрану окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов около 9,1 млрд. руб.

Принятый в США в 1976 г. закон о борьбе с твердыми отходами (с поправками 1980 и 1984 гг.) ориентирует на производство из них вторичных материалов. В стране действуют стандарты по обязательному минимальному содержанию вторичного сырья в товарной продукции. В настоящее время изучается рыночная конъюнктура вторичных материалов, экономические и технологические барьеры, препятствующие их применению, новые области их использования и т.д. Федеральное правительство отменило ранее су-

ществовавшие дискриминационные тарифные ставки на транспортировку вторичного сырья, изменило систему сортности материалов, чтобы поощрять использование вторичных ресурсов, приняло решение об определенной доле вторичного сырья при закупке металлов в государственные запасы, приняло закон о запрете на захоронение отходов, произведенных не на территории данного штата.

Еще более активно действуют правительства некоторых штатов, в которых установлена высокая плата за захоронение отходов, в результате чего увеличилось потребление вторичного сырья. В штате Нью-Джерси принят законопроект о 50%-ной налоговой скидке на производственное оборудование, на котором изготавливается продукция, содержащая не менее 50% вторичных материалов.

Наиболее важным экономическим стимулом переработки отходов является то обстоятельство, что утилизация становится самым дешевым способом борьбы с отходами. В США запрещена организация новых открытых свалок, а захоронение и сжигание отходов с учетом соблюдения всех экологических норм оказывается в три раза дороже, чем их переработка во вторичное сырье.

Большое внимание уделяется проблеме отходов в странах ЕЭС, стратегия которых заключается в:

- \* предотвращении образования отходов;
- \* рециклировании отходов и вторичном использовании материалов;
- \* оптимизации конечной обработки отходов;
- \* регламентации транспортировки отходов;
- \* проведении мероприятий по реабилитации окружающей среды.

Эта стратегия нашла отражение в ряде директив ЕЭС, принятых в начале 90-х годов.

Особое внимание в странах ЕЭС уделяется следующим мероприятиям:

- \* пересмотру номенклатуры сырья и материалов, используемых в производстве той или иной продукции, с предпочтением экологически безопасных заменителей;
- \* пересмотру технологических процессов в целях разработки более безопасных для окружающей среды;
- \* воспитанию населения в духе рационального потребления;
- \* разработке новых технологических процессов, позволяющих повторно включать материалы в производственный цикл после их первичного использования;
- \* включению экологических параметров в стандарты качества продукции.

В Западной Европе переработкой отходов занимаются главным образом малые и средние предприятия, на которых работают 3,5 млн. человек. Они утилизируют более 37% твердых отходов. В

последние несколько лет наметилась тенденция к укрупнению таких предприятий.

В ближайшие годы в странах Западной Европы ожидается дальнейшее развитие отрасли по переработке отходов и соответствующий рост занятости, что окажет благоприятное воздействие на экономику в целом. В странах ЕЭС стоимость работ по переработке отходов оценивается в 9% ВВП, однако темпы роста составляют 20% в год.

Больших успехов в деле рационального природопользования добилась Япония. Известно, что эта страна по большинству видов сырья и топлива сильно зависит от импорта. Именно поэтому в Японии уделяют проблеме переработки отходов чрезвычайное внимание. Уже к 1985 г. в японской промышленности утилизировалось до 60% отходов.

Начальным толчком к более широкой утилизации отходов в Японии явилась необходимость принятия безотлагательных мер для решения проблемы загрязнения окружающей среды, которая со всей остротой встала на рубеже 60-х – 70-х годов. Положение усугублялось тем, что накопление отходов в огромных количествах делало непригодными для жизни и хозяйственной деятельности обширные земельные участки, которые в условиях крайней ограниченности территории Японии являются остродефицитными.

Для улучшения экологической ситуации государством были предприняты огромные усилия: в 1967 г. был утвержден Основной закон об охране окружающей среды, в 1971 г. создано Управление по окружающей среде, в 1973 г. – специальный правительственный центр "За чистую Японию", вся деятельность которого направлена на повышение эффективности утилизации отходов.

Расширению использования вторичных сырьевых ресурсов в стране содействуют также такие промышленные ассоциации, как Всеяпонская федерация промышленных отходов (создана в 1978 г.), Японская ассоциация по освоению неиспользуемых ресурсов (создана в 1980 г.) и др.

Для стимулирования работ по переработке отходов государство использует финансовые, законодательные и административные меры. Немалое значение придается и пропаганде необходимости рециклирования ресурсов как среди предпринимателей, так и среди населения.

Под промышленными отходами, согласно японскому законодательству, понимаются отходы, возникающие в процессе производственной деятельности, в том числе зола, шлаки, отработанные масла, кислотные, щелочные отходы, пластмассы и др. При этом особо выделяются отходы, образующиеся в обрабатывающей промышленности: бумажные, текстильные, резиновые, древесные, металлические, стеклянные, доменный шлак, лом бетона и др.

В 1976 г. к закону об охране окружающей среды был принят ряд поправок. В качестве основополагающего принципа зафиксиро-

вано, что переработка отходов должна осуществляться предприятиями – производителями отходов, а перепоручение ее специализированным предприятиям имеет лишь вспомогательное значение. По закону производители несут ответственность за переработку отходов, возникших в результате их хозяйственной деятельности. При этом указывается, что перепоручать переработку отходов можно только специализированному предприятию, обладающему соответствующей технологией.

В Японии существуют стандарты переработки и ликвидации вредных промышленных отходов. Например, в целях предотвращения загрязнения морей и океанов стандарты запрещают затопление таких отходов. В случае их захоронения требуется, чтобы они были изолированы от водных ресурсов, поступающих в общественное потребление, и от подземных вод.

В сфере переработки отходов в Японии сложилась весьма активно действующая организационная система, деятельность которой опирается на финансовую помощь государства, стимулирующую развитие отраслей по переработке отходов.

Благодаря последовательному проведению экологической политики в настоящее время кризисное состояние окружающей среды в Японии преодолено. Успехи в области рециклирования ресурсов, достигнутые Японией за сравнительно короткий срок (к середине 80-х годов), наглядно видны из данных табл. 3.1. Среди отраслей промышленности наибольшей степенью использования отходов отличаются деревообрабатывающая, транспортное машиностроение, черная металлургия, мебельная промышленность, в которых утилизируется от 70 до 95% всех отходов, полиграфия (около 60%) и электроэнергетика (свыше 50%).

Таблица 3.1

Степень утилизации промышленных отходов в Японии, %

| Вид отходов               | 1973 г. | 1976 г. | 1979 г. | 1983 г. |
|---------------------------|---------|---------|---------|---------|
| Металлические             | 97,4    | 97,0    | 98,7    | 97,5    |
| Доменный шлак             | 29,6    | 60,3    | 81,4    | 75,1    |
| Текстильные               | 15,4    | 53,8    | 40,2    | 50,6    |
| Макулатура                | 21,7    | 49,2    | 35,6    | 43,8    |
| Отработанные масла        | 25,7    | 43,0    | 24,8    | 24,6    |
| Древесные                 | 32,1    | 38,3    | 22,3    | 95,2    |
| Пластмассовые             | 27,0    | 38,1    | 25,8    | 24,4    |
| Зола                      | 34,0    | 32,4    | 23,3    | 42,9    |
| Резиновые                 | 0,3     | 30,8    | 19,3    | 25,9    |
| Стекланные и керамические | 26,1    | 30,7    | 36,5    | 37,9    |
| Строительные              | 0,6     | 6,4     | 1,6     | 10,0    |
| Пыль                      | -       | -       | 75,1    | 64,7    |
| В среднем                 | 16,2    | 49,5    | 54,6    | 58,5    |

В целом по обрабатывающей промышленности Японии обработке подвергается более половины всех образующихся отходов (52,3%). О том, какую экономию сырья дает утилизация отходов в Японии, можно судить по следующим данным. Использование каждой тонны вторичного алюминия заменяет более 5 т основного сырья и вспомогательных материалов. Производство 1 т бумаги и картона из макулатуры высвобождает 4,7 – 5,6 м<sup>3</sup> древесины и 165 – 200 м<sup>3</sup> воды. Производство алюминия, стали и бумаги из вторичного сырья позволяет экономить соответственно 97; 74 и 70% энергии по сравнению с производством из первичного сырья, сократить импорт бокситов, лесоматериалов, металлических руд, нефти и газа.

В Японии считают, что основные направления рециклирования отходов сводятся к:

- \* созданию систем замкнутого цикла производства;
- \* повторному использованию отходов по первоначальному назначению без дополнительной переработки;
- \* утилизации отходов в качестве сырья для изготовления исходного продукта (макулатуры для выработки бумаги, металлолома для выработки стали);
- \* использованию отходов для получения какой-либо товарной продукции (сжигание для получения энергии, компостирование для получения удобрений);
- \* использованию отходов для получения насыпных территорий, дамб, дорог и т.п.

В ходе организации работ по рециклированию отходов как отрасли хозяйства органами государственной власти Японии решались следующие проблемы:

1. Привлечение рабочей силы для предприятий по сбору и транспортировке отходов осуществлялось с помощью государства и органов местного самоуправления.

2. Обеспечение стабильности спроса достигалось нормированием обязательных добавок вторичного сырья к первичному.

3. Обеспечение стабильности цен и прибыли мелких предприятий, занятых переработкой отходов, достигалось установлением и поддержанием средних, но стабильных цен на отходы.

4. Организация хранения собранных отходов и полученного в результате их переработки вторичного сырья обеспечивалась оказанием предприятиям (как правило, не имеющим в начале своей деятельности больших средств) помощи в покупке земельных участков.

5. Поддержание качественных показателей достигалось введением государственных стандартов как на сами отходы, так и на продукты их переработки, что облегчило сбор, переработку отходов и реализацию продуктов их рециклирования.

6. Удешевление транспортировки отходов обеспечивалось разработкой специального, в том числе трубопроводного, транспорта и других рациональных методов их перемещения.

Решение всех этих проблем на государственном уровне позволило Японии резко снизить загрязнение окружающей среды, уменьшить расход первичных материальных и энергетических ресурсов и обеспечить дополнительную занятость населения.

Таким образом, на примере ряда развитых стран можно видеть, что ресурсосбережение и утилизация отходов, а в идеальном случае организация экономики на принципах рециклирования - реальный шанс общества в сохранении природной среды и ее ресурсов, а следовательно, и выживания.

### 3.4. Возможности и пределы утилизации отходов

Использование вторичных ресурсов вместе с положительными имеет и отрицательные стороны. Негативные последствия увеличения доли вторичного сырья и замены первичного сырья отходами, проявившиеся в ряде отраслей, свидетельствуют о том, что их применение должно быть оптимальным. С этим столкнулись при переходе на замкнутый пароводяной цикл в теплоэнергетике, в системах оборотного водоснабжения, в производстве картона и др.

Стремление максимально замкнуть пароводяной цикл на ТЭС потребовало глубокого обессоливания воды, обезжелезивания конденсата и добавления в питательную воду фосфатов, аминов, гидразина и других присадок, от которых в дальнейшем требуется очищать продувочную воду парогенераторов. Переход от испарителей к ионообменным установкам для очистки технологической воды создал проблему обезвреживания промежуточных продуктов, образующихся в процессе химической очистки воды ТЭС.

В производстве картона замыкание цикла водоснабжения ухудшило качество продукции: на картоне стали появляться "высолы" - пятна от накопления в бумажной массе солей, что исключило его применение в таре для пищевых продуктов, уменьшило прочность коробок и т.д. Увеличение использования отходов в пищевой промышленности привело к снижению вкусовых качеств продукции.

Применение осадков сточных вод в качестве удобрений вызвало накопление фитотоксичных тяжелых металлов в почве, усилило накопление кадмия в растениях. Вследствие этого внесение таких осадков в почву рекомендовано делать не чаще одного раза в пять лет и применять их лишь для удобрения лугов.

Не рекомендовано использование кислых гудронов в асфальтовых покрытиях в черте населенных пунктов вследствие загрязнения воздуха ароматическими углеводородами. Использованию от-

хода флотации угля для мелиорации почв должна предшествовать проверка его на наличие канцерогенных свойств.

По мере увеличения доли вторичного сырья в материальных циклах идет накопление примесного вещества, например, в стали, выплавленной из металлолома, накапливаются медь, цинк, кобальт-60. В целлюлозной массе за счет макулатуры уменьшается доля длинного волокна, что постепенно приводит к снижению прочностных свойств бумаги. Поэтому становятся необходимыми, как и в системе оборотного использования воды, "продувка" и "подпитка" цикла. Поступление примесных веществ в цикл может быть ограничено путем рафинирования вторичного сырья.

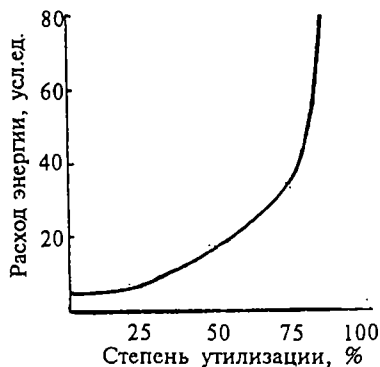


Рис. 3.1. Влияние степени утилизации отходов на расход энергии

Кроме того, необходимо учитывать расходы энергии на утилизацию материалов. Влияние степени утилизации вещества на расход энергии показано на рис. 3.1. Если увеличение степени утилизации отходов в два раза (с 25 до 50%) требует роста затрат энергии в 2,5 раза, то для увеличения степени утилизации с 50 до 75% необходимо затратить энергии уже в пять раз больше. Дальнейшее увеличение степени утилизации обходится неизмеримо дороже, поскольку затраты энергии увеличиваются экспоненциально.

Из этой закономерности следует вывод о принципиальной недостижимости 100%-ной утилизации отходов. Речь может идти об оптимальной, экономически целесообразной в данный момент технического развития общества степени утилизации отходов производства и потребления.

Пределы возможного использования вторичных материалов определяются факторами снижения качества выпускаемой продукции и эффективностью производства.

Окончательное решение о целесообразности и объемах использования отходов следует принимать на основе анализа следующих данных:

- \* баланса материалов с учетом как прямого, так и косвенного их расхода;
- \* баланса энергии с учетом как прямого, так и косвенного ее расхода;
- \* баланса влияния на окружающую среду с учетом факторов прямого и косвенного воздействия;
- \* капиталовложений на реализацию применяемого процесса;



\* производственных расходов на эксплуатацию.

Только на основе указанных данных можно получить объективную оценку преимуществ и недостатков различных способов утилизации отходов и определить пределы их утилизации.

Таким образом, на современном этапе развития человечества одним из основных требований становится ресурсосберегающее отношение к природе.

В связи с этим важнейшее значение для рационального ресурсопользования имеет утилизация отходов, образующихся в сфере производства и потребления и являющихся во многих случаях ценным сырьем для изготовления товарной продукции. Переработка отходов производства и комплексное использование природного сырья наиболее полно могут быть реализованы в рамках территориально-промышленных комплексов, о чем свидетельствует и отечественный и зарубежный опыт организации работ по утилизации отходов.

Политика охраны окружающей среды от загрязнения, основанная на обезвреживании отходов, должна уступить место политике ресурсосбережения, основанной на комплексном использовании сырья, максимальном вовлечении в хозяйственный оборот вторичных ресурсов, ускоренном внедрении малоотходных технологий и утилизации отходов производства и потребления.

Технологии будущего, основанные на принципах ресурсосбережения, должны сводить к минимуму образование и выброс в окружающую среду газообразных, жидких и твердых производственных отходов.

Опыт природоохранной деятельности показывает, что экологические проблемы достаточно сложны и не могут быть решены в один прием. Ограничивающим фактором являются прежде всего экономические возможности общества. Поэтому главнейшая задача научно-технического прогресса – поэтапное создание ресурсосберегающих технологий, обеспечивающих не только снижение количества отходов, но и экономию материально-энергетических ресурсов. Это технологии ближайшего будущего, без которых оптимальное решение экологических проблем невозможно.

## Глава 4. НОРМАТИВНО-ПРАВОВОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УПРАВЛЕНИЯ ОТХОДАМИ

Нормативно-правовая база Российской Федерации в области обращения с отходами представлена рядом общих нормативно-правовых документов, регламентирующих обращение с отходами как с сырьем и как с загрязнителями окружающей природной среды.

Основополагающее значение для нормативно-правового обеспечения применения этих инструментов государственного регулирования имеют закон РСФСР от 19.12.91 № 2060-1 "Об охране окружающей природной среды" и федеральный закон от 24.06.98 № 89-ФЗ "Об отходах производства и потребления". Эти законы регламентируют цели и основные принципы государственной политики в области обращения с отходами, полномочия в этой области органов управления Российской Федерации, ее субъектов, органов местного самоуправления. Регламентируются также правовые основы обращения с отходами как с объектом собственности, общие требования к обращению с отходами, нормирование, государственный учет и отчетность в области обращения с отходами, правовые основы экологического контроля и экономического регулирования.

Наряду с этим имеется ряд нормативных документов, регламентирующих применение следующих инструментов государственного управления обращением с отходами:

- \* ведения государственной статистической отчетности по форме 2-тп (токсичные отходы), обеспечивающей учет образования, использования и размещения опасных отходов;
- \* ведения Государственного кадастра отходов, включающего Федеральный классификационный каталог отходов, государственный реестр объектов размещения отходов, а также банки данных об отходах и о технологиях использования и обезвреживания отходов;
- \* государственной экологической экспертизы нормативно-правовых актов, целевых федеральных программ, инвестиционных мероприятий;
- \* государственного регулирования трансграничного перемещения и размещения отходов;
- \* лицензирования деятельности по сбору, транспортировке, обезвреживанию, переработке и размещению отходов;
- \* нормирования уровня воздействия отходов на окружающую природную среду, исходя из установленных в Российской Федерации ПДК опасных для человека, животных и природной среды веществ в воздухе, воде и почве;
- \* размещения отходов в окружающей природной среде;

- \* наложения ограничений на размещение отходов в форме установления лимитов;
- \* взимания платежей за размещение отходов в окружающей природной среде, дифференцируемых в зависимости от класса опасности отходов, экологической ситуации в регионе и других факторов;
- \* экологического страхования;
- \* наложения ограничений или запрета на производственную деятельность предприятий, нарушающих установленные российским законодательством нормы в области обращения с отходами;
- \* привлечения виновных в нарушении экологических норм к административной ответственности, применения штрафных санкций, предъявления исков о возмещении ущерба здоровью человека и окружающей природной среде.

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

Важным нормативно-правовым документом, регламентирующим сложившиеся в России общие требования при обращении с отходами, являются Временные правила охраны окружающей среды от отходов производства и потребления в Российской Федерации. Этот документ имеет определяющее значение для нормативно-правового и методического обеспечения установления лимитов размещения отходов.

Закон "О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения" регламентирует общие санитарные требования к захоронению, переработке, обезвреживанию и утилизации производственных и бытовых отходов.

Закон "Об охране атмосферного воздуха" регламентирует общие требования по охране атмосферного воздуха от воздействия мест складирования отходов.

Закон "О недрах" регламентирует общие требования к обращению с отходами добычи и обогащения полезных ископаемых, а также к использованию недр в целях захоронения отходов.

Кодекс РСФСР об административных правонарушениях устанавливает виды правонарушений при обращении с отходами, в том числе устанавливает ответственность за порчу отходами сельскохозяйственных и других земель, лесов, вод.

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:

Временный классификатор токсичности промышленных отходов,

Методические рекомендации по определению токсичности промышленных отходов,

Предельное количество накопления токсичных промышленных отходов на территории предприятия (организации),

Предельное количество токсичных промышленных отходов, допускаемое для складирования в накопителях (на полигонах) твердых бытовых отходов,

Порядок накопления, транспортировки, обезвреживания и захоронения промышленных отходов (санитарные правила),

Методические указания для органов и учреждений санитарно-эпидемиологической службы по контролю за реализацией мероприятий, направленных на санитарную охрану окружающей среды от загрязнений твердыми и жидкими отходами промышленных предприятий,

Санитарные правила по сбору, хранению, транспортировке и первичной обработке вторичного сырья.

Ниже дается более подробный анализ некоторых аспектов нормативно-правового обеспечения обращения с отходами.

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

В соответствии с требованиями Временных правил обращения с отходами производства и потребления в Российской Федерации хозяйствующие субъекты обязаны вести отдельный сбор образующихся отходов производства и производственного потребления по видам, классам опасности и другим признакам, влияющим на возможность их использования в качестве вторичного сырья или на условия их размещения. Смешивание отходов может быть допущено лишь в отдельных случаях, когда при этом не ухудшаются свойства отходов как вторичного сырья или когда совместное размещение отходов в местах их захоронения допустимо по уровню воздействия на окружающую природную среду.

Требования к таре и упаковке, предназначенным для сбора и временного хранения отходов, регламентируются разработанным совместно Минздравом СССР, Минводхозом СССР и Мингео СССР в 1985 г. документом, который называется "Предельное количество накопления токсичных промышленных отходов на территории предприятия (организации)". В соответствии с требованиями этого документа:

вещества 1-го класса опасности должны храниться в герметизированной таре (контейнерах, бочках, баллонах и пр.);  
вещества 2-го класса опасности должны храниться в закрытой таре (закрытых ящиках, пластиковых пакетах, мешках и пр.);  
вещества 3-го класса опасности должны храниться в бумажных мешках и пакетах, хлопчатобумажных тканевых мешках и т.п.;  
вещества 4-го класса опасности могут храниться открыто (навалом, насыпью и пр.).

При наличии в составе отходов веществ разного класса опасности предельное количество накопления, время и способ хранения (в том числе применяемые тара или упаковка) должны определяться наиболее опасными веществами.

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.

В случае необходимости временного размещения отходов в необустроенных местах или с применением элементарных природозащитных мер (обваловки, устройства дренажных канавок, ограждений и т.п.) хозяйствующие субъекты должны составить экономическое обоснование с оценкой ущерба окружающей природной среде и согласовать его с органами охраны окружающей среды. При его составлении рекомендуется руководствоваться нормативно-правовым документом: "Предельное содержание токсичных соединений в промышленных отходах в накопителях, расположенных на территории предприятий" (Госкомгидромет, 1995 г.).

Хозяйствующие субъекты должны разработать инструкцию по технике безопасности, противопожарной профилактике и производственной санитарии для персонала, занятого сбором, хранением, транспортировкой и реализацией опасных отходов или их удалением на объекты захоронения отходов. Занятый подобными работами персонал должен быть ознакомлен с признаками возможных острых отравлений, способами оказания первой помощи пострадавшим, тушения воспламеняющихся веществ, а также с другими мероприятиями, которые необходимо проводить в случае аварийных или непредвиденных ситуаций.

Отходы, поставляемые на рынок для использования в качестве вторичного сырья, должны удовлетворять требованиям ГОСТов, ОСТов и ТУ, регламентирующих их потребительские свойства.

На отходы, поставляемые на рынок, должен быть составлен паспорт безопасности вещества (материала), содержащий информацию для принятия потребителем мер по обеспечению защиты здоровья людей и охраны окружающей среды на всех стадиях жизненного цикла отходов. Форма и содержание паспорта регламентируются ГОСТ Р 50585-93 "Паспорт безопасности вещества". При заполнении паспорта безопасности на опасные отходы должны быть указаны специальные меры предосторожности, в том числе применение специальной тары и упаковки, методы нейтрализации, обезвреживания или захоронения как самих отходов, так и загрязненной ими тары и упаковки.

## 4.2. Регламентация транспортировки отходов

Регламентация транспортировки вторичного сырья осуществляется в Российской Федерации рядом инструкций, правил, руководств и стандартов, разработанных еще в 80-е годы. Все эти нормативно-методические документы можно разделить на две группы. Одни из них регламентируют общие правила транспортировки отходов и вторичного сырья. К числу таких документов следует отнести Порядок накопления, транспортировки, обезвреживания токсичных промышленных отходов (санитарные правила) (Минздрав СССР, 1985 г.); Санитарные правила по сбору, хранению, транспортировке и первичной обработке вторсырья (Минздрав СССР, 1982 г.); Руководство по транспортированию, приемке и хранению вторичного сырья и продукции с его использованием на складах заготовительных организаций и предприятий вторичных ресурсов Госнаба СССР (Госнаб СССР, 1986 г.). Другая группа нормативно-методических документов регламентирует общие правила транспортировки любых грузов, а следовательно, отходов и вторичного сырья, однако только применительно к конкретному виду транспорта: железнодорожному, автомобильному, речному, морскому, авиационному.

В соответствии с требованиями этих нормативно-методических документов транспортировка отходов и вторичного сырья должна осуществляться способами, исключающими возможность их потери в процессе перевозки, создания аварийных ситуаций, причинения вреда окружающей среде, здоровью людей, хозяйственным и другим объектам. Для этого должны быть использованы специальная тара и упаковка, а также специальный транспорт. Кроме того, должна применяться соответствующая маркировка.

Транспортировка опасных отходов допускается только специально оборудованным транспортом, имеющим специальное оформление согласно действующим правилам для данного вида транспорта и инструкциям, утвержденным руководителем предприятия, осуществляющего транспортировку отходов.

Хозяйствующие субъекты обязаны разрабатывать инструкции, регламентирующие загрузку отходов в транспортное средство, процесс их транспортировки и выгрузки. При транспортировке отходов 1-, 2- и 3-го классов опасности инструкции согласовываются с органами охраны окружающей природной среды, а в случае необходимости – с Госсанэпиднадзором России и иными надзорными органами.

При транспортировке пылящих отходов необходимо предусматривать мероприятия, гарантирующие исключение разноса этих отходов ветром при погрузке-разгрузке и перевозке (например, увлажнение, укрытие плотным материалом, устройство защитных экранов и пр.).

Транспортировать отходы 1-, 2- и 3-го классов опасности следует, как правило, в специальных контейнерах, с использованием приспособлений для дистанционной погрузки-выгрузки отходов.

Стоянка и обслуживание транспортных средств, предназначенных для перевозки опасных отходов, осуществляются в местах, согласованных с органами охраны окружающей среды, в соответствии с утвержденной инструкцией.

Транспортировка опасных отходов допускается только при наличии сертификата отходов и лицензии на их транспортирование. С момента погрузки отходов на транспортное средство и до его выгрузки ответственность за безопасное обращение с ними несет транспортное предприятие, которому принадлежит транспортное средство. Транспортирование опасных отходов подлежит обязательному страхованию.

Транспортные средства, используемые для перевозки вторичного сырья, характеризующегося потенциальной санитарно-эпидемиологической опасностью, должны регулярно подвергаться дезинфекции силами и средствами предприятий, занятых заготовкой вторичного сырья, или другими службами, имеющими дезинфекционные установки.

К потенциально опасным в этом отношении видам вторичного сырья принято относить:

- \* сырье вторичное текстильное (тряпье) необработанное, состоящее из бывших в употреблении тканых, нетканых, вязаных, стеганых, шубных изделий, выработанных из натуральных, химических и смешанных волокон;
- \* макулатуру бумажную и картонную необработанную;

- \* кость животных, собираемую в домашних условиях и на предприятиях общественного питания, в санаторных и лечебных учреждениях;
- \* твердые полимерные материалы (бывшие в употреблении пленочные изделия, тару, трубы, линолеум, рваные сети, изделия ширпотреба и хозяйственного обихода и т.п.).

Недопустимо транспортировать вышеупомянутые виды отходов на пассажирском транспорте или транспорте, предназначенном для перевозки пищевых или сельскохозяйственных отходов.

### 4.3. Требования к трансграничным перемещениям опасных отходов

Трансграничные (транзитные) перевозки опасных отходов регламентируются федеральным законом "О ратификации Базельской конвенции о контроле за трансграничной перевозкой опасных отходов и их удалением" № 49-ФЗ от 25.11.94 и постановлением Правительства Российской Федерации "О государственном регулировании и контроле трансграничных перевозок опасных отходов" № 766 от 01.07.96.

Экспорт отходов, на которые распространяются эти документы, может осуществляться при соблюдении следующих условий:

- \* организации Российской Федерации не располагают техническими возможностями и необходимыми объектами или мощностями по использованию или захоронению отходов экологически безопасным и эффективным способом;
- \* отходы требуются в качестве сырья для использования в государстве-импортере;
- \* имеется контракт экспортера и импортера, отвечающего за использование или захоронение отходов, в котором указаны способы экологически безопасного обращения с соответствующими отходами;
- \* экспорт осуществляется в соответствии с межгосударственными двусторонними, многосторонними или региональными соглашениями и договорами о трансграничных перевозках отходов.

Импорт отходов может осуществляться при соблюдении следующих условий:

- \* соответствующие отходы требуются в качестве сырья для использования в Российской Федерации;
- \* имеется контракт экспортера и организации Российской Федерации, отвечающей за использование отходов, в котором указаны способы экологически безопасного обращения с соответствующими отходами и сроки завершения их использования;



- \* государство-экспортер является стороной Базельской конвенции или участником межгосударственных двусторонних, многосторонних или региональных соглашений и договоров с Российской Федерацией о трансграничных перевозках отходов.

Кроме того, экспорт-импорт опасных отходов регламентирует Порядок выдачи и аннулирования разрешений на трансграничные (транзитные) перевозки опасных отходов, утвержденный приказом Госкомэкологии России № 788 от 31.12.98.

Для осуществления трансграничных перевозок опасных отходов необходимы лицензия Минторга России на экспорт и импорт отходов, разрешение на трансграничную (транзитную) перевозку опасных отходов, выданные компетентным органом Российской Федерации, и иные документы, необходимые для осуществления государственного контроля за экспортом-импортом отходов. Трансграничные перевозки отходов должны быть обеспечены финансовыми и страховыми гарантиями, а также иными обязательствами производителя.

Импорт отходов с целью их захоронения или сжигания на территории Российской Федерации запрещается. В случаях незаконного импорта и транзита отходов предприятие обеспечивает возвращение отходов в экспортирующее государство либо их экологически безопасное использование за свой счет и выплачивает в установленном законодательством Российской Федерации порядке соответствующую сумму, определяемую компетентным органом в целях компенсации ущерба, нанесенного окружающей природной среде при использовании импортируемых отходов.

#### 4.4. Порядок установления лимитов на размещение отходов

В соответствии с федеральным законом "Об отходах производства и потребления" под лимитом на размещение отходов понимается предельно допустимое количество отходов конкретного вида, которые разрешается размещать определенным способом на установленный срок на объектах размещения отходов с учетом экологической обстановки на данной территории.

Из этого следует, что лимиты в каждом конкретном случае зависят от весьма значительного количества факторов, в частности от вида отходов, характеристики мест размещения отходов, способов их размещения, экологической ситуации в регионе и других факторов. Определяющим критерием при этом следует считать обеспечение экологической безопасности.

В предельном случае возможны два принципиально различных способа размещения отходов: в герметичной таре и на специально

оборудованном объекте, когда практически полностью исключается воздействие на окружающую природную среду, или на открытом рельефе местности, когда отходы могут непосредственно воздействовать на атмосферу, почву, грунтовые и поверхностные воды.

В первом случае предельно допустимое количество размещения отходов (ПДКРО) будет регламентироваться емкостью (или площадью, мощностью) объекта размещения отходов. Во втором – ПДКРО должно определяться исходя из действующих ПДК содержания вредных веществ в воздухе, почве и воде, а также исходя из других требований, предъявляемых к местам размещения отходов с целью обеспечения противопожарной и экологической безопасности, предотвращения возникновения чрезвычайных ситуаций. Все остальные возможные способы размещения отходов занимают среди них промежуточное положение.

Основным нормативным документом, регламентирующим порядок установления лимитов размещения отходов является Порядок разработки и утверждения нормативов выбросов и сбросов загрязняющих веществ в окружающую природную среду, лимитов использования природных ресурсов, размещения отходов, утвержденный постановлением Правительства Российской Федерации от 03.08.92 № 545. В соответствии с этим документом лимиты размещения отходов устанавливают место их размещения, предельные размеры выделяемой площади (объемов для складирования), способы и условия хранения отходов и другие показатели, связанные с предотвращением или ограничением отрицательного влияния на состояние окружающей среды и условия жизни населения. Лимиты устанавливаются конкретным предприятиям Госкомэкологией России и другими специально уполномоченными органами в области охраны окружающей природной среды в соответствии с их компетенцией.

При установлении лимитов должны учитываться передовые достижения науки и техники в области рационального и комплексного использования сырья и охраны окружающей природной среды, технико-экономические возможности предприятий, учреждений и организаций, природно-климатические особенности территорий. Проекты лимитов и экологических нормативов по выбросам и сбросам загрязняющих веществ в окружающую природную среду разрабатываются предприятиями с учетом предложений органов местного самоуправления и научных организаций.

В соответствии с федеральным законом "Об отходах производства и потребления" проекты лимитов на размещение отходов разрабатываются предприятиями с учетом норм предельнодопустимых воздействий на окружающую среду, а устанавливаются уполномоченными федеральными органами исполнительной власти в области обращения с отходами.

Наряду с этим во многих субъектах Российской Федерации разработаны региональные нормативно-правовые документы на основе Временных правил обращения с отходами производства и потребления в Российской Федерации, введенных в действие в 1994 г. Сложившийся в большинстве регионов порядок установления лимитов размещения отходов сводится к подготовке предприятиями хозяйственной сферы материалов по инвентаризации отходов и мест их временного размещения в виде проекта лимитов размещения отходов; согласованию этих материалов со специально уполномоченными органами в области охраны окружающей среды; получению разрешения на размещение в пределах лимитов того количества отходов, которое фактически планируется разместить в местах их захоронения или временного хранения. В случае выявления нарушений или отсутствия необходимых документов природоохранные органы зачисляют соответствующие объемы отходов в категорию сверхлимитных с последующей индексацией размеров платежей за размещение отходов от 5 до 25 раз.

Сроки, на которые устанавливаются лимиты, варьируются на практике в пределах 1 - 3 лет. Однако в случаях установления лимитов на срок более одного года требуется ежегодное их подтверждение с предоставлением соответствующих материалов, а также отчетов о выполнении планов мероприятий по снижению уровня образования отходов и их воздействия на окружающую природную среду.

Объектами лимитирования являются объемы неиспользуемых и неуничтожаемых отходов, подлежащих размещению в окружающей природной среде путем захоронения или складирования для хранения в расчете на определенное (временное хранение) или неопределенное время в разрешенных органами охраны окружающей природной среды местах. При этом под неиспользуемыми отходами понимаются твердые, пастообразные и жидкие отходы производства и потребления (за исключением радиоактивных отходов, отходов драгоценных металлов и других отходов, обращение с которыми регламентируется специальными нормативными документами), образующиеся в процессе хозяйственной и бытовой деятельности и не находящие применения в качестве вторичного сырья.

К специально оборудованным местам и объектам размещения отходов относятся:

- \* места предварительного сбора отходов производства (внутрицеховые, внутрипроизводственные), представляющие собой площадки, оснащенные контейнерами, ящиками, бочками, мешками и другими небольшими емкостями для предварительного сбора отходов и производственного мусора;

- \* специально оборудованные объекты накопления и временного хранения отходов, предназначенные для накопления и содержания отходов в течение определенного времени с целью последующего их вывоза для переработки, сбыта в качестве вторичного сырья, захоронения (специально оборудованные открытые и оснащенные навесами площадки, склады и ангары, накопители жидких отходов котлованного вида типа шламохранилищ, прудов-отстойников, прудов-испарителей, наземные резервуары и емкости, участки открытого рельефа местности, обустроенные для обеспечения соблюдения экологических требований обваловками, дренажными канавками, ограждениями и другими элементарными средствами защиты окружающей природной среды от воздействия отходов);
- \* специально обустроенные места для складирования на неопределенный срок твердых крупномасштабных отходов добычи и физико-химической переработки сырья (отходов добычи и обогащения полезных ископаемых, металлургического производства, производства минеральных удобрений, зол и шлаков ТЭС);
- \* полигоны и свалки токсичных промышленных отходов;
- \* полигоны и свалки ТБО.

Установление лимитов не исключает возможности согласованного с органами охраны природы сверхлимитного размещения отходов, однако на условиях более высоких нормативов платы, устанавливаемых соответствующими нормативными документами с помощью повышающих коэффициентов.

Примерная форма и методические рекомендации по оформлению проектов лимитов размещения отходов изложены в Методических рекомендациях по оформлению проектов нормативов образования и лимитов размещения отходов, утвержденных Госкомэкологией России 29 апреля 1999 г.

В соответствии с этими рекомендациями проект лимитов размещения отходов должен содержать: титульный лист; сведения об исполнителях; аннотацию; оглавление; введение; общие сведения о предприятии; характеристику производственных процессов предприятия как источника образования отходов; сведения об арендаторах; расчет и обоснование объемов образования отходов; определение класса опасности отходов; характеристику отходов, образующихся в структурных подразделениях предприятия, и мест их хранения; обоснование объемов временного накопления отходов на территории предприятия и периодичности их вывоза; характеристику объектов размещения отходов; перечень, характеристику и массу отходов производства и потребления в целом по предприятию; оценку воздействия отходов на окружающую среду; сведения о возможной аварийной ситуации; контроль за безопасным обра-

щением отходов на территории предприятия; мероприятия, направленные на снижение влияния образующихся отходов на состояние окружающей среды; предложения по лимитам размещения отходов.

Для информационного обеспечения подготовки такого документа в Методических рекомендациях предлагается заполнить соответствующие таблицы, являющиеся основанием для подготовки лимитов.

Объем представляемых материалов и заполненных таблиц рекомендуется дифференцировать в зависимости от категории предприятий. Чем меньше предприятие, тем меньше может быть количество представленных форм, таблиц и документов при условии отсутствия у него отходов 1- и 2-го классов опасности, образующихся в собственном производстве.

Таким образом, сложившаяся к настоящему времени система установления лимитов является неотъемлемой составной частью разрешительной системы на размещение отходов в окружающей природной среде. Ее цель – осуществление учета и экологического контроля, наложения ограничений на размещение отходов и нормативное обеспечение расчета платежей в экологические фонды за такое размещение.

#### **4.5. Нормирование образования отходов**

В соответствии с федеральным законом "Об отходах производства и потребления" под нормативом образования отходов понимается установленное количество отходов конкретного вида при производстве единицы продукции. Это количество отходов, как правило, регламентируется каким-либо нормативно-техническим документом – ГОСТом, ОСТом, ТУ и др. В практической деятельности наибольшее распространение этого показателя нашло в технических условиях или в технологических регламентах. При изменении качества сырья нормативы образования отходов могут измениться, а при изменении технологии может измениться и вид образующихся отходов.

Основные требования к нормированию образования отходов, регламентируемые федеральным Законом "Об отходах производства и потребления", сводятся к следующему.

Нормативы образования отходов устанавливаются юридическим лицам и индивидуальным предпринимателям, осуществляющим деятельность в области обращения с отходами, в целях обеспечения охраны окружающей природной среды и здоровья человека, уменьшения количества образования отходов.

При нарушении нормативов образования отходов деятельность индивидуальных предпринимателей и юридических лиц в области обращения с отходами может быть ограничена, приостановлена

или прекращена в соответствии с законодательством Российской Федерации.

Порядок установления нормативов образования отходов на федеральном уровне в настоящее время ничем не регламентируется. Вместе с тем в сложившейся практике осуществления экологического контроля и установления лимитов размещения отходов экспертизе этого показателя уделяется большое внимание. В особой мере это относится к образованию на предприятиях опасных отходов потребления, использованной тары и упаковки, а также к накоплению ТБО.

Проведение этой работы осуществляется прежде всего с позиций выявления случаев несанкционированного выброса таких отходов в окружающую природную среду или их удаления в составе ТБО. В качестве условных нормативов для осуществления этой работы используются удельные показатели образования отходов производства и рекомендуемые нормативы сбора отходов потребления, предназначенных для последующего удаления на захоронение или для использования в качестве вторичного сырья. Такие данные отражены, в частности, в Сборнике удельных показателей образования отходов производства и потребления, утвержденном Госкомэкологией России в 1999 г. и рекомендованном для использования в качестве справочного руководства при осуществлении государственного экологического контроля, нормировании образования отходов и установлении лимитов их размещения.

#### 4.6. Платежи за размещение отходов

Основной мерой экологического регулирования в области обращения с отходами в России являются платежи за размещение неиспользуемых отходов. Размеры платежей определяются классом опасности отходов, экологической ситуацией в каждом регионе, расположением мест размещения отходов внутри трехкилометровой зоны от границ населенных пунктов или за ее пределами, степенью принятых природоохранных мер в части предотвращения или снижения воздействия отходов на окружающую среду, расположением объектов размещения отходов на территории предприятия или вне его (при размещении отходов на собственной территории предприятий платежи устанавливаются в размере 30% от базовых).

Базовые нормативы платы за размещение отходов 1 – 4-го классов опасности установлены в 1992 г. в следующих размерах, руб/т:

|           |             |           |             |
|-----------|-------------|-----------|-------------|
| 1-й класс | . . . 14000 | 3-й класс | . . . 4 000 |
| 2-й класс | . . . 6000  | 4-й класс | . . . 2000  |

Для нетоксичных отходов добывающей промышленности плата составляет 2,5 руб/т; для нетоксичных отходов перерабатывающей промышленности 115 руб/м<sup>3</sup>.

Индексация базовых нормативов платежей за размещение отходов в результате инфляции осуществляется ежегодно специальными постановлениями Правительства Российской Федерации в виде установления предельных повышающих коэффициентов. В 1999 г. такой коэффициент составлял, в частности, 62. Органы административного управления субъектов Российской Федерации на основании таких постановлений устанавливают свои повышающие коэффициенты. Однако они не должны быть больше, чем установлено Правительством Российской Федерации.

При сверхлимитном размещении отходов размеры платежей увеличиваются в пять раз. При несанкционированном размещении все отходы классифицируются как сверхлимитные и, кроме того, к ним дополнительно применяется повышающий пятикратный коэффициент.

Платежи за размещение отходов в пределах установленных лимитов засчитываются в себестоимость продукции; платежи за сверхлимитное и несанкционированное размещение отходов должны выплачиваться за счет прибыли.

Для предприятий, осуществляющих природоохранные мероприятия, размеры платежей могут быть снижены в пределах понесенных ими затрат на эти цели.

Принципиальное значение имеет то обстоятельство, что эффективность платежей за размещение отходов в качестве меры экономического регулирования заметно снизилась в последние годы, что обусловлено отставанием темпов индексации размеров платежей в сравнении с темпами инфляции. В расчете на 1999 г. такое отставание было шестикратным.

Еще одна мера экономического регулирования обращения с отходами действует в Российской Федерации в форме освобождения от налога земель полигонов для захоронения не утилизируемых промышленных отходов, полигонов бытовых отходов и мусороперерабатывающих предприятий.

Действует также система предъявления исков о возмещении ущерба от воздействия отходов на окружающую среду, а также наложение штрафов за нарушения экологических норм в области обращения с отходами.

Среди других мер экономического регулирования применяются ссуды и льготные кредиты за счет средств федерального и других экологических фондов, однако их масштабы пока незначительны.

## 4.7. Государственная экологическая экспертиза

Государственная экологическая экспертиза регламентируется федеральным законом "Об экологической экспертизе" от 23.11.95 № 174-ФЗ, а также Положением о порядке проведения государственной экологической экспертизы, утвержденным постановлением Правительства Российской Федерации 11.06.96 № 698.

В соответствии с законодательством установлены государственная и общественная экспертизы.

Объектами государственной экологической экспертизы являются:

- \* проекты правовых актов Российской Федерации нормативного и ненормативного характера, реализация которых может повлиять на состояние окружающей природной среды;
- \* утверждаемые органами государственной власти Российской Федерации нормативно-технические и инструктивно-методические документы, регламентирующие хозяйственную и иную деятельность, которая может оказывать воздействие на окружающую природную среду;
- \* проекты комплексных и целевых федеральных социально-экономических, научно-технических и иных федеральных программ, при реализации которых может быть оказано воздействие на окружающую природную среду;
- \* проекты генеральных планов развития территорий свободных экономических зон и территорий с особым режимом природопользования и ведения хозяйственной деятельности;
- \* проекты схем развития отраслей народного хозяйства Российской Федерации, в том числе промышленности;
- \* проекты генеральных схем расселения, природопользования и территориальной организации производительных сил Российской Федерации;
- \* проекты схем расселения, природопользования и территориальной организации производительных сил крупных регионов и национально-государственных объединений;
- \* проекты федеральных инвестиционных программ и межгосударственных инвестиционных программ, в которых участвует Российская Федерация;
- \* проекты комплексных схем охраны природы Российской Федерации;
- \* материалы обоснования лицензий на осуществление деятельности, способной оказать воздействие на окружающую природную среду, выдача которых относится в соответствии с законодательством Российской Федерации к компетенции федеральных органов исполнительной власти.



#### 4.8. Лицензирование деятельности по обращению с отходами

Лицензирование деятельности в области обращения с отходами регламентируется законом Российской Федерации "О лицензировании отдельных видов деятельности", постановлением Правительства Российской Федерации от 26.02.96 № 168 "Об утверждении положения о лицензировании отдельных видов деятельности в области охраны окружающей природной среды", приказом Министерства охраны окружающей среды и природных ресурсов Российской Федерации от 18.06.96 № 282 "О порядке проведения работ по лицензированию отдельных видов деятельности в области охраны окружающей среды". В соответствии с этими нормативно-правовыми документами лицензированию подлежат следующие виды деятельности в области обращения с отходами:

- \* утилизация, складирование, перемещение, размещение, захоронение, уничтожение промышленных и иных отходов (кроме радиоактивных);
- \* заготовка, переработка и реализация лома цветных и черных металлов;
- \* нормирование размещения отходов;
- \* разработка технических (удельных) нормативов размещения отходов;
- \* экологическая паспортизация оборудования, производств, предприятий, производственных и природных объектов, территорий;
- \* проведение экологической сертификации производств, технологических процессов, оборудования, продукции, отходов производства и потребления;
- \* проведение работ по оценке воздействия на окружающую среду проектируемых и действующих предприятий, в том числе разработка раздела "Охрана окружающей среды" в составе предпроектной и проектной документации.

Исходя из изложенного, могут быть сформулированы следующие общие требования, регламентирующие основные правила обращения с отходами в Российской Федерации.

- Предприятия обязаны принимать меры к сокращению образования отходов путем внедрения малоотходных технологий и схем комплексного использования сырья.

- Отходы должны рассматриваться прежде всего как вторичное сырье, и потому предприятия должны принимать меры к их полезному использованию в хозяйственных целях.

- Размещение отходов для захоронения или временного хранения должно осуществляться в специально оборудованных местах с разрешения природоохранных органов и в пределах установленных лимитов.

- Недопустимо размещение опасных отходов в местах, расположенных в лесопарковых, курортных, лечебно-оздоровительных, рекреационных зонах, зонах санитарной охраны источников питьевого водоснабжения.

- По природоохранным и санитарно-гигиеническим соображениям, а также для обеспечения сохранения качества отходов как вторичного сырья предприятия обязаны обеспечивать отдельный сбор отходов по их видам, классам опасности и другим признакам.

- Предприятия обязаны вести учет наличия, образования, поставок, использования и размещения отходов собственного производства и завозимых со стороны и систематически информировать об этом в установленном порядке органы государственной статистики и охраны окружающей среды. Учет отходов должен осуществляться с указанием их класса опасности, ответственность за определение которого возлагается на предприятия, где они образуются.

- Предприятия обязаны иметь экологический паспорт, в котором должны быть отражены все виды образующихся отходов, объемы их образования и использования, их экологические и потребительские свойства.

- На все виды опасных отходов должен быть заполнен паспорт безопасности, содержащий информацию для обеспечения защиты здоровья людей и охраны окружающей среды на всех стадиях жизненного цикла отходов. В нем должна быть указана необходимость применения специальной тары и упаковки, методы нейтрализации, обезвреживания или захоронения как самих отходов, так и загрязненной ими тары и упаковки.

- Опасные отходы, образующиеся на предприятиях, должны быть зарегистрированы в Госкомэкологии России и иметь свой код в соответствии с Федеральным классификационным каталогом отходов.

- Для сбора, транспортировки, обезвреживания и переработки отходов (в коммерческих целях), а также для выполнения других технологических операций с отходами необходимо получение лицензии; при этом рекомендуется проведение предварительной экспертизы.

- Трансграничные перевозки опасных отходов регулируются природоохранными органами и осуществляются с их разрешения.

- Предприятия обязаны возмещать общественно необходимые затраты на создание мест захоронения неиспользуемых отходов и ущерб, наносимый окружающей природной среде захоронением отходов, путем внесения платы за размещение отходов.

Следует признать, что механизм соблюдения этих требований не всегда обеспечен соответствующими нормативно-правовыми и инструктивно-методическими документами. Улучшение управления отходами в стране требует дальнейшего совершенствования нормативно-правовой базы в этой области.

# Глава 5. ТРАНСПОРТИРОВАНИЕ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОТХОДОВ

Промышленная переработка отходов предполагает наличие регламентированной системы сбора и доставки отходов к месту переработки, которая включает следующие технологические операции<sup>1</sup>:  
накопление отходов в контейнерах (цистернах);  
транспортирование контейнеров с отходами;  
разгрузку контейнеров;  
очистку контейнеров;  
доставку чистых контейнеров к месту образования отходов.

Для транспортирования промышленных отходов используют трубопроводный, конвейерный, канатно-подвесной, автомобильный, электрический, железнодорожный и водный транспорт.

Расходы на транспортирование отходов составляют значительную часть их стоимости, поэтому важнейшим фактором, определяющим выбор типа транспорта для перемещения отходов, является экономический.

На выбор типа и грузоподъемности транспортных средств для перевозки отходов влияет маршрут транспортировки и удаленность пункта сбора от места образования отходов.

В ряде случаев отходы транспортируются к месту их переработки не сразу, а через промежуточные станции, где происходят их накопление и первичная обработка.

Цель промежуточных станций – снизить транспортные расходы на перевозку отходов, так как на них осуществляются сортировка, уплотнение и брикетирование отходов.

## 5.1. Трубопроводный транспорт для перемещения отходов

На крупных промышленных предприятиях довольно часто отходы перемещаются с помощью трубопроводного транспорта.

Транспортирование жидких, газообразных или твердых материалов по трубопроводам отличается следующими преимуществами:

- \* отсутствием потерь при транспортировке отходов;
- \* отсутствием выделения токсичных веществ;

---

<sup>1</sup> Здесь не рассматриваются проблемы контроля за транспортировкой отходов, которая носит не технический, а скорее социально-экономический характер. Тем не менее эта проблема стоит достаточно остро перед региональными органами власти, так как вследствие недостаточной экологической культуры и безответственности очень часто транспортники, стремясь снизить себестоимость перевозок, сбрасывают отходы вне полигонов или мест их утилизации, нанося тем самым колоссальный ущерб окружающей среде. На наш взгляд, совершенно необходимо жесткое регулирование транспортировки отходов путем лицензирования и контроля фирм, занятых этой деятельностью.

- \* низкими капитальными затратами;
- \* низкими эксплуатационными затратами;
- \* возможностью пространственного размещения транспортных сетей;
- \* возможностью автоматизации процесса транспортировки отходов.

Трубопроводный транспорт за пределами предприятий для транспортирования твердых отходов применяется редко, так как неконкурентен с другими видами транспорта. Перемещение различных сыпучих материалов и твердых тел по трубопроводам осуществляется потоками жидкости или газа за счет передачи им энергии несущей среды. В качестве жидкой несущей среды, как правило, используют воду, а в качестве газообразной – воздух. Более 30% общего количества перемещаемых на предприятиях сыпучих материалов транспортируется таким способом; при этом обеспечивается непрерывная подача материалов на значительные расстояния по сложной пространственной схеме. Трудоемкие вспомогательные процессы при таком перемещении отходов механизированы. Часто транспортирование экономически целесообразно сочетать с технологическими операциями (затвердеванием, грануляцией, выщелачиванием, увлажнением, сушкой, сорбцией и др.).

Установки гидротранспорта состоят из следующих систем: устройства для ввода в транспортирующий поток сыпучих материалов или твердых тел, трубопровода с арматурой или желоба, устройства для отделения твердых частиц от несущей среды. Основные элементы этих систем (а также систем наружной канализации) – асбестоцементные, бетонные, железобетонные, пластмассовые, чугунные, стальные, стеклянные или керамические трубы и каналы. Материал для изготовления труб выбирают исходя из свойств транспортируемой среды и условий ее перемещения с учетом специфики укладки трубопровода (например, в грунте). При выборе элементов трубопроводного транспорта особое внимание уделяют гидравлическому сопротивлению трубопровода при заданной пропускной способности. Выбор толщины стенки канализационных труб определяется прочностью конструкционных материалов.

Формы сечений труб и каналов (особенно для сетей наружной канализации сточных вод и транспортирования газов) весьма разнообразны, что обусловлено содержанием взвешенных веществ в газовом или жидкостном потоке, а также видом конструкционного материала, способами термоизоляции и защиты от коррозии. Основные детали (прямые участки, отводы, тройники, крестовины и др.) газопроводов, вентиляционных систем, а также запорные устройства к ним нормализованы. Способы соединения труб зависят от материалов, из которых они изготовлены. Соединения стальных труб могут быть сварными, фланцевыми, клеевыми и резьбовыми; они могут быть фасонными – в виде колен, отводов, угольников,

тройников, крестов. Тонкостенные металлические вентиляционные трубы могут иметь фальцевые соединения.

При выборе трубопроводной арматуры руководствуются условным давлением  $P_y$  и условным диаметром  $D_y$  (номинальный диаметр отверстий для прохода среды). Любые детали трубопроводов и арматуры с одним и тем же условным диаметром  $D_y$  при одном и том же значении  $P_y$  имеют одинаковые присоединительные размеры.

Для регулирования расхода жидких и газовых сред используют различные виды запорной арматуры: краны, вентили и задвижки. Краны применяют для жидкостей со взвешенными веществами и кристаллами. Они быстро открываются и закрываются, но мало пригодны для регулирования объема подачи отходов. Вентили непригодны для загрязненных жидкостей, но их целесообразно использовать для регулирования расхода потока. Задвижки устанавливают на трубопроводах больших диаметров, их гидравлическое сопротивление невелико, ими также удобно регулировать поток. Однако задвижки дороги, имеют большую высоту и мало пригодны для транспортирования жидкостей со взвешенными частицами. Вместо задвижек для регулирования перемещения сточных вод, содержащих твердые частицы, следует применять поворотные дисковые затворы с уплотнением резиновым кольцом. Установки гидротранспорта делятся на самотечные (безнапорные), с естественным напором и с искусственно создаваемым напором. Основными транспортирующими машинами являются насосы, компрессоры, газодувки (вентиляторы).

На установках гидротранспорта материалы перемещаются по желобам или трубам. В первом случае движение пульпы (смеси дисперсных материалов с водой) происходит самотеком по наклонному желобу; движение пульпы в трубах также может происходить самотеком или под напором, создаваемым насосом. Основным механическим оборудованием гидротранспортных установок являются загрузочные устройства и насосы. Для загрузки отходов в транспортирующий водный поток используются камерные и бескамерные питатели. Первые работают периодически, и для обеспечения непрерывности потока устанавливают два камерных питателя. Бескамерные питатели осуществляют непрерывную подачу материала в поток, но расходуют больше энергии и имеют меньшую долговечность.

Для перемещения пульпы используют главным образом центробежные насосы; неабразивные мелкодисперсные грузы можно транспортировать с помощью поршневых насосов, способных создавать более высокие давления пульпы. Однако повышенный износ и пульсирующее давление, которое они создают, делают их использование неэффективным. Важными особенностями насосов для гидротранспорта пульпы являются их способность перемещать крупные куски материалов (до 100 мм) и большая износостойкость де-

талей (для их изготовления применяют специальные материалы и технологии).

Для транспортирования сточных вод к очистным сооружениям, если они не поступают самотеком, используют центробежные насосы марок Ф, ФВ, ФГ, НФ, НФВ (Н – насос, Ф – фекальный, В – вертикальный, Г – горизонтальный). В системах гидротранспорта применяют также насосы марок НП, КНП, КНШ, Гр, Р и др. (П – песковый, К – кислотный, Ш – шламовый, Гр – грунтовый, Р – условное обозначение землесосов).

Наибольший расход и давление пульпы обеспечивают грунтовые насосы: расход может достигать  $7000 \text{ м}^3/\text{ч}$ , а давление  $0,71 \text{ МПа}$ . Для создания более высокого давления с помощью центробежных насосов используют двухступенчатые установки.

По назначению различают мобильные и стационарные установки. Длина стационарных установок с магистральным трубопроводом иногда достигает нескольких десятков километров (обычно же не более  $2 - 2,5 \text{ км}$ ).

На рис. 5.1 представлена общая схема гидротранспорта.

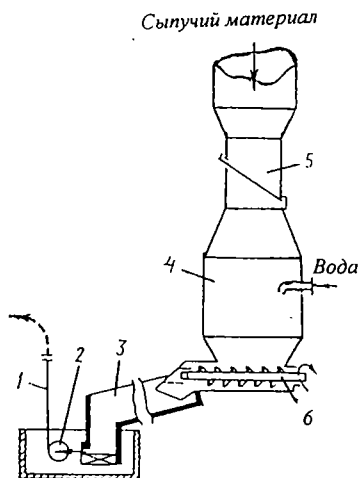


Рис. 5.1. Схема гидравлического удаления сыпучих твердых отходов:

1 – магистральный трубопровод для транспортирования; 2 – центробежный насос; 3 – открытый желоб; 4 – камерное загрузочное устройство; 5 – листовая задвижка; 6 – шнек-питатель

С помощью гидротранспорта отходы часто "намывают" на открытые отвалы, склады, пруды. Иногда на выгрузке устанавливают отстойное оборудование для разделения гидросмеси. Воду после разделения гидросмеси используют в замкнутом цикле.

Пневмотранспорт грузов по трубопроводу осуществляется за счет разности давлений, создаваемой нагнетательными или вакуумными насосами. В установках всасывающего типа (рис. 5.2) грузы перемещаются в среде разреженного воздуха, а разрежение создается вакуум-насосом и вентилятором. В нагнетательных системах (рис. 5.3) перемещение груза происходит в среде сжатого воздуха; для создания перепада давлений в них используют компрессоры, воздуходувки, вентиляторы.

Для перемещения крупных кусков грузов на большие расстояния используются нагнетательные установки, а всасывающие системы предназначены для транспортировки мелкодисперсных легкосыпу-

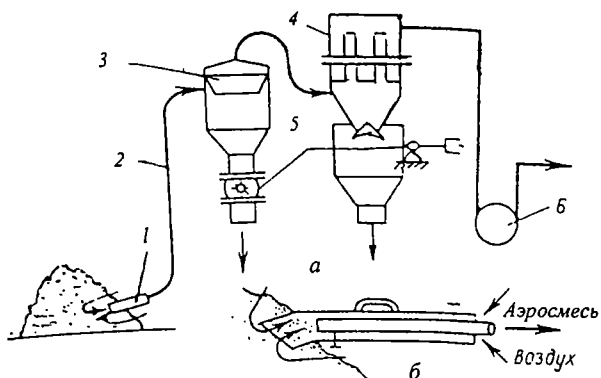


Рис. 5.2. Схема всасывающей пневматической установки (а) и устройство всасывающего переносного сопла (б):

1 — сопло; 2 — трубопровод аэросмеси; 3 — загрузочный бункер; 4 — воздухоочистительное устройство; 5 — затворы; 6 — вакуум-насос

чих грузов. Производительность пневмотранспорта может достигать 100 т/ч и более, а расстояние, на которое перемещается груз с помощью пневмотранспорта, 2 км и более.

Основное оборудование систем пневмотранспорта включает трубопроводы, арматуру, воздуходувные машины, питатели, всасывающие насадки и сопла, отделители груза от несущей среды, фильтры. Для создания давления воздуха используют центробежные и поршневые машины.

Возهوудувные машины характеризуются степенью сжатия воздуха, расходом воздуха, мощностью, аэродинамической характеристикой. К ним относятся вентиляторы и турбокомпрессоры. Вентиляторы имеют одну ступень сжатия воздуха и развивают давление до 10 кПа, турбокомпрессоры создают давление от 10 до 300 кПа за счет многоступенчатого сжатия воздуха. Для создания небольшого избыточного давления или вакуума обычно применяют водокольцевые вакуум-насосы.

Недостатки гидро- и пневмотранспорта: значительный расход энергии, а также воды, воздуха; появление в ряде случаев вредных примесей в сточной воде и воздухе, выбрасываемом в атмосферу; абразивный и коррозионный износ труб, насосов, вентиляторов, гидроэлеваторов при транспортировке грузов. Затраты энергии при использовании пневмотранспорта в 10 – 15 раз превышают затраты на механическое транспортирование. Удельный расход воды для гидротранспортирования золы составляет  $8 \text{ м}^3/\text{т}$ , пиритного огарка  $7 \text{ м}^3/\text{т}$ , шлама содовых заводов  $8 \text{ м}^3/\text{т}$ . Например, на схеме, показанной на рис. 5.3, одной массовой единицей воздуха транспорти-

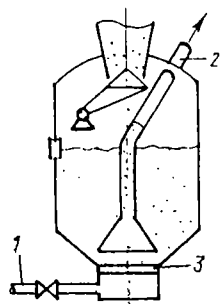


Рис. 5.3. Питатель с аэрированием сыпучего материала для нагнетательной установки пневмотранспорта:

1 — линия подачи сжатого воздуха; 2 — транспортный трубопровод аэросмеси в систему разгрузки и очистки воздуха; 3 — пористая перегородка

руется 11,0 – 24,5 массовых единиц пиритного огарка, 20 – костной муки, 12 – угольной пыли и т.д.

Полный расчет гидро- и пневмотранспорта достаточно сложен, основан, как правило, на эмпирических формулах. На практике используют простые методы приближенного расчета с использованием имеющихся в специальной литературе справочных данных.

## 5.2. Подъемно-транспортное оборудование для перемещения твердых промышленных отходов

Современное промышленное производство немыслимо без использования подъемно-транспортных машин, которые позволяют его механизировать и автоматизировать. Подъемно-транспортные машины объединяют две большие группы машин периодического и непрерывного действия. В периодическом режиме работают некоторые грузоподъемные машины, наполный внутрицеховой транспорт и др. В непрерывном цикле работают различные конвейеры, основным звеном которых являются грузонесущие элементы разной конструкции.

К грузоподъемным машинам, работающим в периодическом режиме, относятся мостовые, подвесные, козловые краны, перегрузочные мосты, кабель-краны, мобильные краны на гусеничном, колесном, железнодорожном ходу.

Производительность грузоподъемной машины (т/ч) – это количество груза, которое может быть переработано за единицу времени при непрерывной работе и наиболее эффективном ее использовании. Для машин периодического действия (кранов, автопогрузчиков, вагоноопрокидывателей) ее определяют по формуле:

$$Q = 3600 q_{ц} / t_{ц}, \quad (5.1)$$

где  $q_{ц}$  – средняя масса груза, перемещаемого за 1 цикл, т;  $t_{ц}$  – продолжительность одного цикла работы, с.

Важнейшим элементом грузоподъемных машин периодического действия является грейферный механизм, играющий роль грузо-захватного устройства, позволяющего механизировать операции погрузки-разгрузки материалов. Такие захватные устройства широко используются при переработке отходов, в частности при загрузке отходов в печь, погрузке шлаков, шламов и других сыпучих, кусковых, пастообразных отходов.

Грейфер представляет собой многоэлементную систему, одна часть которой взаимодействует с транспортируемым грузом, а другие элементы передают усилия, необходимые для захвата и перемещения груза. Работа грейферного механизма может быть условно разделена на четыре стадии: зачерпывание груза, подъем грейфера с грузом, раскрытие челюстей и разгрузка грейфера, опускание пустого грейфера за новой порцией груза.



Существует большая номенклатура грейферных механизмов, которые подразделяются на канатные и приводные. Канатные грейферы могут быть одно-, двух- и четырехканатными. У приводных грейферов ведущие звенья механизма расположены на самом грейфере, они могут приводиться в действие с помощью электромотора, гидро-, пневмо- и электропривода. Работа некоторых видов грейферов интенсифицируется с помощью вибраторов.

Наиболее простым является одноканатный грейфер. Работа такого механизма осуществляется с помощью одного каната. Для повышения грузоподъемности при работе с сыпучими материалами одноканатный грейфер снабжается полиспастом. При использовании одноканатного грейфера необходимо учитывать высоту подъема отходов, грузоподъемность механизма, необходимую высоту разгрузки грейфера и другие факторы. На рис. 5.4 показано устройство одноканатного грейфера с гидравлическим демпфером.

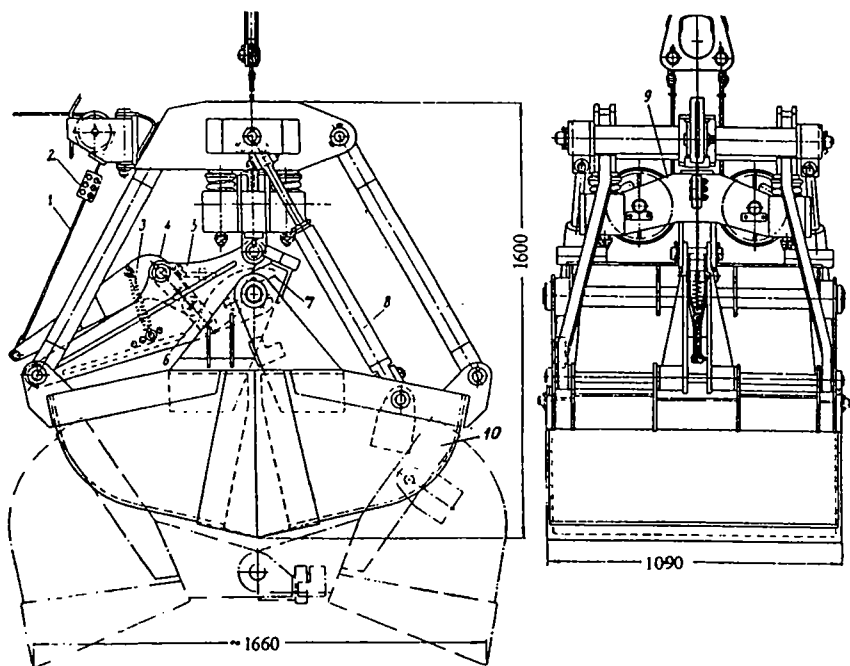


Рис. 5.4. Одноканатный грейфер с гидравлическим демпфером:

1 — трос; 2 — ограничитель; 3 — пружина; 4 — выключающий рычаг; 5 — рычаг; 6 — "ломающийся" рычаг; 7 — собачка; 8 — гидравлический демпфер; 9 — подпружиненная подвеска; 10 — челюсть

Двух- и четырехканатные грейферы имеют два механизма: один управляет замыкающим канатом, а другой — подъемным. Ра-

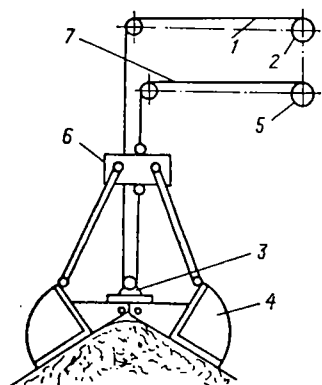


Рис. 5.5. Двухканатный двухчелюстной грейфер:

1, 7 – канаты; 2, 5 – барабаны; 3, 6 – траверсы; 4 – челюсти

бота двух- и четырехканатного грейфера происходит следующим образом (рис. 5.5). Для заполнения грейфера включается барабан 2 лебедки, и на него наматывается канат 1. При этом траверса 3 перемещается вверх, а шарнирно связанные с ней стальные челюсти 4 смыкаются и набирают материал. Затем включается барабан 5, и грейфер поднимается. При подъеме оба барабана 2 и 5 работают синхронно. При разгрузке канат 1 сматывается с барабана 2, траверса 3 перемещается вниз, и челюсти расходятся.

Разнообразны двух- и четырехканатные грейферы, различающиеся системой смыкания челюстей, их количеством, степенью раскрытия и другими особенностями. На рис. 5.6 показано устройство двух- и четырехканатного грейфера с поперечным расположением полиспаста.

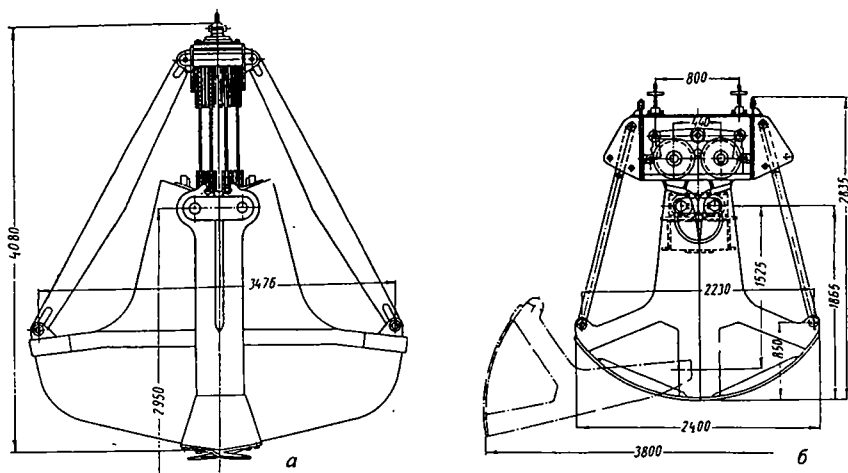


Рис. 5.6. Двух- и четырехканатный грейфер с поперечным (а) и продольным (б) расположением полиспаста

Для погрузки сыпучих грузов разработаны якорные грейферы. Конструкция якорного грейфера существенно снижает сопротивление при внедрении челюстей в загружаемый материал во время заполнения грейфера.

Для работы с крупнокусковыми и слеживающимися материалами режущие кромки челюстей грейферов выполняют в виде съемных зубьев. Емкость грейферов составляет  $0,3 - 15 \text{ м}^3$ .

Большое разнообразие в конструкции грейферных механизмов вносит система привода, которую необходимо учитывать при выборе марки механизма исходя из конкретных условий работы. Расчеты грейферов, их элементов, а также возникающих в них нагрузок достаточно полно описаны в специальной литературе.

Грейферные механизмы являются источником повышенной опасности, и поэтому их расчет, порядок и условия эксплуатации регламентируются специальными правилами.

Наряду с грузоподъемными машинами периодического действия при переработке отходов применяют и непрерывно действующие подъемно-транспортные машины. К ним относятся конвейеры, способные к перемещению грузов в вертикальной и наклонной плоскостях: скребково-ковшовые, ковшовые, люлечные, вертикальные винтовые, а также элеваторы: ковшовые, полочные и люлечные. Скребково-ковшовые и ковшовые конвейеры предназначены для транспортировки насыпных грузов, а люлечные – кусковых и штучных. Они могут перемещать отходы по сложной траектории, включая вертикальные и горизонтальные участки. Элеваторы предназначены для подъема грузов в вертикальной или близкой к ней наклонной плоскости (угол наклона к горизонтали может составлять  $60 - 82$  град). Ковшовые элеваторы (рис. 5.7) предназначены для перемещения насыпных и кусковых грузов, а люлечные и полочные – штучных.

Тяговым органом элеватора служит цепь при скорости до  $1,25 \text{ м/с}$  или конвейерная лента – при скорости не более  $2,5 \text{ м/с}$ . Перемещение сыпучего груза осуществляется в глубоких (для неслеживающихся легкосыпучих материалов) или в мелких ковшах.

Производительность элеватора  $Q_3$  (т/ч) определяют, используя выражение:

$$Q_3 = 3,6 G w / t, \quad (5.2)$$

где  $G$  – масса материала в одном ковше, кг;  $w$  – скорость перемещения ковша, м/с;  $t$  – расстояние между ковшами, м.

При расчете массы материала в одном ковше следует учитывать коэффициент заполнения, который обычно составляет  $0,6 - 0,9$ . Расстояние между ковшами составляет  $2 - 3$  его высоты, которая в зависимости от типоразмера элеватора равна  $0,16 - 0,63 \text{ м}$ .

Винтовые вертикальные конвейеры используют для подъема сыпучих отходов на высоту до  $30 \text{ м}$ . Достоинствами этих конвейеров являются их небольшие по сравнению с другими устройствами размеры и удобство выгрузки транспортируемых материалов. В то

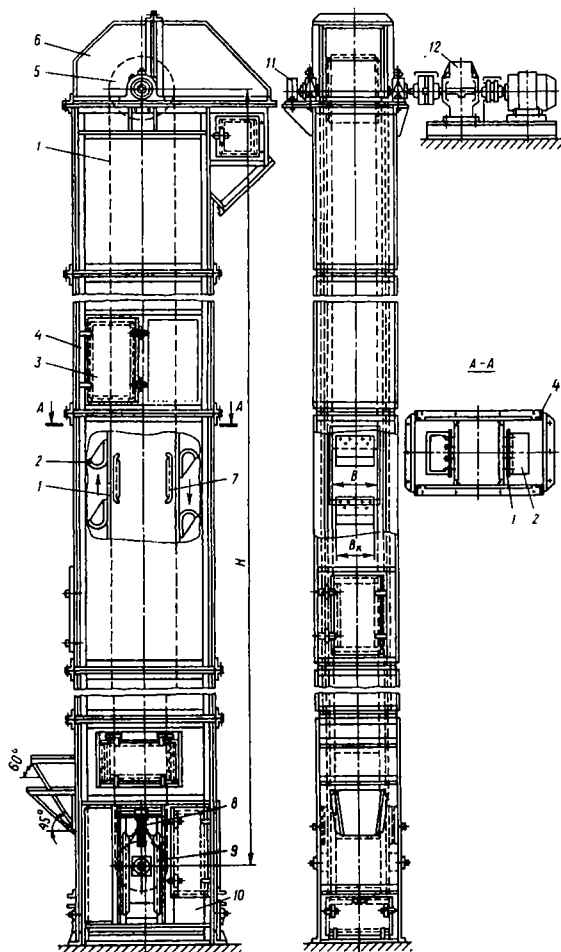


Рис. 5.7. Вертикальный ковшовый элеватор:

1 — тяговый орган; 2 — ковш; 3 — смотровой люк; 4, 6, 10 — секции кожуха; 5 — приводной барабан; 7 — направляющее устройство; 8 — натяжное устройство; 9 — натяжной барабан; 11 — останов привода; 12 — привод

же время такие конвейеры потребляют больше электроэнергии по сравнению, например, с ковшовыми элеваторами равной производительности.

Для транспортирования отходов непрерывным потоком без остановок для загрузки и разгрузки используют транспортирующие машины (конвейеры). Транспортирующие машины могут быть с тяговым органом (лента, цепь, канат) и без него.

Производительность транспортирующей машины определяют количеством груза, перемещаемого ею в единицу времени. Количество груза может измеряться в единицах объема и массы, а также в штуках (для штучных грузов). Производительность машины зависит от характера перемещения грузов, который может быть непрерывным, порционным и штучным. Часовая производительность конвейера определяется по формулам:

$$Q_{об} = 3600q_{об}v; \quad (5.3)$$

$$Q_{м} = 3600q_{об}v\rho, \quad (5.4)$$

где  $Q_{об}$  и  $Q_{м}$  – часовая производительность, объемная ( $м^3/ч$ ) и массовая, ( $т/ч$ );  $q_{об}$  – объем груза на единице длины конвейера,  $м^3/м$ ;  $v$  – скорость движения конвейера ( $м/с$ );  $\rho$  – насыпная плотность груза,  $т/м^3$ .

Насыпная плотность некоторых отходов приведена ниже,  $т/м^3$ :

|                            |           |
|----------------------------|-----------|
| Шлак . . . . .             | 0,6 - 1,0 |
| Зола сухая . . . . .       | 0,4 - 0,6 |
| Зола влажная . . . . .     | 0,9 - 1,4 |
| Стружка стальная . . . . . | 1,5 - 2,0 |

Одной из самых распространенных транспортирующих машин является ленточный конвейер, устройство которого показано на рис. 5.8.

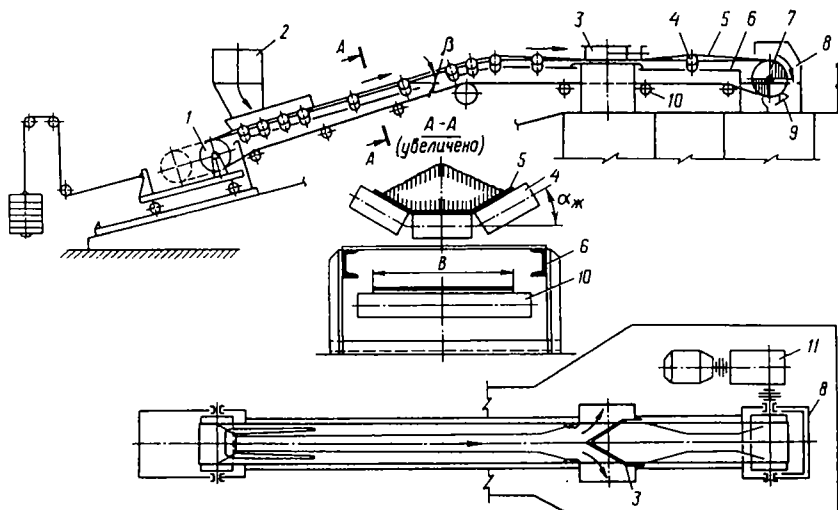


Рис. 5.8. Схема ленточного конвейера:

1 – задний натяжной барабан; 2 – загрузочная воронка; 3 – плужковый сбрасыватель груза; 4 – верхняя роlikоопора; 5 – транспортерная лента; 6 – станина; 7 – приводной барабан; 8 – разгрузочная воронка; 9 – устройство для очистки ленты; 10 – нижняя роlikоопора; 11 – привод;  $\alpha_{ж}$  – угол наклона бортов ленты;  $\beta$  – угол наклона конвейера;  $B$  – ширина конвейера

Ленточные конвейеры имеют тяговый орган в виде бесконечной ленты (текстильной, прорезиненной из хлопчатобумажной или синтетической ткани, из стали, проволоки и др.), являющейся одновременно и грузонесущим элементом.

Загрузка ленточного конвейера производится через загрузочную воронку 2, а разгрузка – через воронку 8. Возможна разгрузка

и на других участках ленты, для чего используются плужковый сбрасыватель груза 3.

Скорость движения транспортерной ленты устанавливают с учетом свойств транспортируемых материалов (насыпной массы, угла естественного откоса материала при его движении и др.). Ниже приведены скорости транспортировки различных отходов на ленточном транспортере с шириной ленты 0,5 - 0,65 м, м/с:

|                                       |            |
|---------------------------------------|------------|
| Сухая зола, пиритный огарок . . . . . | 0,75       |
| Песок . . . . .                       | 1,25       |
| Шлак . . . . .                        | 1,0 - 1,6  |
| Кусковые отходы размером до 200 мм    | < 1,5      |
| Сильно пылящие отходы . . . . .       | 0,8 - 1,25 |

Угол наклона конвейера  $\beta$  не должен превышать 20 град. В отдельных случаях, когда транспортируются влажные сыпучие грузы, угол наклона конвейера может быть несколько выше (для опилок древесных свежих 27, для влажного песка 26 град). Использование прорезиненной транспортерной ленты с рифленой поверхностью позволяет увеличить угол наклона конвейера до 30 - 35 град. В тех производствах, где необходимо транспортировать отходы с более высоким углом наклона к горизонту (до 45 - 60 град), по бокам конвейера устанавливают прижимные ленты, движущиеся со скоростью основной конвейерной ленты.

Общую мощность привода конвейера  $N$  (кВт) можно определить из выражения:

$$N = N_{\text{под}} + N_{\text{гор}} + Q_{\text{к}}(H + LC_0)/367, \quad (5.5)$$

где  $N_{\text{под}}$  - мощность, необходимая для подъема груза, кВт;  $N_{\text{гор}}$  - мощность, необходимая для горизонтального перемещения груза, кВт;  $Q_{\text{к}}$  - производительность конвейера, т/ч;  $H$  и  $L$  - соответственно высота и длина конвейера, м;  $C_0$  - удельный приведенный коэффициент сопротивления ( $C_0 = 1,2 - 1,25$ ).

Ленточные конвейеры находят широкое применение для внутри- и межцехового перемещения отходов и продуктов их переработки. Важную роль для обеспечения надежной работы ленточных конвейеров играют загрузочные и разгрузочные устройства, цель которых соответственно формирование на ленте конвейера потока транспортируемого груза и освобождение ее от него (частично или полностью). В соответствии с этими, казалось бы, простыми задачами к загрузочным и разгрузочным устройствам предъявляется большой комплекс требований, которые необходимо учитывать при проектировании и эксплуатации конвейеров.

Существует большое разнообразие конструктивных решений загрузочных и разгрузочных устройств, выбор которых зависит от

многих факторов, в том числе от конструкции конвейера, типа отходов, их физического состояния, крупности, способа формирования потока материала и других.

Как правило, конструкция загрузочного устройства включает в себя желоб (течку или воронку), направляющие борта и питатель, роль которого состоит в подаче отходов на конвейерную ленту из накопительного бункера, стоящего за дробилкой, грохотом или другим оборудованием, или со склада. Схемы работы наиболее распространенных типов питателей показаны на рис. 5.9 – 5.11.

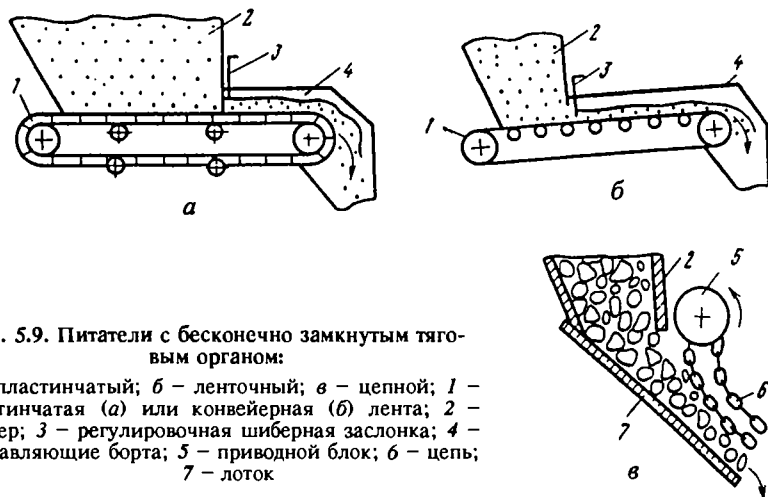


Рис. 5.9. Питатели с бесконечно замкнутым тяговым органом:

*a* – пластинчатый; *б* – ленточный; *в* – цепной; 1 – пластинчатая (*a*) или конвейерная (*б*) лента; 2 – бункер; 3 – регулировочная шибберная заслонка; 4 – направляющие борта; 5 – приводной блок; 6 – цепь; 7 – лоток

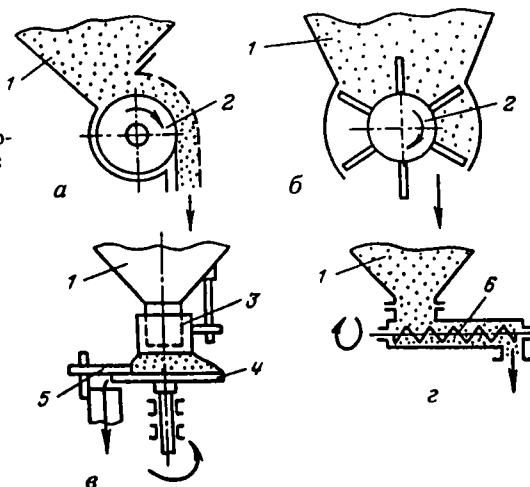


Рис. 5.10. Питатели с вращающимися рабочими органами:

*a* – барабанный; *б* – секторный; *в* – тарельчатый; *г* – винтовой; 1 – бункер; 2 – барабан гладкий (*a*) и секторный (*б*); 3 – регулировочная манжета; 4 – вращающийся стол; 5 – сбрасывающий плужок; 6 – винт

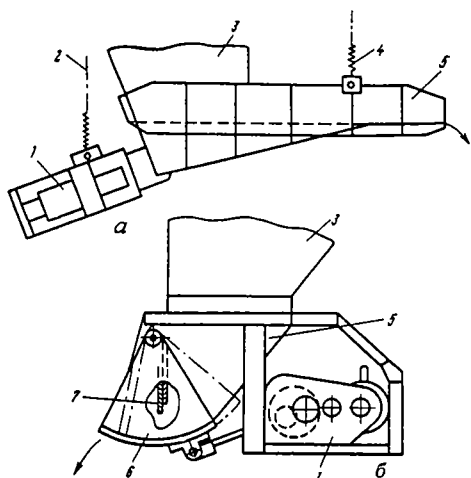


Рис. 5.11. Питатели с возвратно-поступательным движением рабочего органа:

*a* – вибрационный; *б* – маятниковый; 1 – привод; 2, 4 – пружинные подвески; 3 – бункер; 5 – желоб; 6 – качающийся сектор; 7 – шибберная заслонка

При выборе питателя учитывают вид, свойства, крупность отходов, производительность конвейера, характер подачи отходов на конвейер и другие факторы.

Крупнокусковые отходы целесообразнее подавать на конвейер с помощью пластинчатых, цепных и вибрационных питателей. Последние используют при необходимости плавного регулирования производительности оборудования, стоящего за питателем. Мелкокусковые отходы лучше подавать с помощью лотковых, ленточных, тарельчатых и маятниковых питателей.

Для регулируемой подачи мелкодисперсных отходов целесообразно использовать объемные питатели, некоторые конструкции которых показаны на рис. 5.12 – 5.16. Габаритные и присоединительные размеры питателей зависят от их марки и типоразмера.

На рис. 5.12 показан шлюзовой питатель с регулированием производительности с помощью электрического исполнительного механизма, предназначенный для подачи хорошо сыпучих порошкообразных и зернистых материалов с размером частиц до 10 мм. Шлюзовые питатели устанавливают под бункерами и на вертикальных участках материалопроводов.

На рис. 5.13 показан винтовой вибрационный питатель для равномерной подачи нелипких плохосыпучих порошкообразных материалов, склонных к образованию сводов над выпускными отверстиями бункеров. Такие питатели используются на горизонтальных участках материалопроводов.

Для подачи паст плотностью до  $2 \text{ г/см}^3$ , влажных порошков с размером частиц до 5 мм используют винтовые питатели (рис. 5.14).

Для загрузки хорошо сыпучими зернистыми материалами с размером частиц до 13 мм смесителей, мельниц, другого оборудования, работающего в непрерывном цикле, а также в качестве разгрузочных устройств стационарных бункеров удобно применять тарельчатые питатели (рис. 5.15).



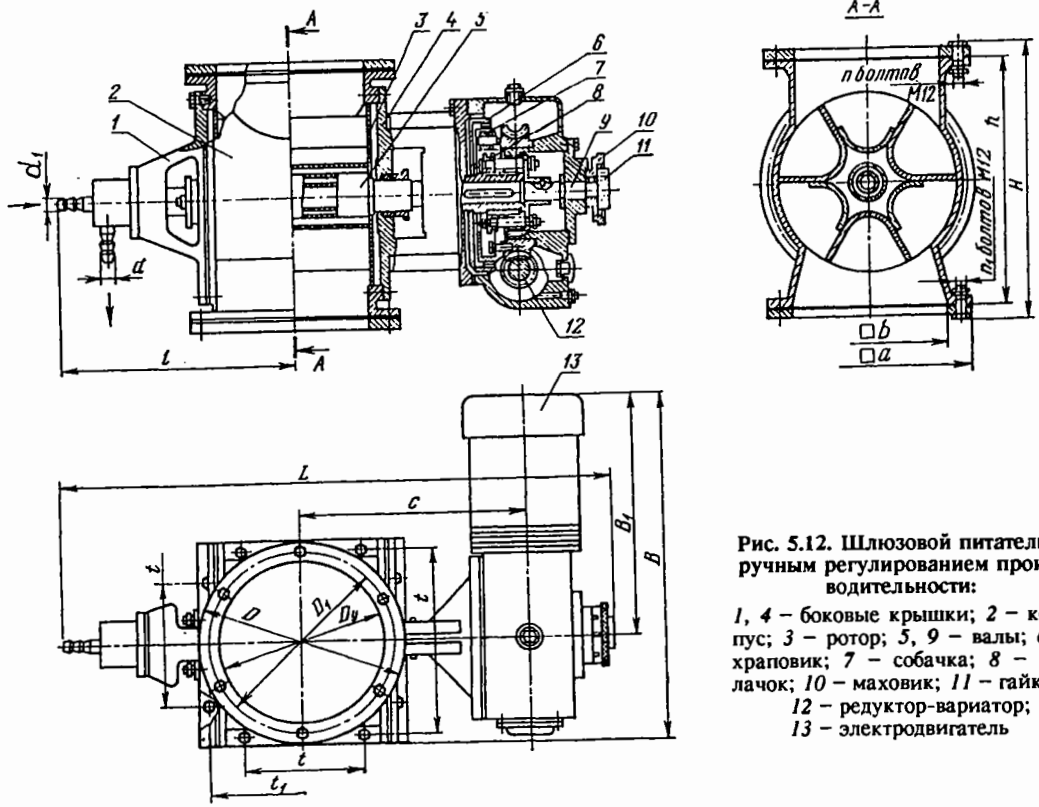


Рис. 5.12. Шлюзовой питатель с ручным регулированием производительности:

- 1, 4 – боковые крышки; 2 – корпус;
- 3 – ротор; 5, 9 – валы; 6 – храповик;
- 7 – собачка; 8 – кулачок; 10 – маховик; 11 – гайка;
- 12 – редуктор-вариатор;
- 13 – электродвигатель

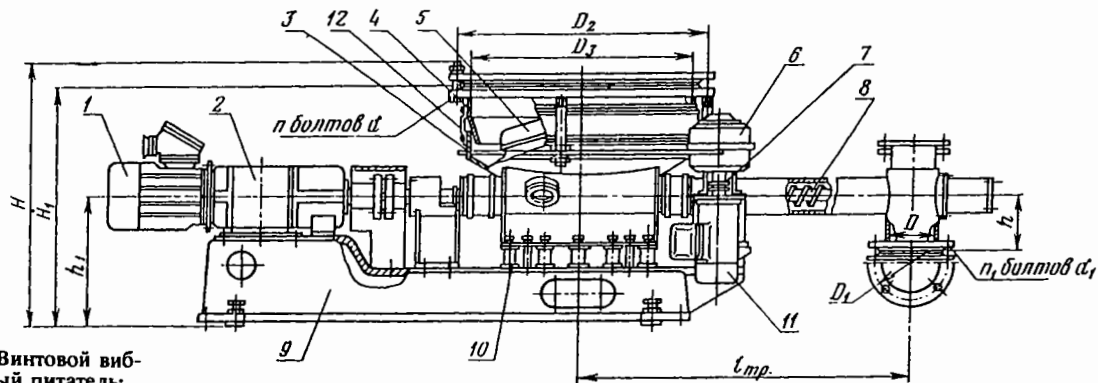


Рис. 5.13. Винтовой вибрационный питатель:

- 1, 11 – электродвигатели;  
 2 – вариатор; 3 – корпус;  
 4 – загрузочный патрубок;  
 5 – активатор; 6 – инерционный вибратор;  
 7 – муфта; 8 – винт; 9 – рама;  
 10 – амортизаторы; 12 – эластичный рукав

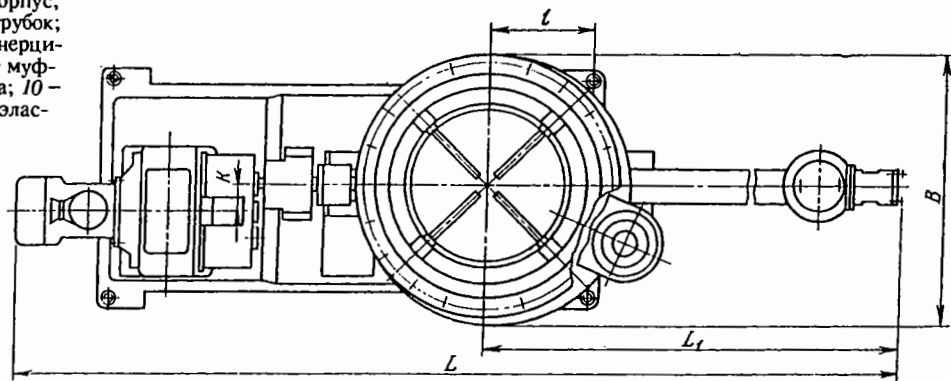
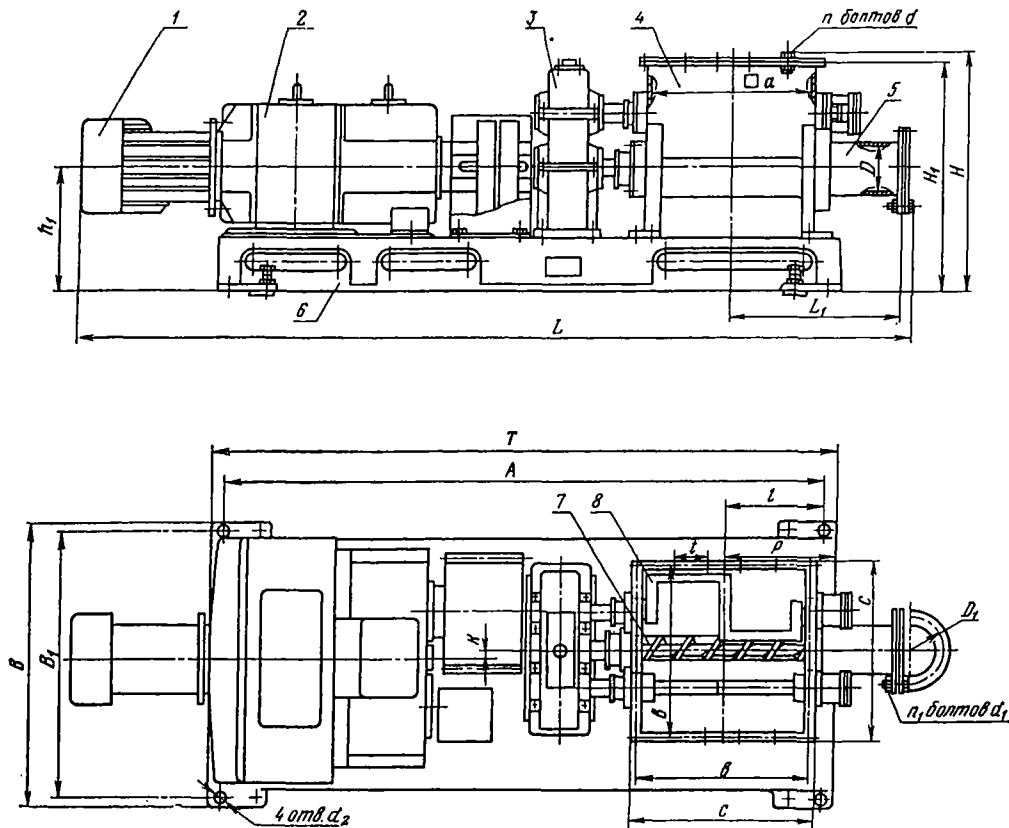


Рис. 5.14. Винтовой питатель:

- 1 — электродвигатель;  
 2 — вариатор; 3 — редуктор;  
 4 — корпус; 5 — течка;  
 6 — рама;  
 7 — винт; 8 — нагнетательные лопасти



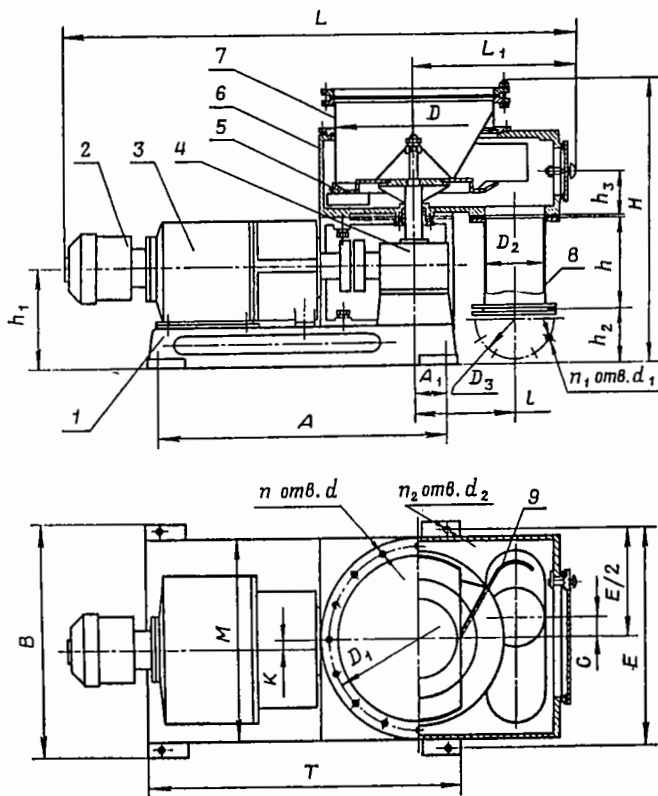


Рис. 5.15. Тарельчатый питатель:

- 1 – рама; 2 – электродвигатель; 3 – цепной вариатор; 4 – червячный редуктор; 5 – тарель; 6 – корпус; 7 – загрузочный патрубок; 8 – разгрузочный патрубок; 9 – сбрасывающий нож

Для разрушения сводов, образуемых плохосыпучими нелипкими материалами с радиусом частиц до 10 мм используют питатели-активаторы (рис. 5.16), которые могут устанавливаться в комплекте с питателями других типов.

Промышленностью выпускается большая номенклатура типовых размеров питателей разной производительности, предназначенных для различных условий работы.

Помимо питателей для регулирования подачи материалов на конвейерную ленту применяют затворы (секторные, челюстные, лотковые) и весовые дозаторы (ленточные и барабанные).

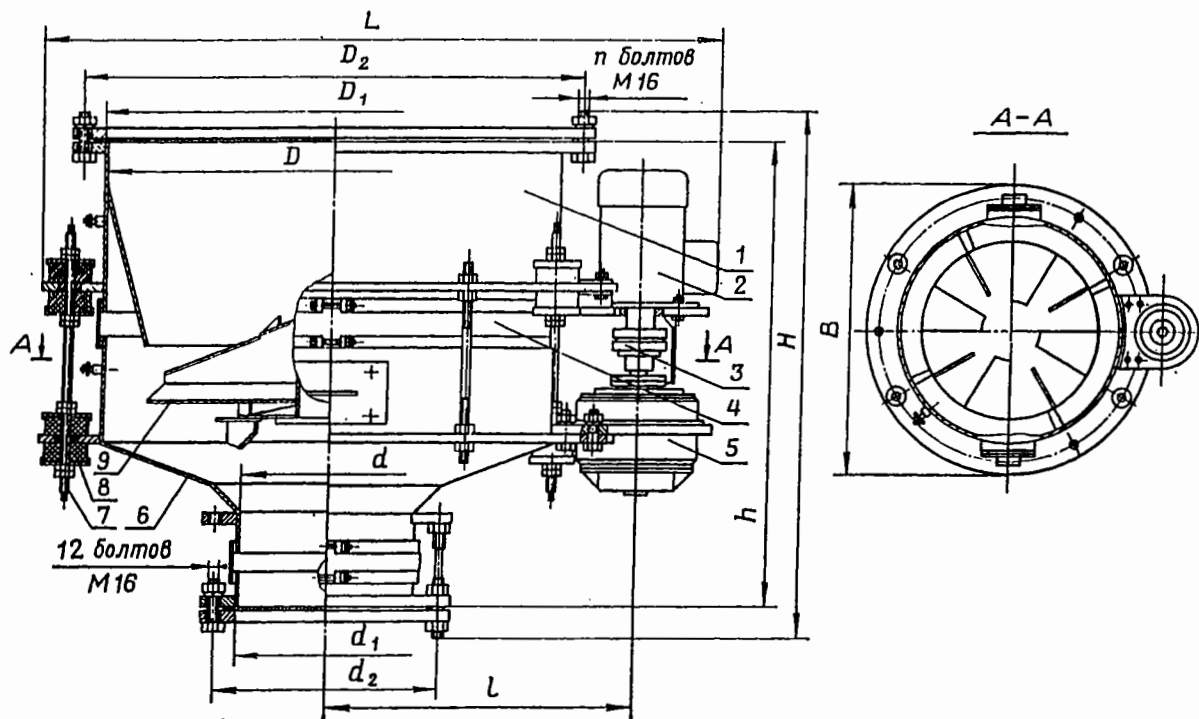


Рис. 5.16. Вибрационный питатель-активатор:

1 – корпус; 2 – электродвигатель; 3 – эластичная муфта; 4 – эластичный рукав; 5 – вибратор; 6 – виброднище;  
7 – подвески; 8 – амортизаторы; 9 – активатор

При выборе питателя или затвора учитывают вид, свойства, крупность отходов, производительность конвейера, характер подачи отходов на конвейер и другие факторы.

Конструкция разгрузочного устройства зависит от схемы выгрузки материалов с конвейерной ленты, которая может осуществляться через головной барабан или в средней части конвейера. Наиболее распространена разгрузка конвейерной ленты через головной барабан конвейера.

Разгрузка конвейерной ленты очень часто сопровождается сортировкой отходов, отбором проб материалов и другими операциями. Устройства для их реализации являются, как правило, элементами разгрузочных устройств. Особенно часто при разгрузке конвейера осуществляется удаление из потока отходов магнитных составляющих. С этой целью используются электромагнитные устройства различной конструкции, позволяющие извлечь куски отходов с магнитными свойствами и отсечь их от основного потока материалов.

Наряду с разгрузкой конвейера через головной барабан используется и разгрузка конвейера из средней его части, для чего применяют плужковые сбрасыватели, вибрационные разгрузатели, передвижные разгрузочные барабаны, барабанно-винтовые и другие устройства.

Кроме названных устройств при разгрузке конвейеров используют цепные разгрузатели, роликовые и вибрационные сбрасыватели, поворотные и вращающиеся желоба и другие механизмы.

Для перемещения больших количеств материалов с высокой скоростью применяют ленточные конвейеры с канатным ставом, у которых удается снизить нагрузку на ленту и опорные ролики, в результате чего снижается металлоемкость конструкции и повышается ее долговечность. Особенно эффективно использование ленточных конвейеров с канатным ставом для перемещения крупнокусковых отходов.

Промышленность выпускает большое количество таких конвейеров, имеющих различное конструктивное оформление и типоразмеры. Наибольшее применение среди ленточных конвейеров с канатным ставом находят конструкции с подвижными роlikоопорами. В состав конвейеров с канатным ставом входят опорные конструкции, несущие канаты, роlikоопоры, транспортирующая лента, тяговое устройство и другие элементы. Конструктивное исполнение как конвейеров, так и их элементов очень разнообразно в зависимости от вида транспортируемого материала, скорости его перемещения, производительности конвейера, расстояния, геометрии транспортера и других факторов.

Для непрерывного транспортирования крупнокусковых, тяжелых и абразивных отходов целесообразно применять пластинчатые

конвейеры, грузонесущим элементом которых являются стальные пластины. Такие конвейеры обладают высокой долговечностью, эксплуатационной надежностью, низким энергопотреблением, простотой обслуживания и другими достоинствами. Пластинчатые конвейеры надежно работают при перемещении затвердевших шлаков из мусоросжигательных печей, строительного мусора, образующегося при сносе зданий, массивных кусков металлолома, металлической стружки, агломерата, окатышей и других абразивных, горячих насыпных грузов.

Отечественной промышленностью освоена большая номенклатура типоразмеров пластинчатых конвейеров, отличающихся назначением, производительностью, скоростью движения пластинчатого полотна, мощностью электродвигателей, длиной и шириной полотна, шагом опорных пластин и другими характеристиками, которые необходимо учитывать при их выборе в конкретных технологических схемах.

В отдельных технологических процессах переработки промышленных отходов (например, при разборке амортизированных автомобилей перед дроблением кузова) возможно использование подвесных конвейеров, которые предназначены для перемещения дискретных грузов по замкнутому пути сложной геометрии. В таком конвейере груз, как правило, шарнирно крепится к конвейеру и находится ниже точки его опоры.

Использование подвесных конвейеров позволяет освободить производственные площади цеха, оставить необходимые проходы и проезды для внутрицехового напольного транспорта, автоматизировать загрузку и разгрузку конвейера. Конструкции подвесных конвейеров многообразны и позволяют использовать этот вид транспорта для перемещения самых разных грузов по величине, массе, форме и т.п. Скорость движения подвесных конвейеров может выбираться в зависимости от производительности основного оборудования в широком интервале — от нескольких сантиметров до десятков метров в минуту.

Промышленность выпускает подвесные конвейеры с цепным и канатным тяговыми устройствами, одно- и многоприводные. Весьма отличаются подвесные конвейеры и по способу перемещения грузов. Различают грузонесущие, толкающие, несущие-толкающие, грузоведущие и другие типы подвесных конвейеров.

Важным элементом подвесного конвейера является подвеска, выполняющая грузонесущие функции. Ее конструкции многообразны и определяются видом груза, его формой, массой и способом загрузки-разгрузки конвейера. На рис. 5.17 показана подвеска, используемая для транспортирования автопокрышек. Такая подвеска может быть использована для удаления демонтированных покрышек автомобилей.

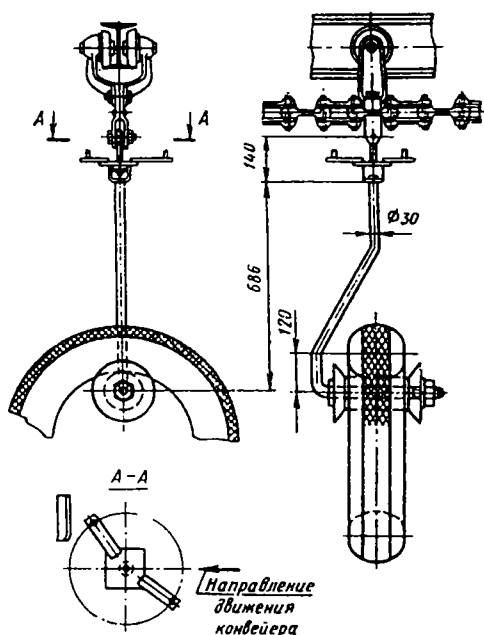


Рис. 5. 17. Подвеска для транспортирования штучных грузов

риалопровод. Однако они обладают рядом недостатков, ограничивающих их использование: большой энергоемкостью, низкими скоростью транспортирования материалов (0,16 – 0,4 м/с) и производительностью (не более 350 т/ч), а также повышенным износом трущихся частей.

Производительность скребкового конвейера  $Q_k$  (т/ч) определяется по формуле:

$$Q_k = 3600 B h \psi w \gamma, \quad (5.6)$$

где  $B$ ,  $h$  – ширина и высота желоба конвейера, м;  $\psi$  – усредненный эмпирический коэффициент заполнения желоба отходами;  $\psi = 0,5-0,6$ ;  $w$  – скорость движения ленты, м/с;  $\gamma$  – насыпная плотность материала, т/м<sup>3</sup>.

Винтовой (шнековый) конвейер (рис. 5.19) представляет собой трубу (или желоб), по которой материал перемещается с помощью вращающегося винта. Шнековые конвейеры легко поддаются герметизации, что позволяет использовать их для транспортирования пылящих и горячих грузов, выделяющих вредные испарения.

Для транспортирования пылевидных кусковых отходов используют скребковые конвейеры, в которых материал перемещается по неподвижному желобу скребками, соединенными движущейся цепью (рис. 5.18).

Скребковые конвейеры используются для перемещения золы, шлаков, древесной щепы и других отходов и продуктов их переработки. Они просты в изготовлении и обслуживании, не требуют сложных устройств для загрузки и выгрузки транспортируемых материалов, позволяют герметизировать мате-



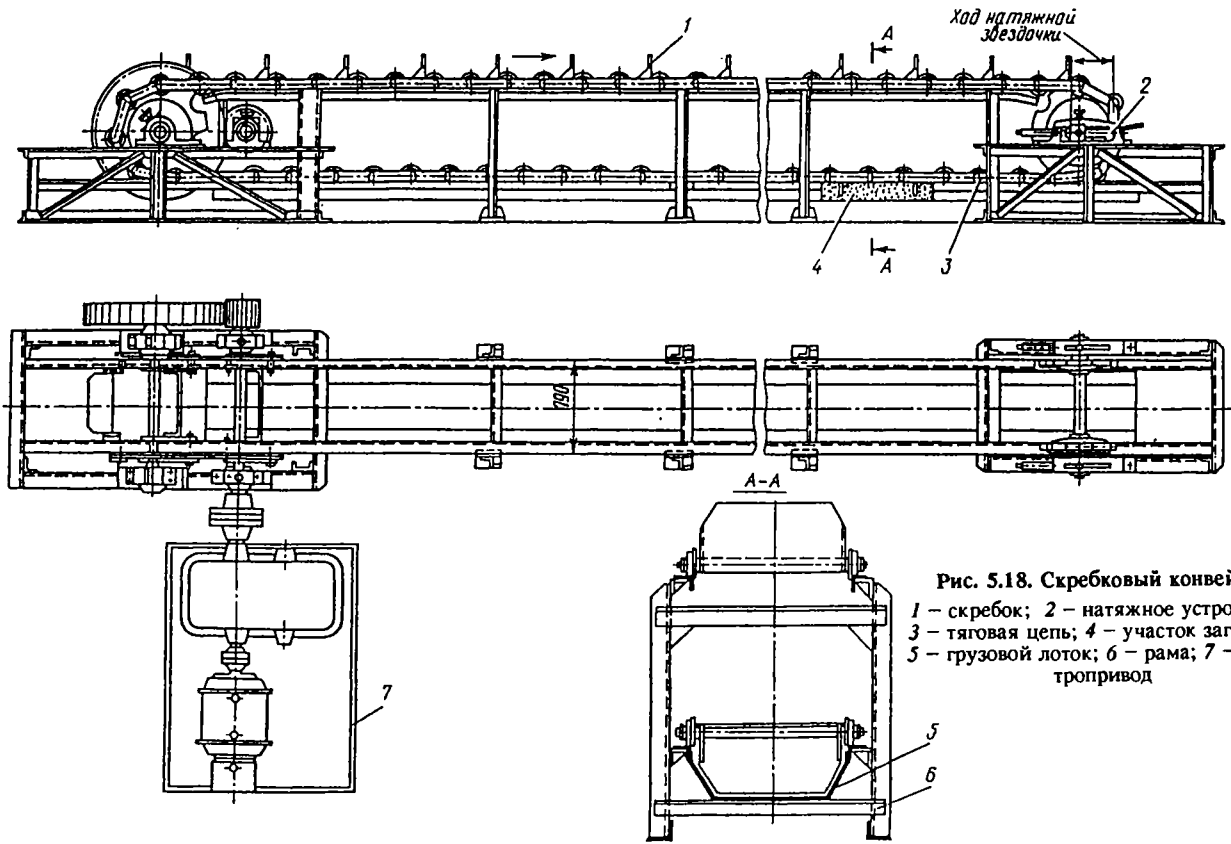


Рис. 5.18. Скребковый конвейер:

- 1 - скребок; 2 - натяжное устройство;
- 3 - тяговая цепь; 4 - участок загрузки;
- 5 - грузовой лоток; 6 - рама; 7 - электропривод

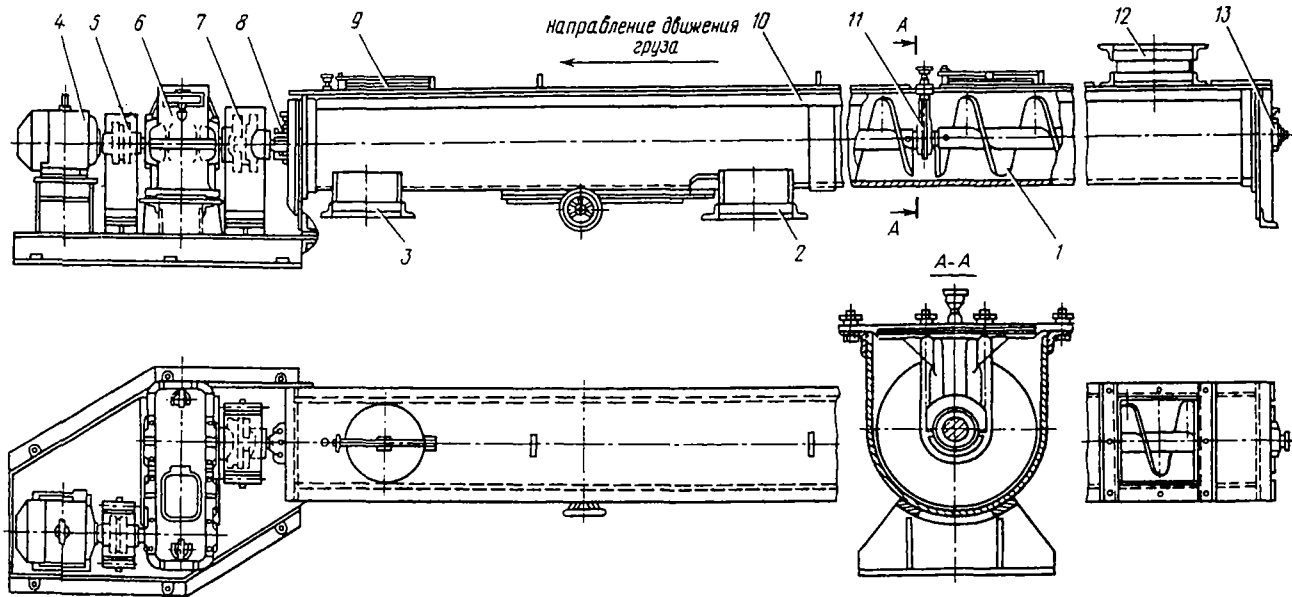


Рис. 5.19. Винтовой конвейер:

1 - винт; 2, 3 - разгрузочные патрубки; 4 - электродвигатель; 5, 7 - муфты; 6 - редукторы; 8, 1, 13 - опорные подшипники винта; 9 - люк; 10 - желоб; 12 - загрузочный патрубок

Их применяют для перемещения отходов на небольшие расстояния (от нескольких метров до нескольких десятков метров, обычно не более 40). Преимущества и недостатки винтовых конвейеров – те же, что и у скребковых. Важными достоинствами винтовых горизонтальных конвейеров являются небольшие габаритные размеры.

Материал подается в желоб винтового конвейера через загрузочный патрубок 12 в крышке желоба 10 и при вращении винта 1 перемещается по нему. Разгрузка материала производится через любой из разгрузочных патрубков 2 и 3, расположенных в днище желоба.

Производительность винтового конвейера  $Q$  (т/ч) рассчитывается по формуле:

$$Q = 47 D^3 n \psi \gamma c, \quad (5.7)$$

где  $D$  – диаметр винта, м;  $n$  – частота вращения винта,  $\text{мин}^{-1}$ ;  $\gamma$  – насыпная плотность материала,  $\text{т/м}^3$ ;  $c$  – поправочный коэффициент, зависящий от угла наклона конвейера ( $c = 0,6 - 1,0$ );  $\psi$  – поправочный коэффициент, зависящий от вида материала ( $\psi = 0,125 - 0,4$ ).

В некоторых случаях, например при ремонтно-строительных работах, применяют гравитационные (без тяговых органов) устройства – желоба, трубы, винтовые спуски, рольганги (для штучных грузов), по которым материал перемещается сверху вниз под действием силы тяжести.

Землеройные машины представляют особую группу транспортных устройств для разработки грунтов, залежей полезных ископаемых, отвалов, для формирования полигонов и шламонакопителей твердых отходов. Сюда входят и землеройно-транспортные машины: скреперы, экскаваторы, бульдозеры, катки. При формировании полигонов твердых отходов такие машины являются основным технологическим оборудованием.

При выборе землеройной машины руководствуются заданной производительностью. Эта производительность может быть обеспечена применением сравнительно небольшой быстродействующей машины или, наоборот, использованием крупной тяжелой машины, отличающейся малой скоростью исполнения отдельных операций, но позволяющей обрабатывать большие объемы материала. Окончательно машины выбирают на основе результатов сравнительного технико-экономического анализа.

### 5.3. Использование автомобильного, железнодорожного и водного транспорта. Контейнерные перевозки отходов

Для перевозок отходов вне производственных предприятий используется автомобильный, железнодорожный и водный транспорт.

Преимущество автомобильного транспорта состоит в том, что он доставляет отходы непосредственно на место их переработки или захоронения.

Помимо грузового автомобильного транспорта общего назначения для перевозки твердых отходов разработаны и выпускаются отечественной промышленностью специальные автомобили на базе серийных шасси.

Автомобиль КамАЗ-МСК предназначен для механизированной погрузки емкости с отходами, транспортирования и снятия емкости или выгрузки отходов самосвальным способом. Изготавливается на базе шасси КамАЗ-53212, 53213, способен перевозить до 10 т отходов, выпускается с объемом кузова 10; 14 и 26 м<sup>3</sup>. На базе КамАЗа выпускается автомобиль FAUN БМ-53229 с объемом кузова от 8 до 26 м<sup>3</sup>, предназначенный для перегрузки мусора из контейнеров объемом 0,8; 1,1 и 3,8 м<sup>3</sup>. Белоруссия выпускает автомобили МАЗ 6303-110 и МЗКТ-7321 грузоподъемностью 25 и 41 т соответственно, предназначенные для транспортировки пакетированных отходов (тюков) с мусороперегрузочных станций к месту переработки и захоронения.

На базе автомобилей МАЗ и КраЗ Белоруссией и Украиной выпускаются автощеповозы с саморазгружающимися полуприцепами вместимостью 37 – 70 м<sup>3</sup>. Так, автощеповоз ЛТ-170, имеющий грузоподъемность 20 т, состоит из седельного тягача КраЗ-258Б1 и специализированного полуприцепа, цельносварной кузов которого имеет объем 70 м<sup>3</sup>. На базе автомобилей МАЗ-54331 и МАЗ-5430 изготавливаются автощеповозы марок ЛТ-191 и ЛТ-7А с кузовами вместимостью 40,8 и 37,0 м<sup>3</sup> соответственно. Грузоподъемность этих автомобилей 13,3 и 12,3 т соответственно.

Значительный интерес представляет разработанный в последние годы в Японии вакуумный сборник отходов на колесном ходу, имеющий приемную цистерну, систему трубопроводов, компрессор, мокрый скруббер и эжектирующий цилиндр. Некоторые рабочие характеристики такого вакуумного сборника: объем приемной емкости 14 м<sup>3</sup>; скорость транспортировки отходов внутри сборника 20 м/с; скорость компрессорного воздуха 30 м/с; максимальная мощность двигателя системы отсоса 130 кВт. Обслуживает такую установку один человек. Установка снабжена специальными запорными устройствами, системой автоматики, контрольно-регулирующей аппаратурой.

Стоимость автомобильных перевозок отходов мало зависит от расстояния, но все же наиболее рационально использование автотранспорта при дальности перевозок до 40 км.

При перевозке отходов на более дальнее расстояние становится целесообразным использовать железнодорожный и водный транспорт. Для перевозки грузов по железной дороге используют железнодорожные вагоны и полувагоны, цистерны и открытые платформы. На открытых платформах по железной дороге целесообразно перевозить лом черных и цветных металлов. Металлическую стружку перевозят на закрытых платформах, разгружаемых снизу на конвейер, подающий стружку в приемный бункер.

Для транспортировки по железной дороге древесной щепы разработаны вагоны-щеповозы моделей 22-478 и 12-400Н вместимостью 135 и 158 м<sup>3</sup> соответственно. Кроме того, производятся полувагоны с наращенными бортами вместимостью 71; 73 и 104 м<sup>3</sup>.

Во всех случаях, когда это возможно, следует использовать контейнерные перевозки отходов. Транспортирование отходов в контейнерах – наиболее экономичный вид их перевозки. Хорошо известны, например, контейнеры, предназначенные для перевозки бытовых отходов.

Контейнерные перевозки отходов могут выполняться автомобильным, железнодорожным и водным транспортом с использованием съемных, приспособленных для механизированной перегрузки контейнеров.

Контейнеры для перевозки твердых и пастообразных промышленных отходов представляют собой сварную конструкцию, усиленную ребрами жесткости. В верхней части контейнера расположены загрузочные люки, имеющие крышки. На передней стенке контейнера имеется автозахватное устройство. Система герметизации контейнера исключает возможность самопроизвольного открывания крышки люка.

Промышленность выпускает контейнеры различной емкости и конструкции. Наиболее часто для сбора твердых бытовых отходов используются контейнеры марок К-0,75; К-6; К-10 и К-27 вместимостью 0,75; 6; 10 и 27 м<sup>3</sup> соответственно.

Автоцистерна для перевозки жидких отходов также представляет собой сварную конструкцию, состоящую из двух днищ и обечайки. В верхней части цистерны имеется загрузочный люк с герметично закрывающейся крышкой. Опорожнение цистерны производится через лючок, расположенный в нижней части заднего днища, который открывается автоматически из кабины водителя.

Особые требования при проектировании и изготовлении предъявляются к специальным контейнерам для перевозки отходов, опасных для людей и окружающей среды.

Одной из разновидностей контейнеров можно считать сменный кузов автомобиля. На базе автомобилей ЗИЛ-130 и ГАЗ-3307 вы-

пускаются спецавтомобили ЗИЛ-МСК-Т и ГАЗ-МСК-Т со сменными кузовами грузоподъемностью 7 и 3 т соответственно. Опыт эксплуатации автотранспорта со сменными кузовами для транспортировки отходов показал, что из отечественных автомобилей лучшим является КамАЗ-5513 с погрузочно-разгрузочным механизмом "подъемный крюк".

Водный транспорт в силу своей сезонности, а во многих случаях и удаленности от места образования или использования отходов применяется реже. Его использование, как правило, требует перегрузок, что значительно удорожает стоимость перевозок. Наиболее рационально использовать его при перемещении отходов на значительные расстояния (несколько сот километров и более).

Водный транспорт предусматривает использование барж и других судов для перевозки отходов. Особенно широко его используют для транспортирования грунтов при производстве дноуглубительных работ на водных путях.

## Глава 6. 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, обеспечивающе-

го 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. Совокупность наиболее распространенных методов подготовки твердых отходов к переработке представлена на рис. 6.1.



Рис. 6.1. Наиболее распространенные методы подготовки твердых отходов к переработке



## 6.1. 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  $i$  определяется отношением размеров кусков до измельчения к размерам кусков раздробленного материала:

$$i = D_{\max}/d_{\max} = D_{\text{ср}}/d_{\text{ср}}, \quad (6.1)$$

где  $D_{\max}$  и  $d_{\max}$  – диаметр максимального куска материала соответственно до и после дробления;  $D_{\text{ср}}$  и  $d_{\text{ср}}$  – средневзвешенный диаметр кусков соответственно исходного материала и продукта дробления.

В зависимости от размеров кусков отходов различают крупное, среднее и мелкое дробление, характеризующиеся следующими размерами кусков, мм:

|                      | Крупное    | Среднее   | Мелкое   |
|----------------------|------------|-----------|----------|
| $D_{\max}$ . . . . . | 1200 – 350 | 350 – 100 | 100 – 40 |
| $d_{\max}$ . . . . . | 350 – 100  | 100 – 40  | 30 – 5   |

Степень дробления в зависимости от стадии составляет 5 – 10.

Удельные затраты электроэнергии (кВт·ч на 1 т перерабатываемого материала) определяют энергоемкость дробления  $E$ :

$$E = N/Q, \quad (6.2)$$

где  $N$  – мощность, потребляемая двигателем дробилки, кВт;  $Q$  – производительность дробилки, т/ч.

Технические характеристики щековых дробилок

| Показатели   | ЩДП-9×12<br>(СМД-111А) | ЩДП-12×15<br>(СМД-118А) | ЩДП-15×21<br>(СМД-117А) | ЩДП-21×25<br>(СМД-156) | ЩДС-П-1,6×2,5<br>(СМД-115) | ЩДС-П-2,5×4<br>(СМД-116) | ЩДС-П-2,5×9<br>(СМД-108А) | ЩДС-П-4×9<br>(СМД-109А) | ЩДС-П-6×9<br>(СМД-110А) |
|--|------------------------|-------------------------|-------------------------|------------------------|----------------------------|--------------------------|---------------------------|-------------------------|-------------------------|
| Размеры приемного отверстия, мм:   |                        |                         |                         |                        |                            |                          |                           |                         |                         |
| ширина   | 900                    | 1200                    | 1500                    | 2100                   | 160                        | 250                      | 250                       | 400                     | 600                     |
| длина  | 1200                   | 1500                    | 2100                    | 2500                   | 250                        | 400                      | 900                       | 900                     | 900                     |
| Производительность при номинальной ширине выходной щели, м <sup>3</sup> /ч | 180                    | 310                     | 600                     | 800                    | 3,0                        | 7,8                      | 22                        | 35                      | 75                      |
| Наибольший размер куска материала, мм                                      | 750                    | 1000                    | 1300                    | 1700                   | 140                        | 210                      | 210                       | 340                     | 500                     |
| Номинальная ширина выходной щели, мм                                       | 130                    | 155                     | 180                     | 250                    | 30                         | 40                       | 40                        | 60                      | 100                     |
| Максимальный диапазон изменения выходной щели, мм                          | ±35                    | ±60                     | ±70                     | ±80                    | ±15                        | ±20                      | +20<br>-15                | +30<br>-20              | +30<br>-25              |
| Мощность электродвигателя, кВт   | 90                     | 160                     | 250                     | 400                    | 7,5                        | 17                       | 45                        | 45                      | 75                      |
| Частота вращения эксцентрикового вала, с <sup>-1</sup>                     | 3,33                   | 2,83                    | 2,33                    | 2,0                    | 5,33                       | 5,0                      | 4,83                      | 4,83                    | 4,58                    |
| Размеры, м:  |                        |                         |                         |                        |                            |                          |                           |                         |                         |
| длина  | 5,3                    | 6,4                     | 7,5                     | 10,6                   | 0,88                       | 1,33                     | 2,3                       | 2,5                     | 3,0                     |
| ширина   | 6,0                    | 6,8                     | 5,1                     | 8,2                    | 1,07                       | 1,25                     | 2,4                       | 2,4                     | 2,5                     |
| высота   | 4,0                    | 5,0                     | 5,12                    | 8,0                    | 1,085                      | 1,435                    | 1,9                       | 2,2                     | 2,6                     |
| Масса без электродвигателя, т  | 56,5                   | 115,7                   | 207,6                   | 550,0                  | 1,37                       | 2,56                     | 8,40                      | 10,85                   | 19,40                   |

Энергоемкость процесса зависит от необходимой степени дробления и физико-механических свойств измельчаемых отходов.

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 (рис. 6.2).

Выгрузка измельченного материала производится в нижней части дробилки через зазор, образуемый щеками, после того как в результате измельчения размеры кусков станут меньше этого зазора. Технические характеристики щековых дробилок приведены в табл. 6.1.

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 (рис. 6.3).

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. Ассортимент конусных дробилок чрезвычайно широк, а конструкции разнообразны, что позволяет использовать их для мелкого, среднего и крупного дробления. Характеристики дробилок приведены в табл. 6.2, 6.3 и 6.4.

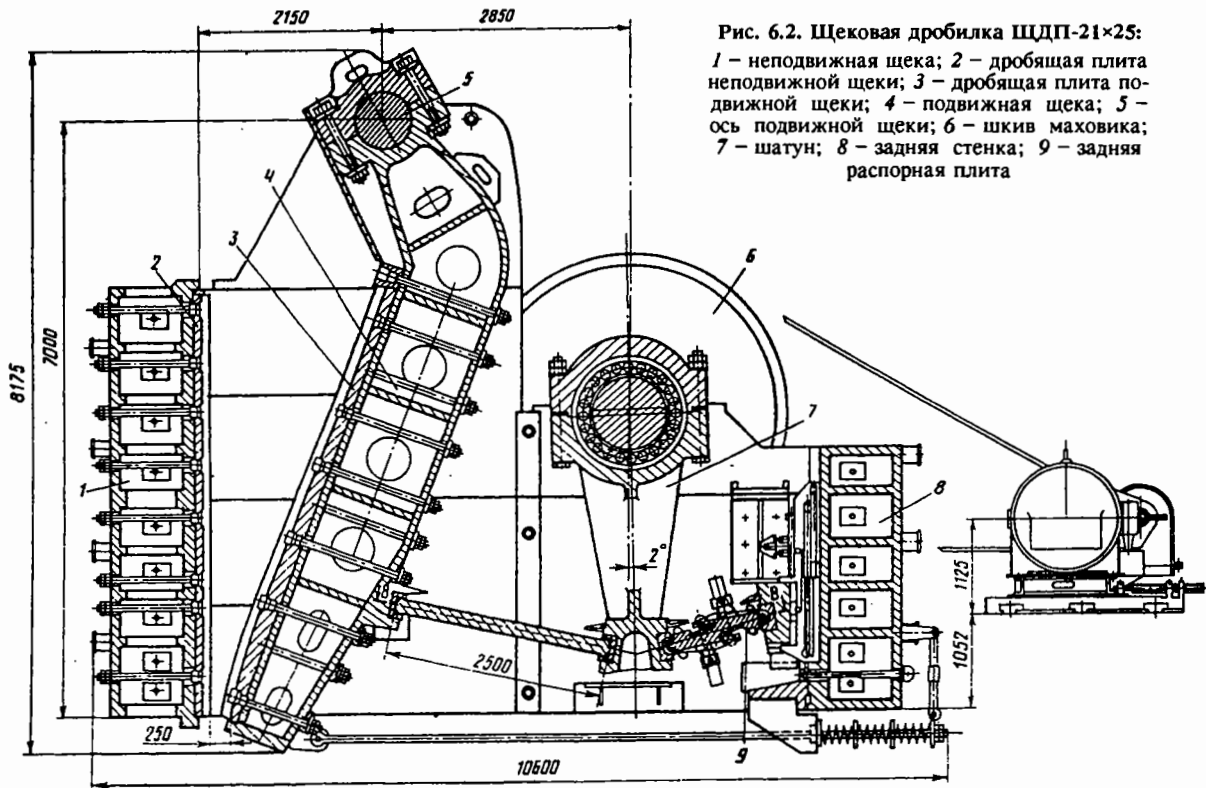


Рис. 6.2. Щековая дробилка ЩДП-21×25:  
 1 – неподвижная щека; 2 – дробящая плита неподвижной щеки; 3 – дробящая плита подвижной щеки; 4 – подвижная щека; 5 – ось подвижной щеки; 6 – шкив маховика; 7 – шатун; 8 – задняя стенка; 9 – задняя распорная плита

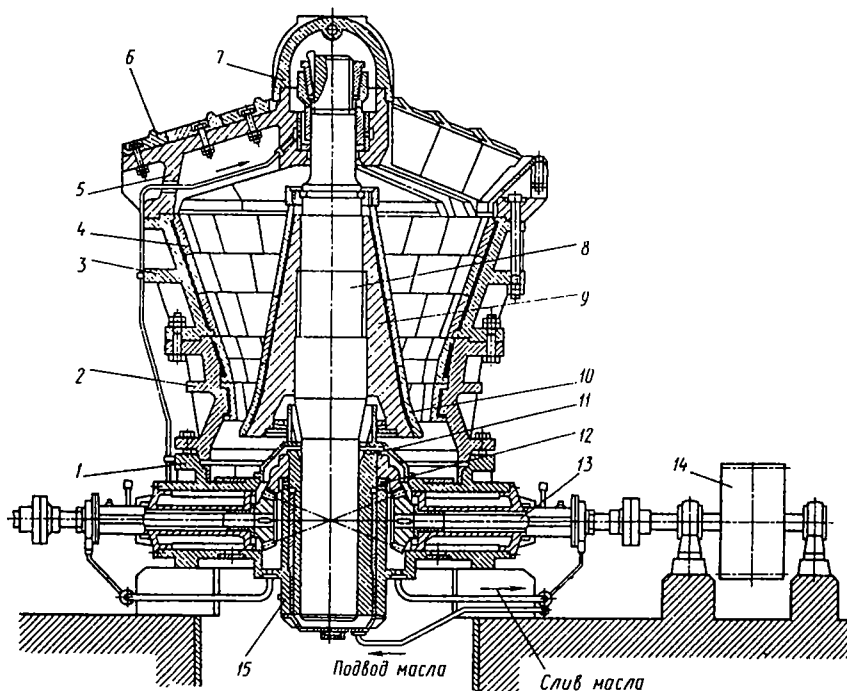


Рис. 6.3. Конусная дробилка ККД-1500/180 для крупного дробления:

1 - станина; 2 - нижняя часть корпуса; 3 - верхняя часть корпуса; 4 - сменные плиты корпуса; 5 - траверса; 6 - сменные плиты траверсы; 7 - защитный колпак; 8 - вал; 9 - подвижный конус; 10 - сменные плиты конуса; 11 - эксцентриковый стакан; 12 - коническое колесо; 13 - приводной вал; 14 - клиноременная передача; 15 - центральный патрубок

Таблица 6.2

Технические характеристики дробилок типа КМД

| Показатели   | КМД-1200,<br>КМД-1200Т,<br>КМД-1200Гр | КМД-1750,<br>КМД-1750Т,<br>КМД-1750Гр | КМД-2200,<br>КМД-2200Т,<br>КМД-2200Гр | КМД-3000,<br>КМД-3000Т,<br>КМД-3000Гр |
|--|---------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|
| Ширина загрузочного отверстия, мм                                    | 45                                    | 100                                   | 130                                   | 200                                   |
|  | 50                                    | —                                     | 100                                   | 120                                   |
|  | 100                                   | 130                                   | 140                                   | 220                                   |
| Диапазон регулирования ширины загрузочного отверстия, мм             | 3 - 13                                | 5 - 15                                | 5 - 15                                | 6 - 20                                |
|  | 3 - 12                                | 5 - 15                                | 5 - 15                                | 6 - 20                                |
|  | 3 - 15                                | 9 - 20                                | 10 - 20                               | 15 - 25                               |
| Размер наибольшего куска исходного материала, мм                     | 35                                    | 85                                    | 100                                   | 170                                   |
|  | 40                                    | —                                     | 85                                    | 100                                   |
|  | 80                                    | 100                                   | 100                                   | 180                                   |
| Производительность на материале средней прочности, м <sup>3</sup> /ч | 12 - 55                               | 40 - 120                              | 75 - 220                              | 180 - 600                             |
|  | 27                                    | 85 - 110                              | 170 - 220                             | 320 - 440                             |
|  | 45                                    | 95 - 130                              | 220 - 260                             | 360 - 520                             |

Продолжение табл. 6.2

| Показатели                     | КМД-1200,<br>КМД-1200Т,<br>КМД-1200Гр | КМД-1750,<br>КМД-1750Т,<br>КМД-1750Гр | КМД-2200,<br>КМД-2200Т,<br>КМД-2200Гр | КМД-3000,<br>КМД-3000Т,<br>КМД-3000Гр |
|--------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|
| Мощность электродвигателя, кВт | 75                                    | 160                                   | 280                                   | —                                     |
|                                | 75                                    | 160                                   | 250                                   | 500                                   |
|                                | 75                                    | 160                                   | 250                                   | 500                                   |
| Масса подвижного конуса, т     | 3,94                                  | —                                     | 18                                    | —                                     |
| Масса дробилки, т              | 24                                    | 47                                    | 85                                    | —                                     |
|                                | 22                                    | 55                                    | 100                                   | 250                                   |
|                                | 22                                    | 55                                    | 100                                   | 250                                   |
| Длина параллельной зоны, мм    | 200                                   | 275                                   | 350                                   | —                                     |

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. На рис. 6.4 показано устройство двухвалковой дробилки, один из валков которой имеет гладкую, а другой — рифленую поверхности.

В табл. 6.5 приведены характеристики некоторых двухвалковых дробилок.

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.

Технические характеристики конусных дробилок типа КСД

| Показатели   | КСД-600Т | КСД-600Гр, СМ-561А (КСД-600В) | КСД-900Гр, СМД-1200 (КСД-900Б) | КСД-1200Т | КСД-1200Гр (КСД-1200Б) | КСД-1750Т | КСД-1750Гр (КСД-1750Б) | КСД-2200Т (КСД-2200Гр), КСД-2200Б | КСД-3000Гр (КСД-3000Б)  |
|--|----------|-------------------------------|--------------------------------|-----------|------------------------|-----------|------------------------|-----------------------------------|-------------------------|
| Ширина загрузочной щели, мм  | —        | 75                            | 130                            | —         | 185(170)               | 250       | 250                    | (350)                             | 600                     |
| Ширина разгрузочной щели, мм   | 5 — 15   | 12 — 35                       | 15 — 40                        | 10 — 25   | 20 — 25                | 15 — 30   | 25 — 60                | 15 — 30                           | 50 — 80                 |
| Наибольший размер загружаемого куска, мм                             | 40       | 60                            | 105(100)                       | 100       | 150(145)               | 160       | 200(215)               | 250(300)                          | 500(550)                |
| Производительность на материале средней прочности, м <sup>3</sup> /ч | 5 — 15   | 12 — 40 (19 — 40)             | 30 — 70 (30 — 63)              | 42 — 95   | 77 — 115 (70 — 105)    | 100 — 190 | 170 — 320 (60 — 300)   | 180 — 360 (360 — 610)             | 700 — 1100 (850 — 1200) |
| Мощность электродвигателя, кВт                                       | 30       | 30 (28)                       | 55                             | 75        | 75                     | 160       | 160                    | 250 (250)                         | 500                     |
| Масса подвижного конуса, т   | 0,57     | 0,527                         | 1,19                           | 3,94      | 3,94                   | 8,2       | 8,2                    | 18                                | —                       |
| Длина параллельной зоны, мм  | 50       | 50                            | 70                             | 150       | 110                    | —         | 150                    | 250                               | —                       |
| Масса без электродвигателя, т  | 5        | 5                             | 12,5                           | 22        | 32                     | 55        | 55                     | 100 (100)                         | 250                     |

Таблица 6.4

## Технические характеристики конусных редуционных дробилок

| Показатели  | Тип дробилки |         |         |
|---|--------------|---------|---------|
|   | КРД-500      | КРД-700 | КРД-900 |
| Ширина загрузочного отверстия, мм   | 500          | 700     | 900     |
| Наибольший размер загружаемых кусков, мм  | 400          | 550     | 750     |
| Номинальная ширина разгрузочной щели, мм  | 60           | 75      | 100     |
| Частота вращения эксцентрикового вала, об/мин                                   | 145          | 135     | 110     |
| Производительность при дроблении материала средней прочности, м <sup>3</sup> /ч | 200          | 400     | 550     |
| Мощность электродвигателя, кВт  | 210          | 250     | 400     |
| Масса дробилки (без электрооборудования и смазочной станции), т                 | 92           | 138     | 278     |
| Масса подвижного конуса, т  | —            | 34      | —       |

Таблица 6.5

## Технические характеристики двухвалковых дробилок

| Показатели   | Валковые дробилки  |        |        |        |        |                              |
|--|--------------------|--------|--------|--------|--------|------------------------------|
|  | с гладкими валками |        |        |        |        | с рифленым и гладким валками |
| Размер бандажа, мм:<br>диаметр<br>длина  | 400                | 600    | 800    | 1000   | 1500   | 600                          |
|  | 250                | 400    | 500    | 550    | 600    | 400                          |
| Максимальная крупность исходного материала, мм   | 20                 | 30     | 40     | 50     | 75     | 60                           |
| Пределы регулирования выходной щели, мм  | 2 – 12             | 2 – 14 | 4 – 16 | 4 – 18 | 4 – 20 | 10 – 30                      |
| Частота вращения валков, мин <sup>-1</sup>   | 200                | 180    | 150    | 100    | 83     | 175                          |
| Окружная скорость валков, м/с  | 4,2                | 5,6    | 6,2    | 5,2    | 6,5    | 5,5                          |
| Мощность электродвигателей, кВт  | 2×4,5              | 2×7,5  | 28     | 40     | 55     | 20                           |
| Производительность, м <sup>3</sup> /ч, не менее, при выходной щели:<br>минимальной<br>максимальной | 2,7                | 4,3    | 10,8   | 11,9   | 13,0   | 18                           |
|  | 16,2               | 30,2   | 43,0   | 53,5   | 65,0   | 54                           |
| Масса, г   | 2,2                | 3,4    | 12,5   | 15,9   | 32,4   | 3,33                         |



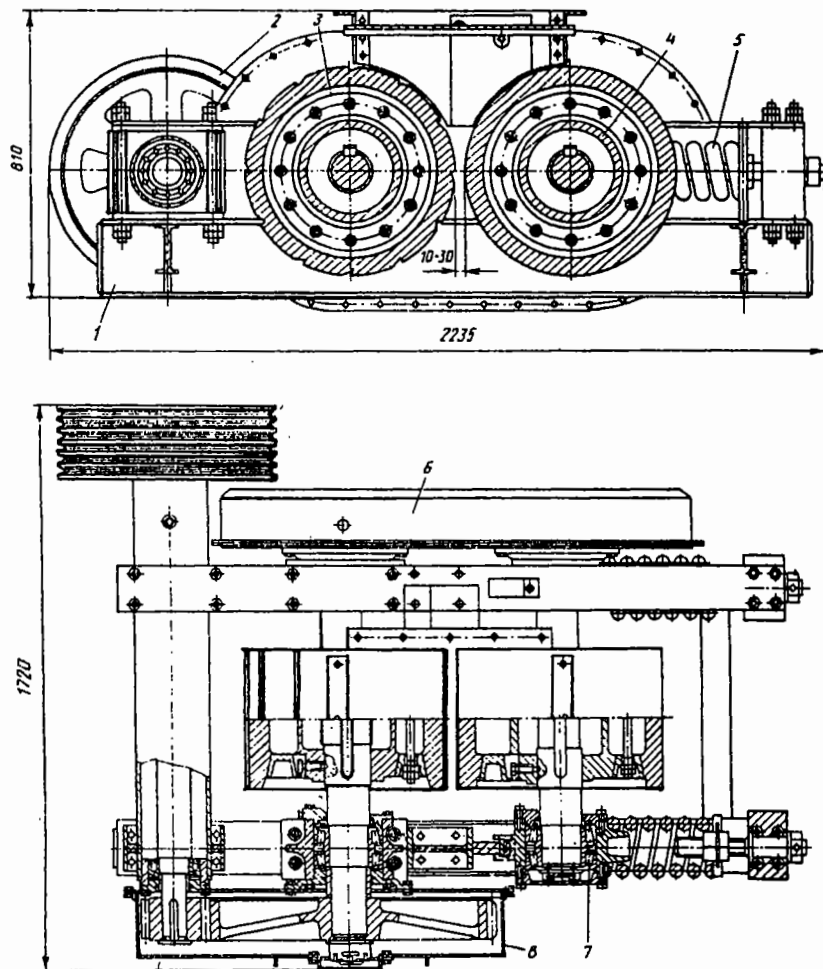


Рис. 6.4. Двухвалковая дробилка с рифленным и гладким валками:

1 – рама; 2 – шкив; 3 – рифленый валок; 4 – гладкий валок; 5 – амортизационные пружины; 6, 8 – кожухи; 7 – подшипник

На рис. 6.5 показано устройство молотковой однороторной дробилки модели СМД-135, предназначенной для измельчения вьюнообразной алюминиевой стружки.

Дробилка СМД-135 состоит из станины 1, на которой смонтирован корпус 2 с колосниковыми решетками 8 и 9. Вьюнообразная стружка поступает в приемный короб 6, откуда она попадает под

удары быстро вращающегося ротора 3, имеющего билы 5, сидящие на осях 4. Отбойные плиты на внутренней поверхности корпуса имеют выступы 7, способствующие равномерной подаче стружки на ротор.

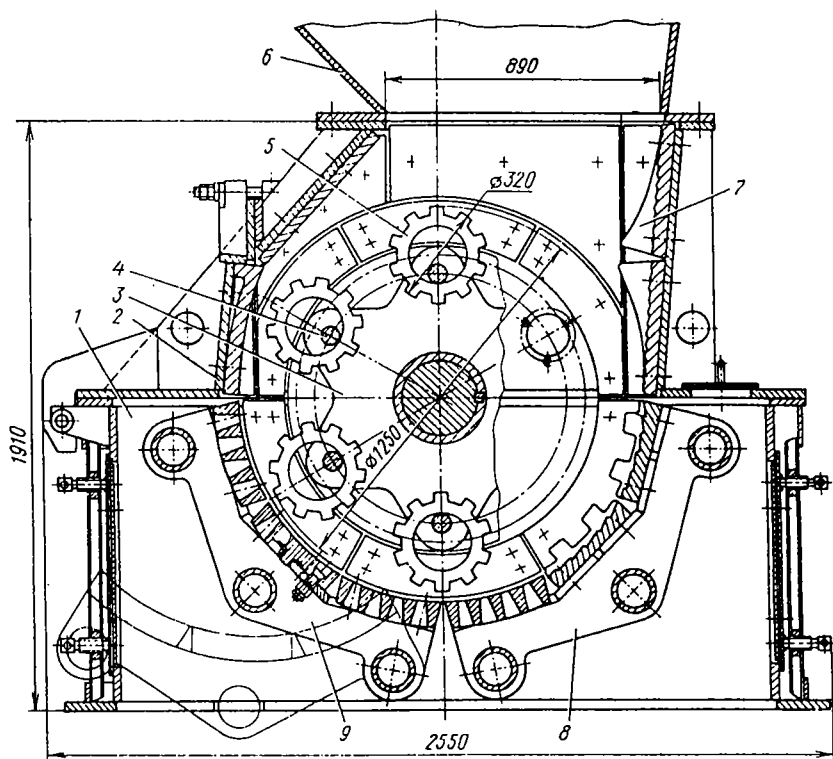


Рис. 6.5. Однороторная молотковая стружкодробилка СМД-135

В табл. 6.6 приведены характеристики некоторых роторных дробилок крупного дробления. Помимо этих дробилок промышленность выпускает однороторные дробилки среднего и мелкого дробления, которые работают при более высоких окружных скоростях ротора и имеют меньшие размеры выходных щелей. Окружная скорость бил ротора таких дробилок устанавливается в зависимости от свойств материала и требуемой степени измельчения и может составлять 20; 24; 28,8; 34,3; 41,5 и 50 м/с. Характеристики дробилок среднего и мелкого дробления приведены в табл. 6.7.

Таблица 6.6

## Технические характеристики однороторных молотковых дробилок

| Показатели   | СМД-112 | СМД-147 | СМД-135 | СМД-170Б | СМД-97 | СМД-98Б |
|--|---------|---------|---------|----------|--------|---------|
| Размеры ротора, мм:                                    |         |         |         |          |        |         |
| диаметр  | 600     | 800     | 1250    | 1300     | 2000   | 2000    |
| длина  | 400     | 600     | 1600    | 1600     | 2000   | 3000    |
| Размер наибольшего куска загружаемого материала, мм    | 150     | 250     | 800     | 400      | 600    | 600     |
| Номинальная частота вращения ротора, мин <sup>-1</sup> | 1250    | 1000    | 500     | 750      | 600    | 600     |
| Мощность электродвигателя, кВт                         | 17      | 55      | 250     | 250      | 800    | 1250    |
| Масса дробилки без электродвигателя, т                 | 1,5     | 3,0     | 25      | 11,0     | 46,0   | 60,0    |
| Размеры, мм:   |         |         |         |          |        |         |
| длина  | 1100    | 1350    | 3000    | 2400     | 4000   | 4000    |
| ширина   | 1100    | 1400    | 3100    | 2800     | 4200   | 5500    |
| высота   | 1150    | 1250    | 5000    | 1900     | 3100   | 3100    |

Таблица 6.7

## Технические характеристики дробилок среднего и мелкого дробления

| Показатели   | ДРС 5×5 | ДРС 6×6 | ДРС 8×8 | ДРС 10×10 | ДРС 12×12 | ДРС 16×16 | ДРС 20×20 |
|--|---------|---------|---------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Производительность, м <sup>3</sup> /ч                | 25      | 35      | 65      | 135       | 200       | 310       | 500       |
| Размеры ротора, мм:                                  |         |         |         |           |           |           |           |
| диаметр  | 500     | 630     | 800     | 1000      | 1250      | 1600      | 2000      |
| длина  | 500     | 630     | 800     | 1000      | 1250      | 1600      | 2000      |
| Максимальный размер куска загружаемого материала, мм | 150     | 190     | 240     | 300       | 375       | 480       | 600       |
| Установленная мощность, кВт                          | 30      | 40      | 75      | 125       | 200       | 320       | 400       |
| Масса дробилки, т                                    | 2,2     | 3,5     | 6,5     | 10        | 18        | 30        | 50        |

Рабочим инструментом ножевых дробилок являются ножи, установленные на вращающемся роторе и на неподвижном статоре. Возможна также установка ножей на двух вращающихся в разные стороны роторах. Роторные ножевые дробилки используют для измельчения тонкостенных отходов из вязких материалов.

На скорость и качество измельчения отходов в ножевых дробилках влияют конструкция ротора, состояние ножей, вид измельчаемого материала, мощность привода и способ загрузки отходов.

Ротор в ножевой дробилке может быть расположен горизонтально, вертикально или наклонно. Измельчение в ножевой дробилке происходит в пространстве между подвижными и неподвиж-

ными ножами, зазор между которыми может составлять 0,1 – 0,4 мм. Количество ножей на роторе изменяется от 3 до 15, окружная скорость ножей 10 – 15 м/с. Размер загрузочного отверстия зависит от вида измельчаемых отходов. Для измельчения кабельного лома, различных профилей из пластмасс используют ножевые дробилки с "узким" входом, а для измельчения крупногабаритных отходов, таких как пластмассовый бампер автомобиля, полые металлические изделия, применяют дробилки с большим загрузочным отверстием.

Размеры измельченного продукта зависят от размера ячеек просеивающего сита или решетки. Мощность привода ножевой дробилки 1 – 160 кВт. Особенно широко ножевые дробилки применяются для измельчения отходов пластмасс (см. 11.2).

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.

Барабанные стержневые и шаровые мельницы (табл. 6.8) широко используют как для сухого, так и для мокрого помола. Тип и размеры этих мельниц характеризуют устройством для эвакуации продукта (разгрузка через решетку или сито либо центральная разгрузка через полую цапфу), внутренним диаметром барабана без футеровки  $D$  и рабочей длиной  $L$ . Различают короткие ( $L < D$ ) и длинные ( $L > D$ ) мельницы. Стержневые мельницы обычно применяют для грубого измельчения отходов. По сравнению с шаровыми мельницами они обеспечивают более равномерный по крупности продукт. Шаровые мельницы с центральной разгрузкой применяют для тонкого и особо тонкого измельчения.

Мелющими телами в стержневых и шаровых мельницах являются соответственно стальные стержни диаметром 25 – 100 мм и длиной 1,2 – 1,6 диаметра мельницы и стальные или чугунные шары диаметром 30 – 125 мм.

Для приближенной оценки необходимого диаметра мелющих тел  $D_{ш}$  (мм) можно использовать выражение:

$$D_{ш} = 6 \sqrt{d_n} \lg d_k, \quad (6.3)$$

где  $d_n$  – максимальный диаметр подлежащих измельчению кусков, мм;  $d_k$  – размер зерен продукта измельчения, мкм.

Степень заполнения барабана мельницы мелющими телами выражают коэффициентом заполнения:

$$\varphi_{ш} = V_{ш}/V = 4G_{ш}/\gamma_{ш}(\pi D^2 L), \quad (6.4)$$

где  $V$  и  $V_{ш}$  – соответственно общий и занятый мелющими телами объемы барабана мельницы,  $\text{м}^3$ ;  $G_{ш}$  – масса загрузки мелющих тел, т;  $\gamma_{ш}$  – масса мелющих тел в единице объема,  $\text{т}/\text{м}^3$  (для приближенных расчетов принимают  $\gamma_{ш} = 4,6-4,8$  для шаров и 6,6 для стержней);  $D$  – внутренний диаметр барабана мельницы, м;  $L$  – длина барабана мельницы, м.

Значение  $\varphi_{ш}$  для шаровых мельниц находится в пределах 45 – 48%, но может быть и значительно меньше; для стержневых мельниц оно составляет ~35%. На практике эту величину оценивают по формуле:

$$\varphi_{ш} = 50 - 127(2l - D)/2D, \quad (6.5)$$

где  $l$  – расстояние от вершины барабана диаметром  $D$  до поверхности мелющих тел.

Массу загрузки мелющих тел  $G_{ш}$  определяют по формуле:

$$G_{ш} = \frac{\pi D^2}{4} L \varphi_{ш} \gamma_{ш}. \quad (6.6)$$

Критическое число оборотов в минуту  $n_{кр}$ , при котором мелющие тела начинают вращаться вместе с барабаном мельницы диаметром  $D$  (м), оценивают по формуле:

$$n_{кр} = 42,3/\sqrt{D}. \quad (6.7)$$

Отношение рабочей частоты вращения  $n$  к критической называют относительной частотой вращения и выражают в процентах или долях единицы:

$$\psi = n/n_{кр}. \quad (6.8)$$

## Техническая характеристика шаровых и стержневых

| Показатели                                 | СМ-432 | СМ-433 | СМ-434<br>(МШЦ-<br>9-18) | СМ-435<br>(МСЦ-<br>9-18) | СМ-601<br>(МШЦ-<br>15-31) | СМ-602<br>(МСЦ-<br>15-31) | СМ-603<br>(МШЦ-<br>15-16,4) | СМ-604 |
|--|--------|--------|--------------------------|--------------------------|---------------------------|---------------------------|-----------------------------|--------|
| Размеры барабана, м:                       |        |        |                          |                          |                           |                           |                             |        |
| диаметр                                    | 0,9    | 0,9    | 0,9                      | 0,9                      | 1,5                       | 1,5                       | 1,5                         | 1,5    |
| длина                                      | 1,8    | 1,8    | 1,8                      | 1,8                      | 3,1                       | 3,1                       | 1,64                        | 1,64   |
| Частота вращения барабана, с <sup>-1</sup> | 0,71   | 0,55   | 0,71                     | 0,55                     | 0,5                       | 0,42                      | 0,5                         | 0,5    |
| Производительность, т/ч                    | 1,5    | 1,7    | 2                        | 2,4                      | 13,3                      | 16                        | 6                           | 5,6    |
| Мощность электродвигателя, кВт             | 20     | 20     | 20                       | 20                       | 100                       | 100                       | 50                          | 55     |
| Масса мельницы, т                          | 4      | 4,8    | 4,34                     | 4,66                     | 18,66                     | 18,66                     | 12,7                        | 12,37  |

Примечания: 1. Мельницы СМ-432 и СМ-604 предназначены для сухого и тонкого, тонкого помола.

2. Обозначение мельниц: МШЦ – мельница шаровая с центральной

3. Мельницы СМ-432, СМ-604 – шаровые, а мельница СМ-433 –

В практике измельчения  $\psi$  обычно составляет 0,72 – 0,85.

Производительность мельниц  $Q$  (т/ч) оценивают по количеству перерабатываемого в единицу времени материала:

$$Q = q_1 V / (\beta_k - \beta_{исх}) \quad (6.9)$$

и по содержанию в измельченном продукте вновь образованного класса  $Q_1$ :

$$Q_1 = Q(\beta_k - \beta_{исх}) / 100, \quad (6.10)$$

где  $q_1$  – удельная производительность по вновь образованному расчетному классу, т/(м<sup>3</sup>·ч);  $\beta_k, \beta_{исх}$  – выход данного класса соответственно в измельченном продукте и в исходном материале, %.

Удельная производительность  $q$  [т/(м<sup>3</sup>·ч)] по перерабатываемому материалу составляет:

$$q = Q / V. \quad (6.11)$$

Таблица 6.8

мельниц с центральной разгрузкой

| СЦ-2<br>(МСЦ-<br>12-24) | ШС-4<br>(МШЦ-<br>21-30) | СЦ-5<br>(МСЦ-<br>21-36) | ШС-5<br>(МШЦ-<br>27-36) | МШЦ-<br>32-5 | МШЦ-<br>36-40 | МШЦ-<br>36-50 | МШЦ-<br>36-55 | МШЦ-<br>40-50 | МШЦ-<br>40-55 |
|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|--------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| 1,2                     | 2,1                     | 2,7                     | 2,7                     | 3,2          | 3,6           | 3,6           | 3,6           | 4,0           | 4,0           |
| 2,4                     | 3,0                     | 3,6                     | 3,6                     | 4,5          | 4,0           | 5,0           | 5,5           | 5,0           | 5,5           |
| 0,6                     | 0,4                     | 0,25                    | 0,35                    | 0,25         | 0,3           | 0,3           | 0,3           | 0,29          | 0,289         |
| 6                       | 8 – 24                  | 70 – 160                | 20 – 50                 | 200          | 150           | 300           | 180           | 400           | 500           |
| 40                      | 230                     | 380                     | 380                     | 800          | 1100          | 1250          | 1250          | 1500          | 1500          |
| 12,8                    | 46                      | 81,2                    | 72                      | 135          | 150           | 162           | 157,2         | 170           | 1750          |

мельницы СМ-435 и СМ-502 – для мокрого грубого, остальные – для мокрого

разгрузкой; МСЦ – то же, стержневая.  
стержневая.

Значения  $q_1$  могут быть определены по аналогичному выражению:

$$q_1 = Q_1/V. \quad (6.12)$$

Одной из разновидностей барабанных мельниц можно считать мельницы самоизмельчения, в которых разрушение материала происходит в результате удара кусков друг о друга при падении, истирании и качении, а также вследствие ударов о детали внутренней поверхности барабана. Измельчение в таких мельницах может быть сухим и мокрым. Поскольку в мельницах самоизмельчения мелющие тела отсутствуют, то в них не происходит загрязнение измельчаемого материала частицами, образующимися вследствие износа мелющих тел. Важную роль при измельчении материалов в мельницах самоизмельчения играет конструкция барабана, сочетающего цилиндрические и конические обечайки, внутри кото-

рых имеются различные пластины и ребра жесткости, изменяющие направление движения кусков материала в нем.

Классификация мельниц самоизмельчения проводится прежде всего по скорости движения кусков материала в барабане. По этому критерию мельницы подразделяются на тихоходные со скоростью менее 20 м/с и высокоскоростные со скоростью кусков выше 100 м/с.

Готовый продукт при первичном измельчении имеет размеры 0,2 – 0,5 мм. Вторичное измельчение позволяет снизить размеры частиц готового продукта до < 0,2 мм.

Применение мельниц самоизмельчения, имеющих большие габариты (диаметр и длина барабана достигают соответственно 7 – 10 и 2 – 6 м) и большую производительность (десятки и сотни тонн в час), целесообразно при необходимости переработки больших количеств однородного материала, например строительных отходов. Наибольшее применение мельницы самоизмельчения нашли на горно-обогатительных комбинатах для измельчения металлических руд и других полезных ископаемых.

Широкое применение для помола приобрели вибрационные мельницы, в которых так же, как и в шаровых и стержневых, измельчение происходит в барабане с помощью подвижных мелющих тел. Однако в отличие от последних рабочая камера вибромельницы не вращается вокруг собственной оси, а измельчение в ней происходит в результате колебаний, создаваемых вибровозбудителем. При этом мелющие тела соударяются с измельчаемым материалом, загруженным в рабочую камеру. Высокие механические напряжения, возникающие в результате соударения в частицах измельчаемого материала, приводят к их разрушению.

По сравнению с барабанными вибромельницы имеют в 4 – 5 раз более высокую производительность и в 2 – 3 раза меньшие габариты.

На процесс измельчения влияют мощность, размеры и масса мелющих тел, природа измельчаемого материала, частота и амплитуда колебаний рабочей поверхности.

Наряду с помолом вибромельницы могут использоваться для уплотнения и гомогенизации обрабатываемого материала, а также для его поверхностной обработки.

Рабочие поверхности мелющих тел, находящихся в помольной камере вибромельницы, совершают сложные колебательные движения благодаря большому числу степеней свободы камеры.

Конструкции вибромельниц достаточно хорошо проработаны, промышленность выпускает их в широком ассортименте. Классификация вибромельниц проводится по виду движения камеры и по основным конструктивным признакам. Вибромельницы делят на две группы: с неподвижной камерой, в которой имеются подвижные рабочие поверхности, и с подвижной, т.е. вибрирующей камерой.



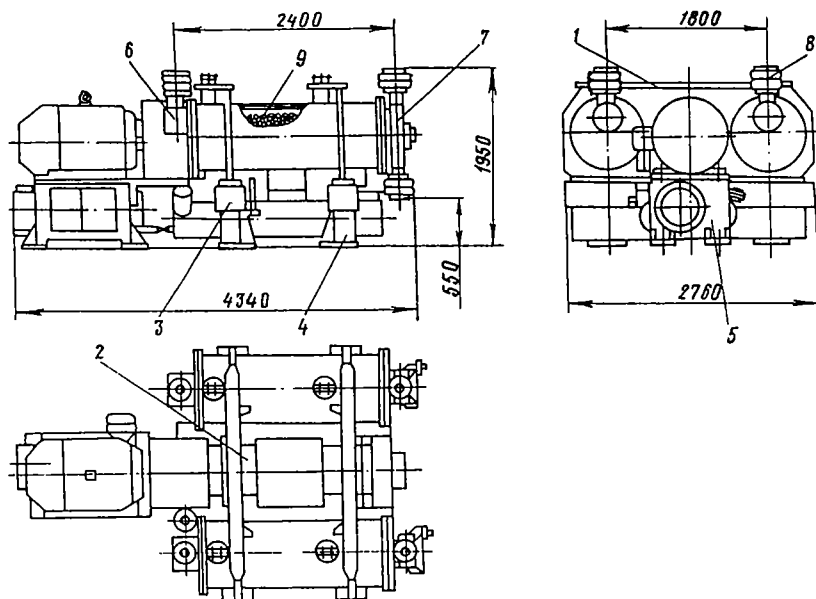


Рис. 6.6. Вибрационная мельница СВМ-320:

1 – блок помольных камер; 2 – вибровозбудитель; 3 – упругая опора; 4 – основание мельницы; 5 – станция смазки; 6 – загрузочное устройство; 7 – разгрузочное устройство; 8 – эластичные соединители; 9 – измельчаемый материал

В промышленности используют мельницы с вибрирующей камерой (рис. 6.6). Вибромельница состоит из камеры с мелющими телами, вибровозбудителя, упругой опоры и основания. Загрузка измельченных материалов в камеру может осуществляться механическими или пневматическими способами.

Вибрационные мельницы могут использоваться как для промышленных, так и для лабораторных целей, в соответствии с которыми их мощность может составлять от 10 до  $10^6$  Вт. Для промышленного применения используют вибромельницы с мощностью 1 – 1000 кВт. Для непрерывного измельчения используют трубные вибромельницы, имеющие камеру в виде трубы, длина которой в несколько раз (как правило, в 6 – 7) превышает ее диаметр. Анализ характеристик отечественных и зарубежных машин показывает, что вибромельницы российского производства превосходят зарубежные по важнейшим показателям: удельной производительности, мощности, интенсивности рабочего процесса. В табл. 6.9 приведены характеристики отечественных вибромельниц промышленного назначения.

Для тонкого измельчения используются бисерные, шаровые, струйные, вибрационные, центробежные, коллоидные мельницы и дезинтеграторы. Бисерные мельницы применяют для непрерывного измельчения материалов в жидкой среде. В качестве мелющих тел используют стеклянный, керамический или стальной бисер – шарики диаметром 0,3 – 10 мм. Загрузка мелющих тел достигает 85% объема камеры. Размольный аппарат бисерной мельницы представляет собой камеру с охлаждающей рубашкой, в которой вращается вал с насаженными на него дисками (ротор). Исходный материал в виде суспензии подается в камеру под давлением, где дробится и истирается при соударении с мелющими телами. Объем камеры выпускаемых бисерных мельниц может составлять от 0,15 до 1000 л. Производительность бисерных мельниц достигает 4 м<sup>3</sup>/ч.

Таблица 6.9

## Характеристики промышленных вибромельниц

| Показатели   | СВМ-2 | СВМ-40 | СВМ-75 | СВМ-160 | СВМ-320 | СВМ-640 |
|--|-------|--------|--------|---------|---------|---------|
| Мощность, кВт  | 2,2   | 37     | 75     | 160     | 315     | 630     |
| Суммарный объем помольных камер, м <sup>3</sup>  | 0,1   | 0,4    | 0,6    | 1,0     | 1,5     | 3,5     |
| Масса (без двигателя и мелющих тел), т   | 0,3   | 1,2    | 1,8    | 7       | 10      | 20      |
| Производительность по эталону (кварцевой муке с уд. поверхностью 3000 см <sup>2</sup> /г), т/ч | 0,036 | 0,6    | 1,2    | 2,5     | 5       | 10,7    |
| Удельная производительность:   |       |        |        |         |         |         |
| кг/(ч·т) (массы мельницы)  | 120   | 500    | 660    | 350     | 500     | 500     |
| кг/(ч·м <sup>3</sup> ) (объема камеры)   | 3,6   | 1,5    | 2,0    | 2,5     | 3,3     | 2,9     |

Барабанные шаровые мельницы для тонкого измельчения по своей конструкции аналогичны устройствам для крупного дробления. По своей производительности они могут различаться на пять порядков: от нескольких килограммов до нескольких сотен тонн в час. Такие мельницы в зависимости от конструкции могут работать в непрерывном и периодическом режимах и использоваться для сухого и мокрого помола. Размер частиц исходного материала составляет 1 – 50 мм, а измельченного продукта 5 – 40 мкм. Отечественная промышленность выпускает для тонкого помола шаровые барабанные мельницы модели ШБМ, шаровые мельницы с разгрузкой через решетку МШР и шаровые мельницы с центральным сливом МШЦ в большой номенклатуре типоразмеров. Загрузка измельчающих стальных шаров диаметром 30 – 125 мм составляет 40 – 45% объема камеры.

Помол в струйных мельницах осуществляется при соударении частиц материалов, происходящем при турбулентном движении газового потока, в котором они диспергированы. Струйные мельницы представляют собой размольную камеру, снабженную загрузочной воронкой с эжектором. Подаваемый в камеру на измельчение продукт попадает под мощные струи сжатого воздуха, движущегося со сверхзвуковой скоростью, в результате чего частицы соударяются и истираются друг о друга и о стенки камеры. Камера на выходе снабжена классификатором, в результате чего измельченный до нужного состояния продукт выносится из нее, а остальной материал продолжает измельчаться. Размер частиц исходного материала – до 250 мкм, а готового продукта 2 – 3 мкм. Производительность отечественных струйных мельниц – от 0,5 до 1000 кг/ч. За рубежом выпускаются струйные мельницы и с более высокой производительностью – до 10 т/ч.

Вибрационные мельницы по конструкции и принципу действия не отличаются от вибрационных дробилок, имеют те же достоинства – высокую производительность, низкую энергоемкость и другие. Объем размольной камеры отечественных вибромельниц марки СВМ может составлять от 0,05 до 700 л, а производительность – до 8 т/ч измельченного продукта.

Дезинтеграторы позволяют измельчать материалы практически любого вида: металлы, органические продукты, пластмассы, резину и др. С их помощью можно производить разволокнение волокнистых материалов, в т.ч. композиционных. Размер частиц измельчаемого материала может составлять от 2 – 5 до 20 – 50 мм. Измельчение материалов в дезинтеграторе происходит при очень высоких скоростях рабочего инструмента – до 300 м/с, а производительность дезинтеграторов достигает 80 т/ч. Отечественная промышленность выпускает дезинтеграторные установки, характеристики которых приведены в табл. 6.10.

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.

Таблица 6.10

## Характеристики дезинтеграторных установок

| Показатели                                 | 99-3 | ДЕЗИ-6    | ДЕЗИ-15   | ДЕЗИ-80    |
|--|------|-----------|-----------|------------|
| Производительность, т/ч                    | 1,5  | 3 – 6     | 10 – 20   | 25 – 80    |
| Установленная мощность, кВт                | 60   | 200 – 300 | 300 – 600 | 700 – 1100 |
| Частота вращения ротора, мин <sup>-1</sup> | 3000 | 3000      | 1500      | 1500       |
| Диаметр ротора, мм                         | 600  | До 800    | До 1400   | До 1400    |
| Габариты, мм, не более:                    |      |           |           |            |
| длина                                      | 1400 | 3400      | 3600      | 3600       |
| ширина                                     | 1100 | 1800      | 2200      | 2400       |
| высота                                     | 1400 | 2000      | 2400      | 2600       |
| Масса, кг, не более                        | 900  | 8000      | 12000     | 13000      |

Последовательный ряд размеров отверстий сит, применяемых для грохочения, называется шкалой классификации. Отношение размеров отверстий смежных сит называется модулем шкалы. Для сит крупного и среднего грохочения модуль чаще равен 2, при этом шкала классификации равна, например, 50, 25, 12, 6, 3 мм. В ситах мелкого грохочения применяют модуль  $\sqrt{2} \cong 1,41$ .

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 (табл. 6.11)

Таблица 6.11

## Классификация грохочения

| Вид грохочения | Крупность исходного материала, мм | Размер отверстия просеивающей поверхности, мм |
|----------------|-----------------------------------|---|
| Крупное        | -1200                             | 100 - 300                                     |
| Среднее        | -350                              | 25 - 60                                       |
| Мелкое         | -75                               | 6 - 25  |
| Тонкое         | -10                               | 0,5 - 5                                       |
| Особо тонкое   | -1                                | До 0,05                                       |

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, гирационные, вибрационные с прямолинейными вибрациями (резонансные, самобалансные, с самосинхронизирующимися вибраторами) и с круговыми или эллиптическими вибрациями (инерционные с дебалансным вибратором, самоцентрирующиеся, электровибрационные) 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.

Виброгрохоты отличаются наличием вибрационного возбудителя. В большинстве конструкций используют центробежные (дебалансные) вибровозбудители с вращающейся неуравновешенной массой (инерционным элементом). Существуют также грохоты с

электромагнитным вибровозбудителем, в которых колебания генерируются за счет воздействия переменного магнитного поля на ферромагнитные тела. Классификационными признаками виброгрохотов являются динамические, технологические и конструкционные (количество просеивающих поверхностей).

подавляющее большинство выпускаемых виброгрохотов – это одномассные зарезонансные (при зарезонансном режиме частота вынужденных колебаний превышает частоту собственных колебаний грохота) аппараты с дебалансным вибровозбудителем, которые согласно стандарту подразделяются на три типа: Л, С и Т.

Грохоты типа Л (легкие) предназначены для грохочения сыпучих материалов с насыпной плотностью до  $1,4 \text{ т/м}^3$ ; грохоты типа С (средние) – для грохочения материалов с насыпной плотностью до  $1,8 \text{ т/м}^3$  и грохоты типа Т (тяжелые) – для грохочения материалов с насыпной плотностью до  $2,8 \text{ т/м}^3$ .

Технические характеристики инерционных наклонных грохотов приведены в табл. 6.12 и 6.13.

На рис. 6.7 показан легкий инерционный грохот марки ГИЛ43.

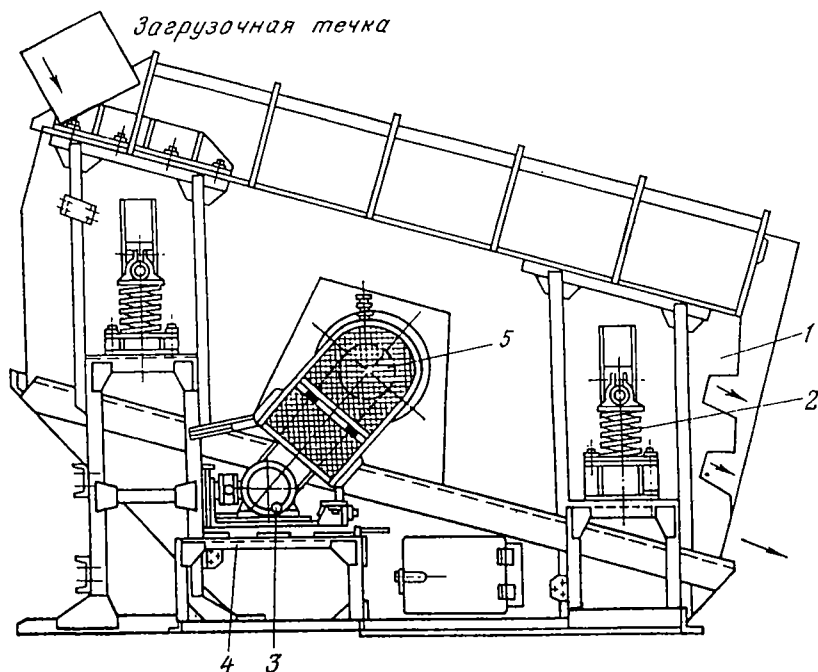


Рис. 6.7. Легкий инерционный грохот ГИЛ43:

1 – корпус; 2 – пружинные амортизаторы; 3 – электродвигатель; 4 – рама; 5 – инерционный вибровозбудитель

Таблица 6.12

## Технические характеристики инерционных наклонных грохотов легкого и среднего типа

| Показатели                                  | Грохоты легкого типа |                   |            |           |            | Грохоты среднего типа |                       |
|---|----------------------|-------------------|------------|-----------|------------|-----------------------|-----------------------|
|   | ГИЛ 32               | ГИЛ 42            | ГИЛ 43     | ГИЛ 52    | ГИК 52     | ГИС 42                | ГИС 52                |
| Размеры просеивающей поверхности, мм        | 1250×2500            | 1500×3750         | 1500×3750  | 1750×4500 | 1750×3000  | 1500×3750             | 1750×4500             |
| Количество сит, шт.                         | 2                    | 2                 | 2          | 2         | 2          | 2                     | 2                     |
| Угол наклона короба, град.                  | 10 – 25              | 10 – 25           | 10 – 25    | 10 – 25   | 14 – 18    | 10 – 25               | 10 – 25               |
| Частота колебаний короба, мин <sup>-1</sup> | 1150                 | 900; 1000         | 970        | 870       | 900; 970   | 900                   | 900                   |
| Амплитуда колебаний (полуразмах), мм        | 2,5                  | 3; 3,5            | 2,5        | 3; 2,5    | 3; 3,5     | 4,5                   | 3,7                   |
| Размеры отверстий сит, мм                   | 6; 10; 25; 50        | 6; 10; 13; 25; 50 | 13; 25; 50 | 55; 30    | 60; 35; 50 | 40; 12                | 40; 12                |
| Мощность электродвигателя, кВт              | 4,0                  | 7,5               | 7,5        | 7,5       | 13         | 10                    | 15                    |
| Масса, кг                                   | 1740                 | 3300              | 4120       | 3540      | 3400       | 3500                  | 3935                  |
| Максимальная производительность, т/ч        | 100                  | 180               | 200        | 250       | 400        | 70 м <sup>3</sup> /ч  | 100 м <sup>3</sup> /ч |

Технические характеристики инерционных наклонных грохотов тяжелого типа

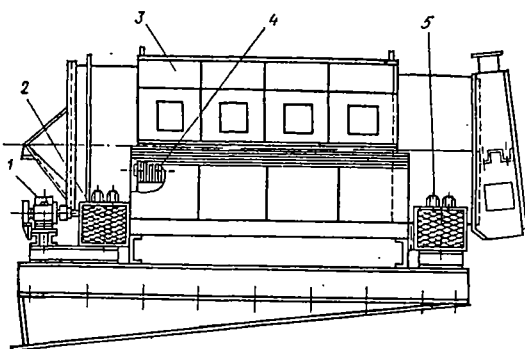
| Показатели                                  | Значения характеристик для грохота |                  |         |                       |                  |                          |                  |          |          |                        |
|---|------------------------------------|------------------|---------|-----------------------|------------------|--------------------------|------------------|----------|----------|------------------------|
|   | ГИТ32Н                             | ГИТ41            | ГИТ41А  | ГИТ42Н                | ГИТ51Б           | ГИТ51Н                   | ГИТ51А           | ГИТ52Н   | ГИТ61СО  | ГИТ71Н                 |
| Размеры просеивающей поверхности, м         | 15,2×2,5                           | 1,5×3            | 1,5×3   | 1,5×3                 | 1,75×4,5         | 1,75×3,5                 | 1,75×3,5         | 1,75×3,5 | 2×6      | 2,5×5                  |
| Количество сит, шт.                         | 2                                  | 1                | 1       | 2                     | 1                | 1                        | 1                | 2        | 1        | 1                      |
| Угол наклона короба, град.                  | 10 – 30                            | 10 – 30          | 10 – 30 | 10 – 30               | 10 – 30          | 10 – 30                  | 10 – 30          | 10 – 30  | 15 – 25  | 10 – 30                |
| Частоты колебаний короба, мин <sup>-1</sup> | 776; 970                           | 800              | 970     | 970                   | 640;<br>720; 800 | 640;<br>720;<br>800; 970 | 600;<br>645; 720 | 543; 970 | 1000     | 520; 650;<br>730       |
| Амплитуда колебаний (полуразмах), мм        | 3 – 5                              | 3                | 3 – 5   | 3 – 5                 | 3 – 7            | 3 – 7                    | 5 – 7            | 3 – 5    | 4 – 5    | 3,9 – 7,6              |
| Размеры отверстий сит, мм                   | 20; 80;<br>40; 12×12               | 80; 40;<br>25×25 | 8 – 12  | 12; 16;<br>20; 25; 40 | 8 – 12           | 6 – 80                   | 50 – 150         | 20 – 100 | 20 – 100 | 50 – 120               |
| Мощность электродвигателя, кВт              | 10                                 | 13               | 13      | 13                    | 17               | 17                       | 22               | 22       | 17       | 30                     |
| Масса, кг                                   | 5130                               | 5450             | 5980    | 5980                  | 6030             | 6890                     | 8506             | 7320     | 1200     | 15615                  |
| Максимальная производительность, т/ч        | 360                                | 670              | 120-230 | 850                   | 50 – 60          | 1000                     | 300-1000         | 1000     | 135      | 1200 м <sup>3</sup> /ч |



Для сортировки твердых бытовых отходов широко используются барабанные грохоты (рис. 6.8).

Рис. 6.8. Самоочищающийся барабанный грохот:

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



Характеристики барабанных грохотов для сортировки твердых бытовых отходов приведены ниже:

|  | ГЦ-01   | КМ-201А |
|--|---------|---------|
| Производительность, т/ч . . . . .                  | 20 – 25 | 20 – 25 |
| Эффективность грохочения, % . . . . .              | 80 – 90 | 80 – 90 |
| Диаметр барабана, мм . . . . .                     | 2000    | 2500    |
| Длина просеивающей части, мм . . . . .             | 4370    | 4000    |
| Диаметр ячеек сита, мм . . . . .                   | 45; 60  | 45; 60  |
| Угол наклона к горизонту, град . . . . .           | 5       | 7       |
| Частота вращения сита, мин <sup>-1</sup> . . . . . | 10 – 15 | 11 – 13 |
| Мощность электропривода, кВт . . . . .             | 2×7,5   | 2×15    |
| Наличие очистного устройства . . . . .             | Нет     | Есть    |
| Масса, т . . . . .                                 | 14      | 20      |

Рабочим элементом любого грохота является просеивающая поверхность. Большое влияние на долговечность просеивающих поверхностей грохотов оказывает природа материала, из которого они изготовлены. Металлические просеивающие поверхности быстро изнашиваются, срок службы металлотеток составляет всего 50 – 100 ч, после чего они подлежат замене.

В последние годы широко используются просеивающие поверхности из полимерных материалов. Для крупного грохочения применяют просеивающие поверхности из резины, усиленные стальной арматурой, а также резиновые карты и полурезиновые сита.

Среднее и мелкое грохочение проводят с помощью резиновых карт, резиновых и полиуретановых матов и полиуретановых армированных панелей. Для этих же целей используют струнные и резинотросовые сита.

Тонкое грохочение осуществляют на поверхностях из полиуретана, резины, синтетических тканей (сеток из полимерных мононитей). Для тонкого грохочения разработаны специальные виброгрохоты моделей СНВ и ТНВ с просеивающей поверхностью из полиамидной сетки, грохоты моделей Гр299 и ГП-0,75 с полиуретановыми ситами и другие.

Технология измельчения и классификация отходов по крупности может быть организована с использованием либо открытых циклов работы измельчителей, когда перерабатываемый материал проходит через дробилку только один раз, либо замкнутых циклов с грохотом, надрешетный продукт которого возвращают в дробилку. Некоторые распространенные варианты схем измельчения и классификации твердых отходов представлены на рис. 6.9.

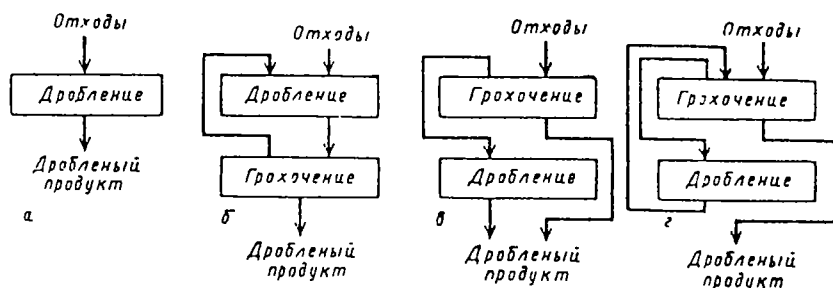


Рис. 6.9. Некоторые схемы дробления и классификации отходов по крупности: а – одностадийная с открытым циклом; б – одностадийная с проверочным грохочением; в – одностадийная с открытым циклом и предварительным грохочением; г – одностадийная с предварительным и проверочным грохочением

При выделении трех и более классов перерабатываемого материала возможно различное технологическое оформление процесса грохочения (рис. 6.10). Каждая из этих схем имеет свои преимущества и недостатки, касающиеся интенсивности износа ячеистых поверхностей, удобства ремонта и наблюдения за их состоянием, эффективности процесса и компактности установки.

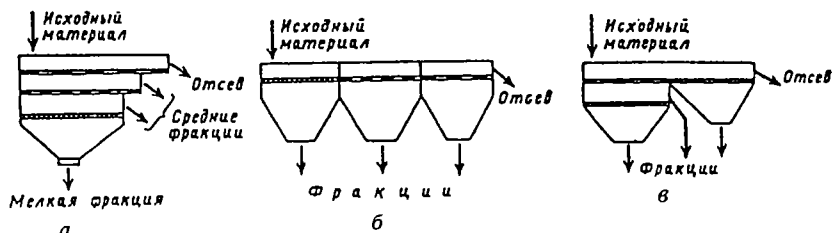


Рис. 6.10. Схемы выделения материалов различных классов при грохочении: а – от крупного к мелкому; б – от мелкого к крупному; в – комбинированным способом

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

Основным показателем грохочения является эффективность процесса  $E$  (%), определяемая отношением количества подрешетного продукта к его общему количеству в исходном материале:

$$E = 10^4(\alpha - \nu)/\alpha(100 - \nu), \quad (6.13)$$

где  $\alpha$  и  $\nu$  – содержание нижнего класса соответственно в исходном материале и подрешетном продукте, %.

Расчет грохотов достаточно прост и описан в специальной литературе.

## 6.2. 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, имеющие как самостоятельное, так и вспомогательное значение и объединяющие различные приемы гранулирования, таблетирования, брикетирования и высокотемпературной агломерации. 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 (расхода порошков и связующих, соотношения ретур – затравки и порошка, температурного режима, частоты вращения, коэффициента заполнения аппарата) и конструктивных факторов (геометрических размеров аппарата, угла наклона и др.).

Получившие большое распространение на практике барабанные грануляторы часто снабжают различными устройствами для интенсификации процессов, предотвращения прилипания порошков к рабочей поверхности, сортировки гранул по размерам. Они характеризуются большой производительностью (до 70 т/ч), относительной простотой конструкции, надежностью в работе и сравнительно невысокими удельными энергозатратами. Однако барабанные грануляторы не позволяют получить гранулят узкого фракционного состава, а также осуществить контроль и управление процессом.

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

Например, для гранулирования порошкообразных продуктов используют тарельчатый гранулятор окатывания ОТ100К02, устройство которого показано на рис. 6.11, а технические характеристики приведены ниже:

|  |           |
|--|-----------|
| Производительность, кг/ч . . . . .                 | 80 – 200  |
| Диаметр тарели, мм . . . . .                       | 1000      |
| Высота борта тарели, мм . . . . .                  | 150 – 250 |
| Частота вращения тарели, с <sup>-1</sup> . . . . . | 0,11– 1,1 |
| Угол наклона тарели, град . . . . .                | 30 – 75   |
| Расход связующей жидкости, кг/ч . . . . .          | 30        |
| Расход воздуха, м <sup>3</sup> /ч . . . . .        | 1,5       |
| Габариты, мм:                                      |           |
| длина . . . . .                                    | 1800      |
| ширина . . . . .                                   | 1170      |
| высота . . . . .                                   | 1960      |
| Масса, кг . . . . .                                | 635       |

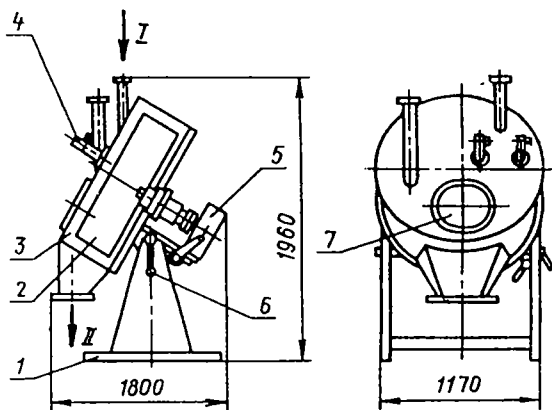


Рис. 6.11. Гранулятор окатывания тарельчатый ОТ100К02:

1 – станина; 2 – тарель; 3 – кожух; 4 – форсунка; 5 – электропривод; 6 – механизм поворота; 7 – смотровой люк; I – вход порошка; II – выход гранул

Гранулирование порошков происходит следующим образом. Материал поступает на наклонную вращающуюся тарель 2, увлажняется связующей жидкостью, подаваемой через форсунку 4, и окатывается до гранул заданной величины. Угол наклона тарели регулируется с помощью механизма 6.

Существует много конструкций тарельчатых грануляторов, различающихся размерами, наличием или отсутствием отдельных конструктивных элементов, а также их формой и расположением. Обычно применяют тарели (чаши, диски) диаметром 1 – 6 м, с высотой борта до 0,6 м.

Связь производительности тарельчатого гранулятора  $Q$  (т/ч) с диаметром  $D$  тарели (м) в общем виде выражается зависимостью:

$$Q = KD^2, \quad (6.14)$$

где  $K$  – коэффициент грануляции, значение которого может быть найдено в специальной литературе (для летучей золы, например,  $K = 0,4 - 0,55$ ).

Тарельчатые грануляторы экономичнее барабанных, более компактны и требуют меньших капитальных вложений. Их недостатком являются высокая чувствительность к содержанию жидкой фазы в обрабатываемом материале и, как следствие, узкие пределы рабочих режимов.

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.

Например, для гранулирования влажных порошкообразных материалов используют прессующие грануляторы марок ФП025К08 и ФП040К01 производительностью до 200 и 500 кг/ч соответственно. Гранулируемый влажный материал в таких машинах запрессовывается в отверстия вращающегося ротора; сформировавшиеся в них гранулы затем выталкиваются в приемник с помощью толкателей. Прессующие грануляторы могут изготавливать гранулы как в виде цилиндров, так и в виде таблеток.

Валковые грануляторы снабжают прессующими элементами с рабочей поверхностью различного профиля, что позволяет получать спрессованный материал в виде отдельных кусков (обычно с поперечным сечением до 30 мм), прутков, плиток и полос. Эти ме-

ханизмы часто совмещают с дробилками (обычно также валкового типа), обеспечивающими получение из спрессованных полупродуктов гранул заданных размеров.

Производительность валковых грануляторов составляет 5 – 100 т/ч. Ориентировочно ее можно оценить по формуле:

$$Q = 188,4 \cdot 10^3 \psi \rho_n b n L D, \quad (6.15)$$

где  $b$  – ширина зазора между валками, м;  $L$  – длина валка, м;  $D$  – диаметр валка, м;  $\rho_n$  – насыпная плотность исходного материала, кг/м<sup>3</sup>;  $n$  – частота вращения валков, 1/с;  $\psi = 0,5 - 0,6$ .

Принципы прессового гранулирования реализуют также в червячных прессах (экструдерах) различной конструкции, рабочими элементами которых являются червяки (шнеки), пластицирующие 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.

На рис. 6.12 приведена конструкция шнекового гранулятора марки ФШ010К02. Продавливаемый через фильерную решетку материал выходит из нее в виде жгутов, которые ломаются вследствие низкой прочности под действием собственной массы, образуя гранулы в виде небольших цилиндриков.

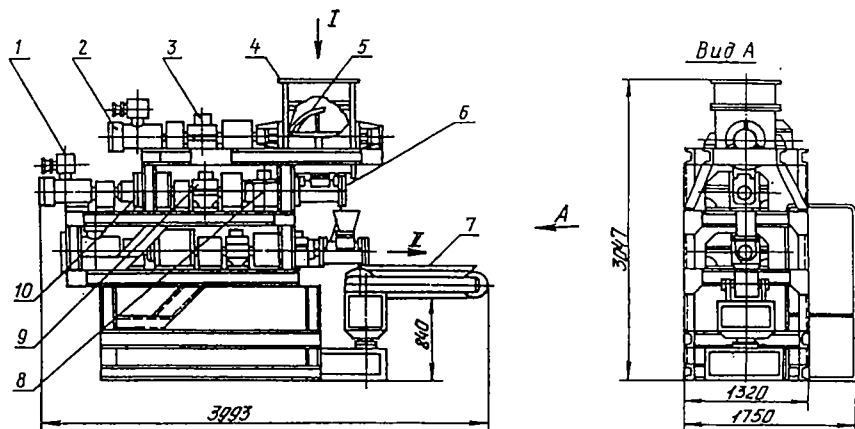


Рис. 6.12. Гранулятор шнековый ФШ010К02:

- 1 – электродвигатель привода шнека; 2 – электродвигатель ворошителя; 3 – редуктор; 4 – бункер-накопитель; 5 – Z-образный ворошитель; 6 – фильерная решетка; 7 – ленточный транспортер-раскладчик; 8 – корпус; 9 – редуктор; 10 – вариант;  
I – вход порошка; II – выход гранул

Характеристики аппаратов для грануляции пастообразных материалов приведены в табл. 6.14.

Таблица 6.14

Характеристики шнековых и роторных грануляторов пастообразных материалов

| Показатели                              | ФШ010К2     | ФШ015К02   | ФШ020К01 | ФР047К01 | ФР070К03 |
|---|-------------|------------|----------|----------|----------|
| Производительность, кг/ч                | 400         | 500        | 1500     | 550      | 1540     |
| Диаметр гранул, мм                      | 3 – 5       | 5          | 3 – 4    | 5        | 5        |
| Диаметр шнека, мм                       | 100         | 150        | 200      | –        | –        |
| Диаметр ротора, мм                      | –           | –          | –        | 468      | 702      |
| Частота вращения шнека, с <sup>-1</sup> | 0,32 - 0,64 | 0,32; 0,48 | 0,73     | –        | –        |
| Габариты, мм:                           |             |            |          |          |          |
| длина                                   | 3993        | 3810       | 3680     | 2915     | 26840    |
| ширина                                  | 1750        | 887        | 1180     | 1320     | 3660     |
| высота                                  | 3047        | 1700       | 1015     | 1935     | 3050     |
| Масса, кг                               | 2840        | 1300       | 2100     | 2660     | 59800    |

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.

При переработке металлургических и топливных шлаков широко используются специальные методы гранулирования силикатных расплавов, которые рассмотрены в гл. 10.

**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. Производительность наиболее распространенных таблеточных машин составляет от 3 до 96 тыс. таблеток в час.

*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 приготавливают 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 – фракция с размером частиц менее 8 мм, выход которой составляет 30 – 35%, – возвращают на агломерацию.

Применяющиеся для высокотемпературной агломерации конвейерные машины с верхним зажиганием шихты производительностью 400 – 500 т/ч отличаются выделением больших объемов раз-



бавленных по загрязняющим компонентам (CO, SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>) агломерационных газов. Агломашины с нижним зажиганием в значительной степени лишены этого недостатка.

### 6.3. Смешение материалов

Смешение широко используется при переработке отходов с целью диспергирования материалов друг в друге, получения однородной 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. Области их применения и некоторые характеристики приведены в табл. 6.15.

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

Таблица 6.15

## Некоторые характеристики смесителей с мешалками

| Показатели                                  | Виды мешалок           |                           |                      |                     |                                       |
|---|------------------------|---------------------------|----------------------|---------------------|---------------------------------------|
|   | лопастные <sup>1</sup> | пропеллерные <sup>2</sup> | якорные <sup>3</sup> | рамные <sup>3</sup> | турбинные открытого типа <sup>3</sup> |
| Вязкость перемешиваемых материалов, Па·с    | 0,1 – 50               | 0,001 – 10                | 0,1 – 5              | 1 – 100             | 0,001 – 5                             |
| Объем аппарата, м <sup>3</sup>              | 1 – 50                 | 1 – 50                    | 1 – 10               | 1 – 50              | 1 – 50                                |
| Максимальная окружная скорость мешалки, м/с | 1,5 – 5,0              | 3,8 – 16,0                | 0,5 – 4,0            | 0,8 – 7,0           | 2,5 – 10,0                            |
| Диаметр мешалки, мм                         | 700 – 2650             | 300 – 1000                | 800 – 2800           | 800 – 2800          | 300 – 1000                            |
| Скорость вращения, с <sup>-1</sup>          | 0,11 – 1,5             | 2,0 – 16,7                | 0,3 – 0,97           | 0,3 – 0,97          | 2,0 – 10,5                            |
| Мощность, кВт                               | 0,01 – 17,8            | 0,04 – 56,8               | 0,01 – 26,6          | 0,01 – 63,8         | 0,06 – 93,8                           |

<sup>1</sup> Служат для смешивания жидкостей, растворения твердых веществ в жидкостях, кристаллизации, выравнивания температуры жидкости.

<sup>2</sup> Для смешивания жидкостей, выравнивания температуры.

<sup>3</sup> Для смешивания вязких жидкостей, диспергирования твердых частиц в вязких жидкостях.

Для смешения и усреднения сыпучих материалов с крупностью частиц до 5 мм и насыпной плотностью не более 1,3 г/см<sup>3</sup> используют планетарно-шнековые смесители периодического действия, представляющие собой коническую смесительную камеру с расположенными в ней двумя шнеками (рис. 6.13).

Шнеки вращаются вокруг собственной оси, а наклонный шнек – еще и вдоль поверхности смесителя с помощью водила.

Для непрерывного процесса смешения сыпучих материалов с насыпной плотностью до 1,5 г/см<sup>3</sup> удобен центробежный смеситель НДЦ-25 ВБК-01, состоящий из корпуса с крышкой, ротора, питающей тарели, разгрузочной лопасти и неподвижного направляющего конуса, внутри которого установлен шнек (рис. 6.14).

Для этих же целей предназначены непрерывно действующие ленточные смесители типа НД-650, состоящие из горизонтального корытообразного корпуса, внутри которого размещены два ротора с

мешалками. На конце корпуса имеется разгрузочная камера, внутри которой расположен рыхлитель массы.

Для смешивания сыпучих материалов насыпной плотностью не более  $1,7 \text{ г/см}^3$  и для приготовления пастообразных композиций динамической вязкостью  $50 - 200 \text{ Па}\cdot\text{с}$  используют центробежный волчковый смеситель ЦВ-630 ВРК периодического действия, а также планетарно-лопастные смесители ПЛ-0,01 и ПЛ-0,04.

Для приготовления липких и высоковязких композиций (с динамической вязкостью от  $200 \text{ Па}\cdot\text{с}$  до  $100 \text{ кПа}\cdot\text{с}$ ) целесообразно использовать смесители периодического действия с Z-образными лопастями типа ЗЛ (рис. 6.15), представляющие собой смесительную камеру, внутри которой расположены два Z-образных ротора, вращающихся в противоположные стороны с различными скоростями.

Смесительная камера этого аппарата имеет рубашку для термомониторинга; при выгрузке она может опрокидываться.

Для приготовления высоковязких композиций в непрерывном режиме предназначен смеситель СНД-1500 (рис. 6.16), представляющий собой смесительную камеру, внутри которой размещены два ротора с мешалками. Камера имеет рубашку для термомониторинга перемешиваемой массы. Выгрузка приготовленной композиции производится через штуцер в конце смесительной камеры.

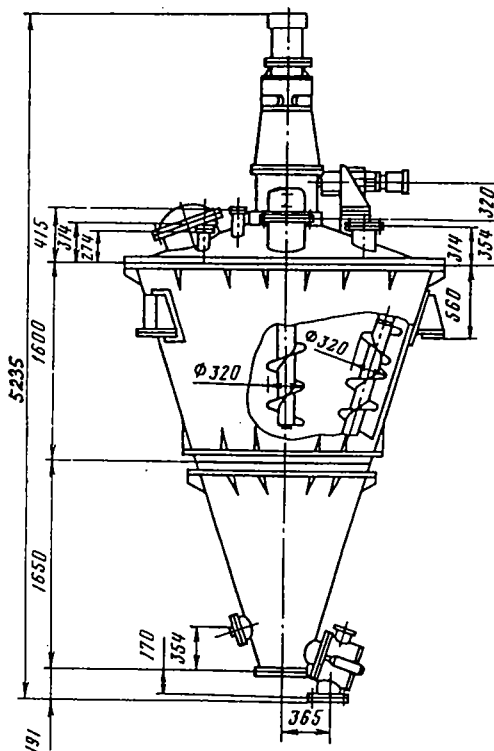


Рис. 6.13. Смеситель планетарно-шнековый ПШ-630ВБК во взрывобезопасном исполнении

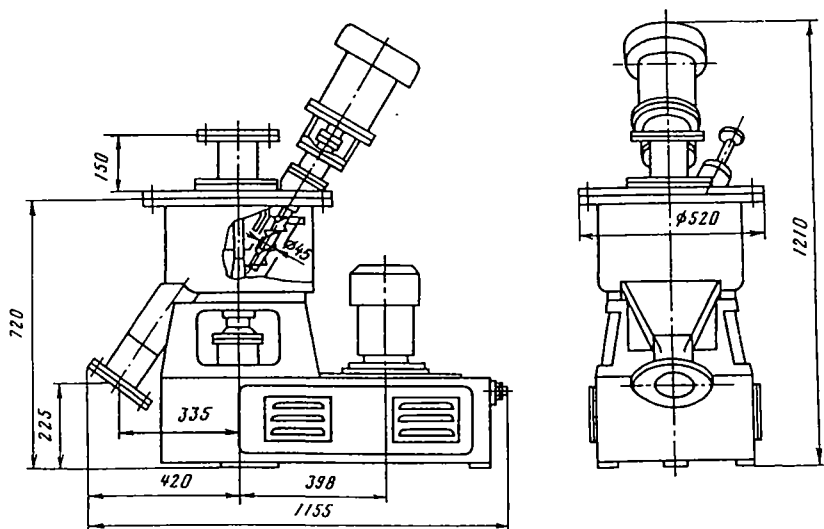


Рис. 6.14. Центробежный смеситель НДЦ-25 ВБК-01

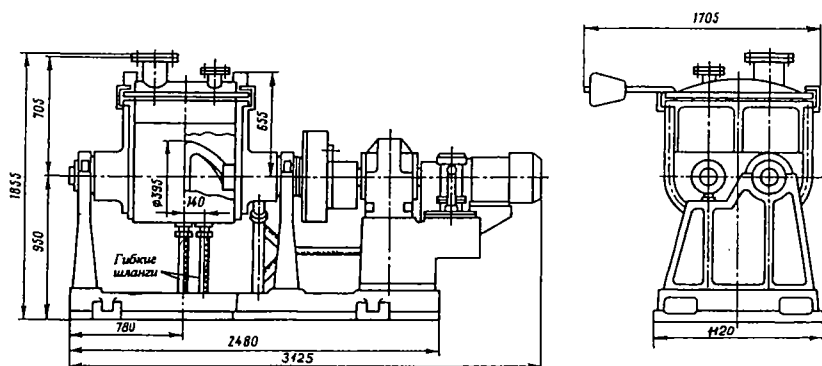


Рис. 6.15. Смеситель периодического действия ЗЛ-250-01

Смесители могут выпускаться с различным объемом смесительной камеры и в разных исполнениях, пригодных для перемешивания взрывоопасных, коррозионноактивных и других материалов.

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

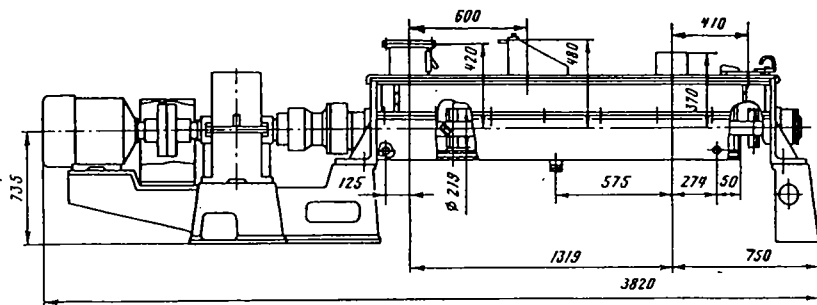


Рис. 6.16. Смеситель непрерывного действия СНД-1500

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.

#### 6.4. 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. Магнитной сепарацией можно выделить вещества с удельной магнитной восприимчивостью выше  $10 \text{ м}^3/\text{кг}$ . Сильномагнитными свойствами обладают железо и его сплавы, а также магнетит ( $\text{FeO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ ), маггелит ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), пирротин, титаномагнетит, ферросилиций, франклинит, сидерит, слабомагнитные оксиды железа после их обжига и некоторые другие вещества. Ряд оксидов, гидроксидов и карбонатов железа, марганца, хрома и редких металлов относится к материалам со слабомагнитными свойствами. Различные породообразующие минералы (кварц, полевые шпаты, кальцит и т.п.) относятся к немагнитным материалам.

Удельной магнитной восприимчивостью  $\chi_{\text{уд}}$  ( $\text{м}^3/\text{кг}$ ) называют объемную магнитную восприимчивость вещества  $\chi_{\text{об}}$ , отнесенную к его плотности  $\delta$ :

$$\chi_{\text{уд}} = \chi_{\text{об}} / \delta. \quad (6.16)$$

Удельную магнитную восприимчивость определяют из уравнения

$$\chi_{\text{уд}} = I / (\mu_0 H), \quad (6.17)$$

где  $I$  – намагниченность (магнитный момент) вещества;  $\mu_0$  – магнитная постоянная;  $H$  – напряженность магнитного поля в этом веществе.

Слабомагнитные материалы обогащают в сильных магнитных полях (напряженностью  $H = 800 - 1600 \text{ кА/м}$ ), сильномагнитные – в слабых полях ( $H = 70 - 160 \text{ кА/м}$ ). Магнитные поля промышленных сепараторов бывают в основном постоянными или переменными; комбинированные магнитные поля применяют реже.

*Магнитная сепарация.* В магнитных сепараторах неоднородность магнитного поля создается полюсными наконечниками различной формы.

Для получения магнитных полей с малой величиной  $\text{grad } H$  применяют естественные или искусственные магниты из специальных сплавов с постоянным магнитным полем. Сильные магнитные поля с высоким градиентом напряженности создаются катушками, питаемыми постоянным током и снабженными стальными сердеч-

никами. При этом чем больше величина намагничивающего тока и количество витков в катушке, тем выше напряженность магнитного поля в рабочем зазоре сепаратора.

Магнитная сила  $F_{\text{магн}}$ , действующая на частицу материала, определяется по формуле:

$$F_{\text{магн}} = V \psi H \text{ grad } H, \quad (6.18)$$

где  $V$  – объем частицы;  $\psi$  – объемная магнитная восприимчивость;  $H$  – напряженность магнитного поля.

Удельное значение магнитной силы равно:

$$f_{\text{магн}} = \frac{F_{\text{магн}}}{Q} = \frac{V \psi H \text{ grad } H}{V \delta} = \chi_{\text{уд}} H \text{ grad } H, \quad (6.19)$$

где  $Q$  – масса частицы.

Принцип работы магнитного сепаратора схематически показан на рис. 6.17.

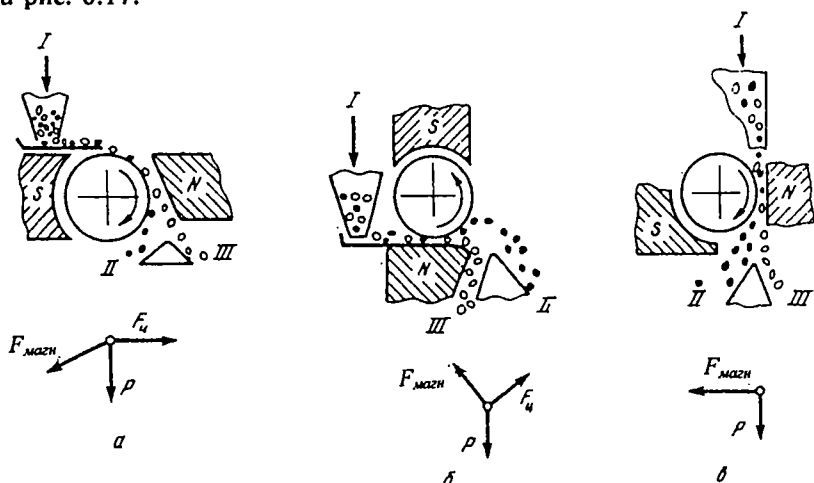


Рис. 6.17. Принцип работы магнитного сепаратора:

$a$  – верхняя зона;  $b$  – нижняя зона;  $v$  – вертикальная зона;  $I$  – исходное сырье;  $II$  – магнитный продукт;  $III$  – немагнитный продукт

Кроме магнитной силы, на частицу, находящуюся в рабочей зоне сепаратора, действуют силы тяжести  $P$ , трения  $F_T$ , центробежная  $F_{\text{ц}}$  и сопротивления среды  $F_{\text{с}}$ .

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.

Оценить производительность магнитных сепараторов весьма сложно вследствие влияния на нее многих факторов. Опыт эксплуатации этих аппаратов позволяет в ряде случаев рассчитывать их производительность с использованием выражения:

$$Q = qnL_p, \quad (6.20)$$

где  $Q$  – производительность сепаратора по сухому исходному питанию, т/ч;  $q$  – удельная производительность, т/(м·ч);  $n$  – число головных барабанов, валков или роликов в сепараторе;  $L_p$  – рабочая длина барабана, валка или ролика, м.

Эвакуируемые из магнитного поля зерна сильномагнитных материалов вследствие остаточной намагниченности могут агломерироваться в агрегаты разного вида. С целью устранения последствий этого явления, называемого магнитной флокуляцией, используют многократное перемагничивание таких материалов в переменном магнитном поле размагничивающих аппаратов.

Электромагнитные сепараторы, предназначенные для извлечения железных и других ферромагнитных предметов из разрыхленных немагнитных материалов, нашли широкое применение при переработке твердых отходов.

Номенклатура электромагнитных сепараторов, используемых для разделения отходов, достаточно велика, и они могут быть классифицированы следующим образом: подвесные железотделители, электромагнитные шайбы, электромагнитные шкивы, электромагнитные барабаны, электромагнитные сепараторы. Кроме того, выпускаются мобильные электромагнитные установки для отделения магнитных материалов в полевых условиях или в условиях, где нецелесообразно использование стационарной установки.

Промышленность выпускает магнитные сепараторы типов Э (электромагнитные) и П (с постоянным магнитом). Классификация магнитных сепараторов производится по напряженности маг-



нитного поля. Существуют сепараторы для разделения сухих зернистых или кусковых материалов и сепараторы для разделения материалов в водной среде.

Для удаления магнитных материалов из продуктов дробления применяют шкивные электромагнитные сепараторы (железоотделители) типа ШЭ (рис. 6.18), которые устанавливаются вместо приводного барабана ленточного конвейера.

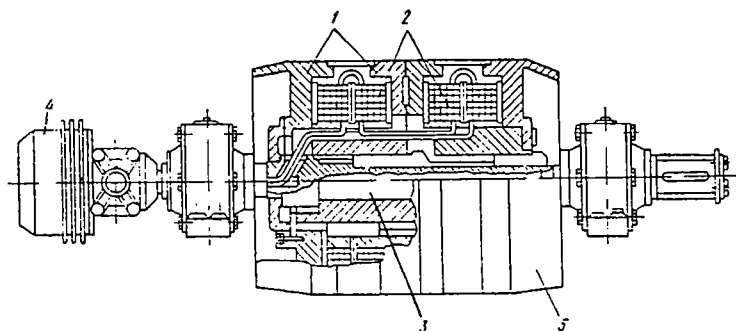


Рис. 6.18. Электромагнитный шкив ШЭ:

1 – диски-полюсы; 2 – катушка; 3 – вал; 4 – токораспределительная коробка; 5 – корпус шкива

Электромагнитный сепаратор состоит из электромагнитной системы, укрепленной на валу, подшипников и токосъемной коробки. Секции электромагнитной системы неподвижно закреплены на валу, который через редуктор вращается мотором. Эффективность работы электромагнитного шкива зависит от массы, геометрии и магнитной восприимчивости извлекаемых магнитных материалов, а также плотности транспортируемого материала и скорости движения ленты конвейера.

Принцип работы электромагнитных шкивов состоит в том, что ферромагнитные материалы, транспортируемые лентой конвейера, притягиваются к ней в зоне установки шкива, а немагнитные сбрасываются с ленты по ходу ее движения. Освобождение ленты от ферромагнитных материалов происходит в том месте конвейера, где отсутствует магнитное поле, т.е. там, где прекращается ее контакт со шкивом. Скорость движения ленты должна составлять 1,25 – 2,0 м/с. При более высокой скорости движения ленты снижается полнота разделения магнитной и немагнитной фракций.

Другой разновидностью сепараторов являются железоотделители подвесные саморазгружающиеся типа ПС, предназначенные для извлечения и удаления ферромагнитных предметов из сыпучих немагнитных материалов, в том числе из лома и отходов цветных металлов.

Сепараторы типа ПС работают в непрерывном режиме и осуществляют механическую разгрузку конвейера от магнитных материалов. В конструкцию сепаратора (рис. 6.19) входят опорный 1, ведущий 4 и натяжной 6 барабаны, электромагнит 3, разгрузочная лента 2 и привод 7. Все элементы подвесного сепаратора смонтированы на раме 5.

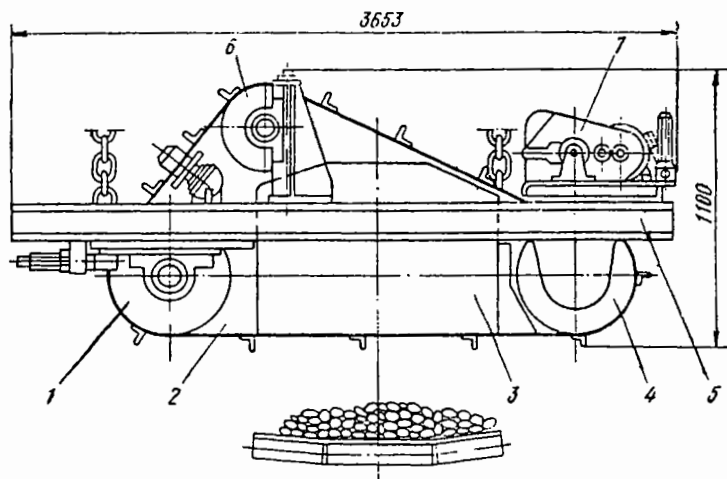


Рис. 6.19. Подвесной электромагнитный сепаратор

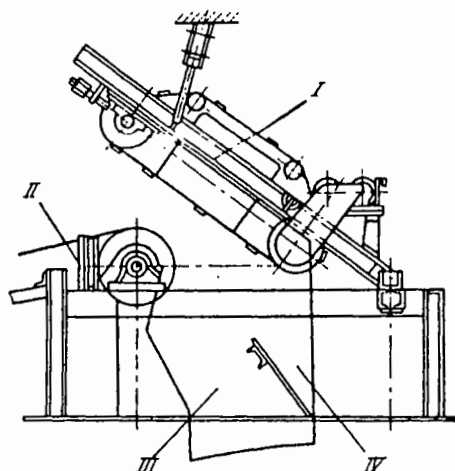


Рис. 6.20. Схема установки железотделителя (I) над барабаном конвейера (II) в зоне его разгрузки; III – выход цветного металла и IV – ферромагнитного материала

Принцип работы сепараторов типа ПС заключается в притягивании магнитных частиц к разгрузочной ленте, которая выносит их в сторону для разгрузки.

Подвесные железоотделители устанавливаются над ленточными конвейерами, которыми транспортируются смеси магнитных и немагнитных дробленых отходов.

Сепараторы типа ПС можно устанавливать в двух вариантах: над лентой транспортирующего конвейера поперек его продольной оси и под углом над барабаном транспортирующего конвейера (рис. 6.20).

Предпочтительна установка сепаратора над барабаном в зоне разгрузки, так как материал там находится в разрыхленном состоянии.

Для подъема крупных кусков магнитных материалов и транспортировки их для дальнейшего использования применяют грузо-подъемные электромагнитные шайбы (рис. 6.21), которые работают, как правило, в периодическом режиме.

Для разделения на фракции потока сыпучих материалов удобны электромагнитные барабаны (рис. 6.22).

Сыпучий продукт, поступающий на барабан, разделяется на два потока: магнитная фракция, притянутая к его поверхности, разгружается в дальнейшем по ходу вращения барабана приемное устройство, а немагнитная фракция сходит с барабана под действием силы тяжести в ближнюю приемную воронку. Распределитель потока 8 предназначен для регулирования степени разделения дробленого материала на фракции.

Для обезжелезивания сыпучих материалов разработаны барабанные сепараторы (рис. 6.23).

Сепараторы этого типа установлены в герметичном корпусе, имеющем штуцер для отсоса пыли. Разделяемая смесь сыпучих материалов поступает в бункер 1 и с помощью лоткового питателя 2, снабженного вибратором 3, равномерным потоком подается на барабан 4, внутри которого расположена магнитная система 5. Не-

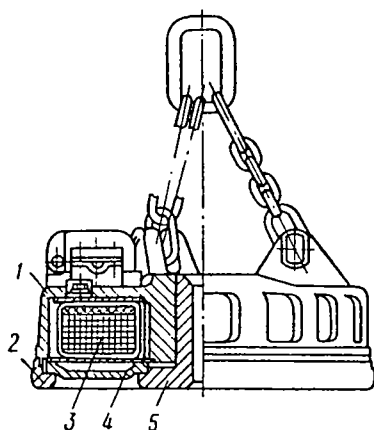


Рис. 6.21. Электромагнитная шайба: 1 – корпус; 2 – наружный полюс; 3 – катушка; 4 – немагнитная шайба; 5 – внутренний полюс

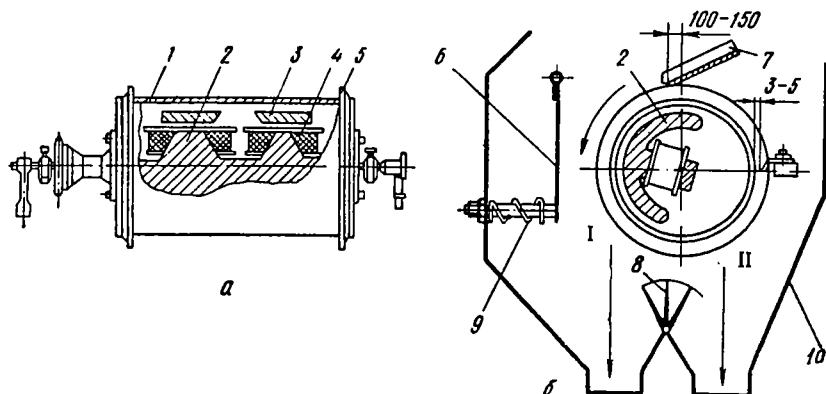


Рис. 6.22. Электромагнитный барабан:

*a* – барабан; *б* – установка барабана в приемном бункере; *I* – немагнитная фракция; *II* – магнитная фракция; *1* – корпус барабана; *2* – полюсная скоба; *3* – полюсные наконечники; *4* – катушки; *5* – крышка; *6* – отбойная плита; *7* – лоток; *8* – распределитель потока; *9* – регулировочный винт; *10* – приемный бункер

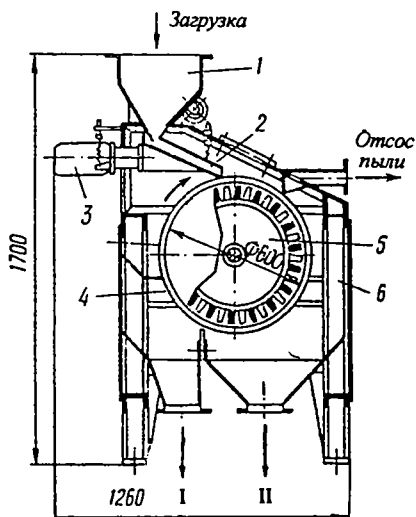


Рис. 6.23. Электромагнитный барабанный сепаратор:

*I* – бункер; *2* – лотковый питатель; *3* – вибратор; *4* – барабан; *5* – электромагнитная система; *6* – рама; *I* – магнитная фракция; *II* – немагнитная фракция

магнитная фракция ссыпается с барабана в первую по ходу вращения точку, а магнитная продолжает движение на поверхности барабана и ссыпается в следующую по ходу вращения точку. Установка смонтирована на раме *б*.

В табл. 6.16 приведены характеристики некоторых магнитных сепараторов.

Существуют и другие отечественные и импортные магнитные сепараторы. Так, для разделения слабомагнитных и немагнитных отходов цветных металлов размером частиц  $< 20$  мм (например, смешанной стружки сплавов на медной основе) используют сепараторы электромагнитные типа СЭ-3 и СЭ-4.

Технические характеристики магнитных барабанных сепараторов для сухого обогащения

| Показатели   | ЭБС-90/100<br>(171-СЭ) | ЗЭБС-90/100<br>(168-СЭ) | 4ПБС-63/100<br>(189-СЭ) | ПБС-60/50<br>(206-СЭ) | ПБС-63/100<br>(251-СЭ) | ПБСЦ-63/200 | ЭБС-80/170 |
|--|------------------------|-------------------------|-------------------------|-----------------------|------------------------|-------------|------------|
| Размер барабанов, мм:                                  |                        |                         |                         |                       |                        |             |            |
| диаметр  | 900                    | 900                     | 600                     | 600                   | 630                    | 630         | 800        |
| длина  | 1000                   | 1000                    | 2000                    | 500                   | 1000                   | 2000        | 1700       |
| Количество барабанов,<br>шт.                           | 1                      | 3                       | 4                       | 1                     | 1                      | 1           | 1          |
| Крупность зерен, мм, не<br>более                       | 50                     | 50                      | 50                      | 3                     | 3                      | 3           | 15         |
| Напряженность поля на<br>поверхности барабанов,<br>кА: |                        |                         |                         |                       |                        |             |            |
| верхних  | 110 – 120              | 55 – 64                 | 80 – 88                 | 100                   | 100                    | 100         | 191        |
| нижних   | –                      | 110 – 120               | 110 – 120               | –                     | –                      | –           | –          |
| Частота вращения бара-<br>банов, мин <sup>-1</sup> :   |                        |                         |                         |                       |                        |             |            |
| верхних  | 25                     | 43                      | 49 – 102                | 40 – 300              | 40 – 300               | 40 – 300    | 34         |
| нижних   | –                      | 25                      | 31 – 49                 | –                     | –                      | –           | –          |
| Мощность возбуждения<br>поля, кВт                      | 5,5                    | 8,3                     | –                       | –                     | –                      | –           | 6,4        |
| Производительность, т/ч                                | 60                     | 140                     | 400                     | 20                    | 50                     | 100         | 100        |
| Номинальная мощность<br>привода, кВт                   | 1,1                    | 3,6                     | 7,6                     | 3,0                   | 4,5                    | 7,5         | 3,0        |
| Габаритные размеры се-<br>паратора, мм:                |                        |                         |                         |                       |                        |             |            |
| длина  | 2280                   | 2290                    | 2710                    | 880                   | 1475                   | 2510        | 3090       |
| ширина   | 2440                   | 2830                    | 2900                    | 1260                  | 2070                   | 2200        | 2515       |
| высота   | 2795                   | 4550                    | 2720                    | 2700                  | 2750                   | 2750        | 2030       |
| Масса, т   | 4,7                    | 12,5                    | 10                      | 0,6                   | 1,5                    | 2,9         | 7,5        |

**Электродинамическая сепарация.** Метод электродинамической (ЭД) сепарации основывается на силовом взаимодействии переменного электромагнитного поля с твердыми электропроводными телами, имеющими различную электропроводность.

В зависимости от условий взаимодействия и характера электромагнитного поля выделяют четыре класса ЭД сепараторов: с вращающимся магнитным полем, с бегущим магнитным полем линейного асинхронного двигателя, с неоднородным переменным магнитным полем, а также устройства, в которых сила взаимодействия возникает при перемещении электропроводных частиц относительно неоднородного магнитного поля постоянных магнитов.

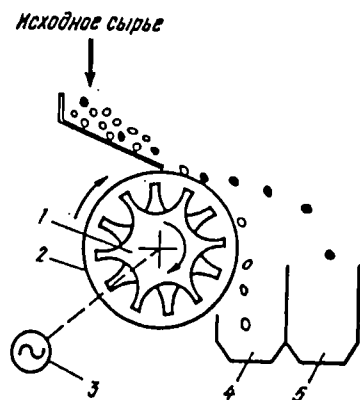


Рис. 6.24. Электродинамический сепаратор однороторный:

1 – многополюсный ротор; 2 – барабан; 3 – привод; 4 – приемник неэлектропроводного материала; 5 – приемник электропроводного материала

Разделяемый материал равномерно подается на барабан сепаратора, откуда электропроводные частицы отбрасываются полем ротора в дальний приемный бункер, а неэлектропроводные – свободно скатываются с барабана в ближний бункер.

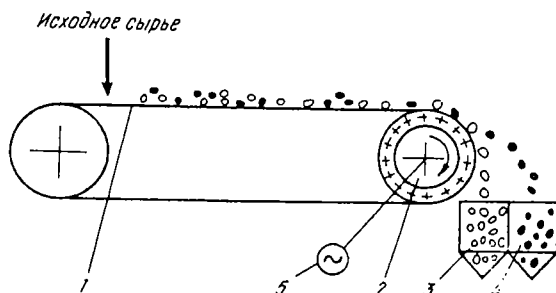
Электродинамический сепаратор ленточного типа (рис. 6.25) представляет собой комплекс механизмов, включающий ленточный транспортер, приводной барабан которого выполняет роль сепаратора. Вращающееся магнитное поле создается обмоткой трехфазного переменного тока, помещенной в пазы ротора.

Одним из видов ЭД сепараторов с вращающимся магнитным полем являются однороторные сепараторы (рис. 6.24). Вращающееся магнитное поле сепаратора создается многополюсным ротором с независимым приводом вращения. Магнитное поле ротора возбуждается обмоткой, питаемой постоянным током.

Ротор находится внутри барабана из нержавеющей стали, служащего для транспортирования разделяемого материала в зоне действия вращающегося магнитного поля. Частота вращения ротора  $17 \text{ с}^{-1}$ . Барабан вращается под влиянием электродинамических сил взаимодействия с полем ротора. Частота его вращения поддерживается на уровне  $0,11 \text{ с}^{-1}$  специаль-

Рис. 6.25. Электродинамический сепаратор ленточного типа:

1 – ленточный конвейер; 2 – барабанный трехфазный ротор; 3 – бункер неэлектропроводного материала; 4 – бункер электропроводного материала; 5 – привод



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.).

В однородном электрическом поле на заряженную частицу действует электрическая (кулоновская) сила  $F$ , обусловленная наличием заряда на частице:

$$F = Eq, \quad (6.21)$$

где  $E$  – напряженность электрического поля, В/м;  $q$  – заряд частицы, Кл.

В неоднородном электрическом поле воздействие на такую частицу более сложно.

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 (электростатические и с коронным разрядом), способу электризации (с электризацией контактным способом, в поле коронного разряда, трибоэлектризацией и др.) и по конструкции рабочих органов (барabanные, камерные, ленточные, лотковые, пластинчатые, полочные и др.).

На рис. 6.26 показана принципиальная схема барабанного электрического сепаратора для разделения смеси материалов по электропроводности. Исходный материал из бункера 1 монослоем подается на заряженный барабан 2. В результате зарядения частиц одноименным зарядом при контакте с барабаном они отталкиваются от него и, двигаясь по криволинейным траекториям, попадают в приемник для электропроводных фракций 7. Неэлектропроводные частицы, заряжаясь медленнее, падают без отклонения или частично удерживаются на барабане и попадают в приемник 4 в результате очистки поверхности барабана щеткой 3. Смесь частиц материалов различной электропроводности

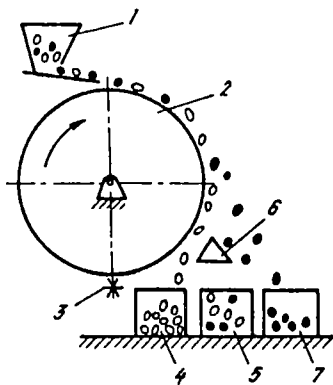


Рис. 6.26. Барабанный электрический сепаратор



концентрируется в среднем приемнике 5. Регулирование качественного состава фракций осуществляется поворотом делительной перегородки 6.

Электрический механизм лежит в основе работы электрофильтров, широко используемых для очистки аспирационного воздуха и дымовых газов от твердых частиц и золы-уноса. Они пригодны для очистки газов с температурой до  $400\text{ }^{\circ}\text{C}$ , 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. Конструкция одного из распространенных унифицированных вертикальных электрофильтров серии УВ показана на рис. 6.27.

Подлежащие электрической сепарации материалы обычно подвергаются подготовительным операциям (дроблению и классификации по крупности, отделению от шламов, сушке, термообработке при температуре до  $300\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). 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.).

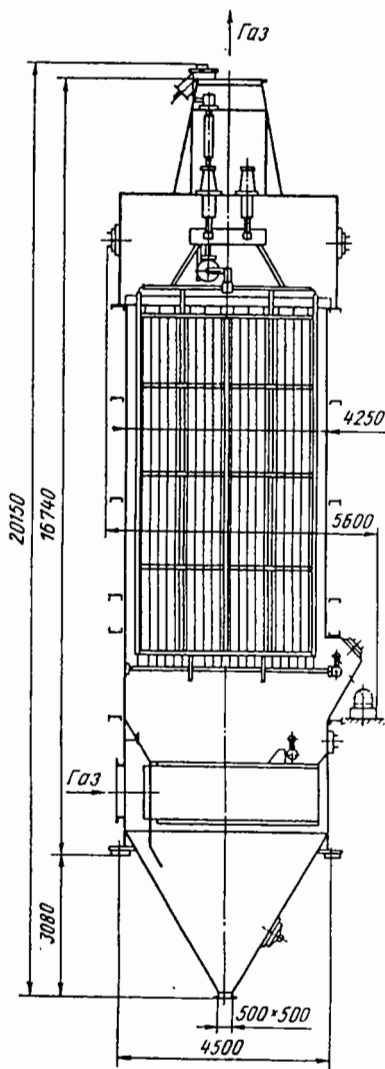


Рис. 6.27. Конструкция вертикального электрофильтра серии УВ

## 6.5. 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). Скорость такого движения  $v_{\text{ч}}$  при ламинарном режиме обтекания частицы определяется формулой Стокса:

$$v_{\text{ч}} = \frac{2}{9} \cdot \frac{g \cdot r_{\text{ч}}^2}{\nu_{\text{ж}}} \left( \frac{\rho_{\text{ч}}}{\rho_{\text{ж}}} - 1 \right), \quad (6.22)$$

где  $g$  – ускорение действующего на частицу гравитационного поля;  $r_{\text{ч}}$  – радиус частицы;  $\nu_{\text{ж}}$  – кинематическая вязкость жидкости;  $\rho_{\text{ч}}, \rho_{\text{ж}}$  – плотности соответственно частицы и жидкости.

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.

Области применения гравитационных методов обогащения приведены в табл. 6.17.

Таблица 6.17

Области применения гравитационных методов обогащения

| Метод обогащения         | Крупность, мм |               | Плотность, кг/м <sup>3</sup> |               |
|--------------------------|---------------|---------------|------------------------------|---------------|
|                          | мини-мальная  | макси-мальная | мини-мальная                 | макси-мальная |
| Отсадка                  | 0,074         | 250           | 1200                         | 15600         |
| Концентрация на столах   | 0,074         | 13            | 1200                         | 15600         |
| Тяжелосредняя сепарация  | 6,0           | 300           | 1200                         | 5200          |
| Обогащение:              |               |               |                              |               |
| в гидроциклонах          | 0,074         | 20            | 1200                         | 8000          |
| на шлюзах                | 0,045         | 30            | 2500                         | 15600         |
| в винтовых сепараторах   | 0,045         | 16            | 2500                         | 15600         |
| в моечных желобах        | 6,0           | 100           | 1200                         | 2500          |
| в шнековых сепараторах   | 6,0           | 50            | 1200                         | 2500          |
| Гидроклассификация       | 0,074         | 2             | 2500                         | 4200          |
| Пневматическая отсадка   | 1,0           | 25            | 1100                         | 2500          |
| Пневматическая сепарация | 6,0           | 75            | 1100                         | 2500          |

*Отсадка* является высокопроизводительным, экономичным и универсальным способом разделения отходов. Универсальность этой технологии хорошо видна из данных табл. 6.17, в которой приведены граничные условия применимости различных гравитационных методов обогащения.

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.

В результате разделения (рис. 6.28) смеси измельченных отходов, поступающих в отсадочную машину, получают две фракции (I и II) материалов с различной плотностью и проме-

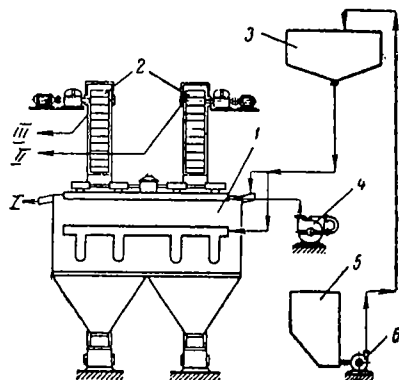


Рис. 6.28. Технологический комплекс отсадки:

- 1 - отсадочная машина; 2 - элеваторы;  
3 - бак оборотной воды; 4 - воздуходувка;  
5 - зумпф оборотной воды; 6 - насос

жуточный продукт (III), который подлежит дальнейшему разделению.

Отсадке обычно подвергают предварительно обесшламленные широко- или узкокласифицированные 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.

Их производительность  $Q$  (т/ч) может быть определена по формуле:

$$Q = 3600 \gamma_{\text{cp}} B H v_t, \quad (6.23)$$

где  $\gamma_{\text{cp}}$  – средняя насыпная плотность материала постели, т/м<sup>3</sup>;  $B$  – ширина отсадочного отделения, м;  $H$  – высота отсадочной постели, м;  $v_t$  – средняя скорость продольного перемещения материала в машине, м/с.

Связь производительности отсадочной машины с качеством продуктов отсадки выражается уравнением:

$$Q = 3600 \gamma_{\text{cp}} B H L K / \eta, \quad (6.24)$$

где  $L$  – длина отсадочной машины, м;  $K$  – коэффициент пропорциональности, характеризующий удельную скорость разделения, с<sup>-1</sup> (обычно в пределах 0,01 – 0,05 с<sup>-1</sup>);  $\eta$  – критерий точности разделения.

*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>. В качестве тяжелых жидкостей используют растворы хлоридов кальция и цинка (плотность соответственно 1654 и 2070 кг/м<sup>3</sup>), тетрахлорид углерода (плотность

1600 кг/м<sup>3</sup>), тетрабромэтан (2810 кг/м<sup>3</sup>), раствор иодида калия (3196 кг/м<sup>3</sup>) и другие соединения.

Плотность суспензии (г/см<sup>3</sup>) определяют по формуле:

$$\delta_c = C(\delta_y - 1) + 1, \quad (6.25)$$

где  $C$  – объемная концентрация утяжелителя, доли единицы;  $\delta_y$  – плотность утяжелителя, г/см<sup>3</sup>.

Масса утяжелителя (кг) в данном объеме суспензии составляет:

$$m_y = V \delta_y (\delta_c - 1) / (\delta_y - 1), \quad (6.26)$$

где  $V$  – объем суспензии, дм<sup>3</sup>;  $\delta_{y_3}$  и  $\delta_c$  – плотность соответственно утяжелителя и суспензии, кг/дм<sup>3</sup>.

Для поддержания устойчивости суспензии в нее добавляют глину (до 3% от массы утяжелителя) или применяют смесь порошков утяжелителей различной плотности.

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

Производительность барабанного и колесного сепараторов определяют по всплывающему легкому продукту. Производительность конусного и гидроциклонного сепараторов рассчитывают по питанию.

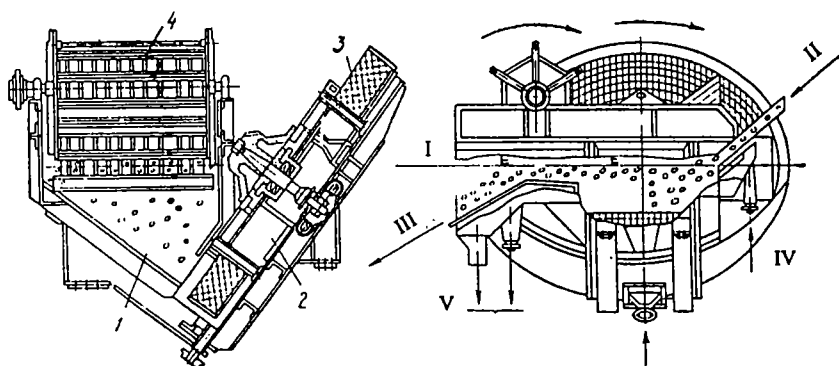


Рис. 6.29. Тяжелосредный колесный сепаратор СК-12:

$I$  – ванна;  $2$  – элеваторное колесо;  $3$  – перфорированные черпаки;  $4$  – скребковый механизм;  $I$  – уровень суспензии;  $II$  – загрузка;  $III$  – концентрат;  $IV$  – суспензия;  $V$  – слив суспензии

На рис. 6.29 показан колесный тяжелосредный сепаратор СК-12.

Разделяемая смесь поступает по загрузочному лотку в ванну, состоящую из двух соединенных в нижней части отделений. В одном из отделений размещено элеваторное колесо для выгрузки суспензии вместе с потонувшей, более тяжелой фракцией. Легкая

фракция выгружается одновременно с тяжелой, но в верхней части ванны. Их перемешивание в зоне выгрузки предотвращается разделительной перегородкой.

Другим видом оборудования для разделения смешанных отходов способом тяжелосредней сепарации является сепаратор СБС-5, разработанный специально для технологических линий по переработке алюминиевого лома. Он предназначен для разделения смешанных отходов на фракции с высоким содержанием магния (плотность  $< 2650 \text{ кг/м}^3$ ), с высоким содержанием цинка (плотность  $> 2850 \text{ кг/м}^3$ ) и меднокремниевые алюминиевые сплавы промежуточной плотности. Техническая характеристика сепаратора СБС-5 приведена ниже:

|   |               |
|---|---------------|
| Производительность по исходному продукту, т/ч     | 10            |
| Крупность исходного продукта, мм                  | 10 – 100      |
| Плотность сортируемого материала, $\text{кг/м}^3$ | 2550 – 3100   |
| Мощность привода, кВт                             | 2,2           |
| Габаритные размеры сепаратора, м                  | 3,36×1,8×2,05 |
| Масса сепаратора, т                               | 3,47          |

Суспензия подается в сепаратор вместе с исходным питанием по загрузочному желобу. Всплывший в обогатительной ванне барабана продукт транспортируется вдоль барабана потоком суспензии и затем выгружается вместе с ней из сепаратора через подвижный разгрузочный порог. Потонувший продукт опускается на дно барабана и при его вращении извлекается из суспензии лопатками, расположенными на внутренней поверхности цилиндра барабана, а затем поступает в желоб выгрузки.

*Сепарация на концентрационных столах* характеризуется разделением минеральных частиц по плотности в тонком слое воды, текущей по наклонной плоской деке стола, совершающей возвратно-поступательное горизонтальное движение перпендикулярно направлению движения воды.

Деки бывают трапециевидной и прямоугольной формы. На части поверхности дек в продольном направлении закрепляют параллельно располагаемые рифли (планки переменной высоты и длины), длина которых увеличивается от верхнего к нижнему краю стола, где и происходят сбор и выгрузка легких продуктов. Пульпу разделяемого материала подают в верхний угол поверхности стола (деки). Смывную воду подают с верхнего края деки, ниже места ввода пульпы. Частицы разделяемого материала большей плотности оседают между рифлями и под действием колебаний наклонной деки продвигаются вдоль них, достигая нерифленной части деки, где образуют веер частиц различной плотности, удаляемых раздельно. Неоседающие частицы меньшей плотности переносятся

смывным потоком через рифли и отводятся с поверхности концентрационного стола.

Более эффективно разделение предварительно классифицированных материалов. Оптимальное отношение длины деки  $L$  к ее ширине  $S$  определяется крупностью обогащаемых материалов. Концентрационные столы изготавливают в одно- и многоярусном вариантах с деками трех видов: песковыми ( $L/S = 2,5$  для частиц диаметром  $d > 1$  мм), мелкопесковыми ( $L/S = 1,8$ ,  $d = 0,2 - 1$  мм), шламовыми ( $L/S < 1,5$ ,  $d < 0,2$  мм).

К основным регулируемым технологическим параметрам сепарации на столах относят число  $n$  ходов деки стола в 1 мин и оптимальную длину одного хода (мм), определяемые по выражениям:

$$n = 250/\sqrt[5]{d_{\max}}, \quad (6.27)$$

$$l = 18/\sqrt[4]{d_{\max}}, \quad (6.28)$$

где  $d_{\max}$  – размер частиц, равный размеру ячеек сита, на котором остаток материала составляет 5%.

Производительность  $Q$  (т/ч) концентрационного стола может быть определена по формуле:

$$Q = K \delta F d_{\text{ср}} [(\delta_{\tau} - \Delta)/(\delta_{\text{л}} - \Delta)]^{0,6}, \quad (6.29)$$

где  $K$  – коэффициент (обычно  $K = 0,1$ );  $\delta$  – плотность питания стола, г/см<sup>3</sup>;  $F$  – площадь деки стола, м<sup>2</sup>;  $d_{\text{ср}}$  – средний арифметический диаметр частиц, мм;  $\delta_{\tau}$ ,  $\delta_{\text{л}}$  – плотность соответственно тяжелой и легкой фракций, г/см<sup>3</sup>;  $\Delta$  – плотность среды (для воды  $\Delta = 1$ ), г/см<sup>3</sup>.

Сепарация отходов с различной плотностью с помощью концентрации на столах после измельчения в шаровой мельнице, отмывки на деке концентрационного стола и магнитной доочистки обеспечивает высокую степень их разделения.

Обогащение в винтовых сепараторах и шлюзах происходит, как и на столах, в потоке пульпы разделяемых материалов, подаваемой в верхнюю часть наклонного желоба (содержание твердого вещества в пульпе 6 – 40%, высота потока 6 – 15 мм).

*Винтовые сепараторы* представляют собой неподвижные вертикальные винтообразные желоба (число витков 4 – 6) с поверхностью специального профиля. Тяжелые частицы пульпы сосредотачиваются в желобе ближе к вертикальной оси его витков и разгружаются посредством отсекателей в соответствующие приемники. Легкие частицы концентрируются в периферийной части желоба и разгружаются в нижней части сепаратора. Желоб имеет угол наклона к горизонту, характеризуемый отношением шага к диаметру, (0,4 – 0,6).

При максимальной крупности частиц обогащаемых материалов 0,2 – 8 мм и плотности извлекаемых материалов 6 – 7,5 г/см<sup>3</sup>

средняя производительность винтовых сепараторов диаметром 0,5 – 1,2 м составляет 0,3 – 12 т/ч. Обогащение предварительно классифицированных и обесшламленных материалов дает лучшие показатели.

Разновидностью винтовых сепараторов являются винтовые шлюзы, характеризующиеся более широкими желобами и меньшими наклонами днищ желобов.

*Струйные сепараторы* снабжены суживающимся к нижнему концу и устанавливаемым под углом 15 – 20 град желобом или конусом. Пульпу при содержании твердого вещества 50 – 60% загружают в верхнюю часть желоба. Сокращение расстояния между стенками желоба от загрузочного конца к разгрузочному приводит к увеличению высоты потока от 1,5 – 2 до 7 – 12 мм. Частицы большей плотности концентрируются в нижних слоях потока, а меньшей – сосредотачиваются в верхних его слоях. Разделенные потоки частиц поступают в отдельные приемники. Производительность этих аппаратов определяется крупностью и составом смеси и обычно составляет 0,9 – 5,5 т/ч на 1 м<sup>2</sup> рабочей площади желоба. Их можно использовать и для классификации строительного песка.

*Шлюзы* характеризуются наличием наклонных (3 – 15 град) лотков с укрепленными на их дне трафаретами (бруски, уголки, профилированные коврики, панцирные сетки, ткань) для задержания тяжелых частиц подаваемой в верхнюю часть лотка пульпы перерабатываемых отходов. Эти аппараты могут быть неподвижными и подвижными, глубокого (высота потока до 0,4 м для переработки материала крупностью от 20 до 100 мм и более) и мелкого (высота потока до 0,05 м для материалов крупностью до 20 мм) заполнения. Аппараты мелкого заполнения называют подшлюзками. Легкие частицы пульпы уносятся потоком через трафареты, частицы большей плотности оседают в межтрафаретных пространствах, после заполнения которых при прекращении подачи пульпы их смыывают водой в приемник.

Необходимую для заданной объемной производительности ширину шлюза  $B$  (м) определяют по выражению:

$$B = Q/(vh), \quad (6.30)$$

где  $Q$  – расход пульпы, м<sup>3</sup>/с;  $v$  – скорость потока пульпы, м/с;  $h$  – высота потока, м.

Расход пульпы определяют по уравнению:

$$Q = q(1/\delta + m_{\text{ж}}/m_{\text{ТВ}}), \quad (6.31)$$

где  $q$  – расход твердого вещества питания, т/с;  $\delta$  – плотность твердого вещества, т/м<sup>3</sup>;  $m_{\text{ж}}$  – масса жидкости;  $m_{\text{ТВ}}$  – масса твердого тела).



Ширина шлюзов обычно составляет 0,5 – 1,5 м, длина 6 – 20 м. Пример технологического комплекса обогащения на шлюзах представлен на рис. 6.30.

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)]; иногда применяют острый пар и различные растворители.

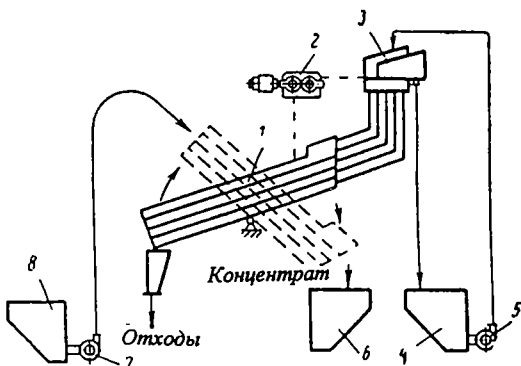


Рис. 6.30. Технологический комплекс обогащения на шлюзах:

1 - шлюз; 2 - привод; 3 - бак питания; 4 - зумпф питания; 5, 7 - насосы; 6 - зумпф концентрата; 8 - зумпф смывной воды

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. Некоторые из таких методов представлены на рис. 6.31.

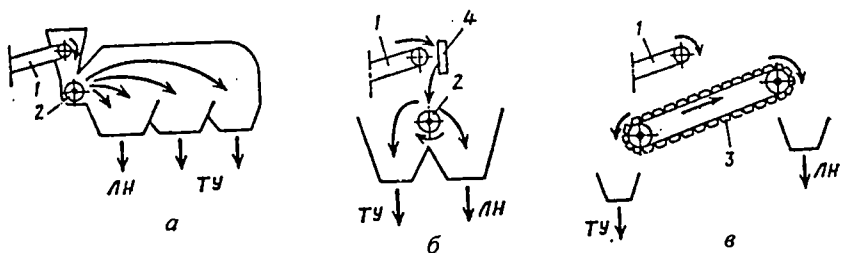


Рис. 6.31. Некоторые инерционные приемы разделения смесей твердых отходов:

а, б - баллистическая сепарация; в - сепарация, основанная на различии коэффициентов трения; 1 - ленточные транспортеры; 2 - роторы; 3 - пластинчатый транспортер; 4 - отражатель; ЛН - фракция легких неупругих материалов; ТУ - фракция тяжелых упругих материалов

*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.

Пропускная способность флотационных установок по жидкости, как правило, больше, чем гравитационных, так как скорость подъема частиц активированного ила при флотации обычно превышает скорость их оседания в гравитационном поле.

Преимущества флотационных установок перед гравитационными при концентрировании активированного ила заключаются в более высокой концентрации твердой фазы в выходящем потоке, лучшем улавливании твердых частиц, более высокой пропускной способности и более низких капитальных затратах. Эксплуатационные затраты на флотацию обычно выше, так как включают стоимость вспомогательных химических агентов и энергии на подготовку и подачу воздуха и воды в аппарат для насыщения.

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 (рис. 6.32) 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.

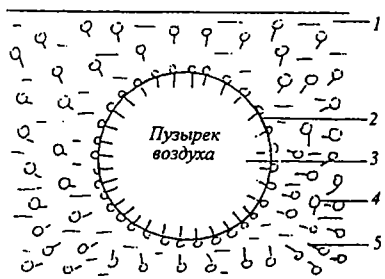


Рис. 6.32. Механизм пенного фракционирования:

1 – водная фаза; 2 – поверхность раздела; 3 – пузырек воздуха; 4 – гидрофобный конец молекулы; 5 – гидрофильный конец молекулы

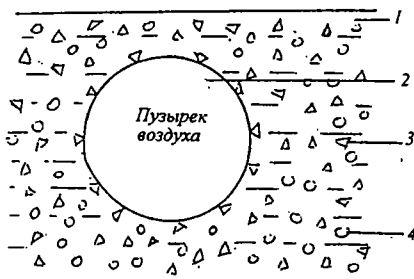


Рис. 6.33. Механизм пенной флотации:

1 – смесь жидкости и твердых частиц; 2 – воздушный пузырек; 3 – гидрофобные частицы; 4 – гидрофильные частицы

Удаление нерастворенного взвешенного вещества методом пенной флотации происходит следующим образом (рис. 6.33). Мельчайшие пузырьки воздуха, образуемые 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.

На устойчивость пены влияют концентрация водородных ионов (рН), температура, размер пузырьков, объемная концентрация растворенного вещества. Степень отделения зависит и от соотношения жидкости и газа, площади поверхности пузырька, высоты слоев жидкости и пены и ее долговечности.

Многочисленные конструкции флотационных установок можно разделить по их устройству на горизонтальные, вертикальные, радиальные, многокамерные, колонные. Устройство некоторых из них показано на рис. 6.34 – 6.36.

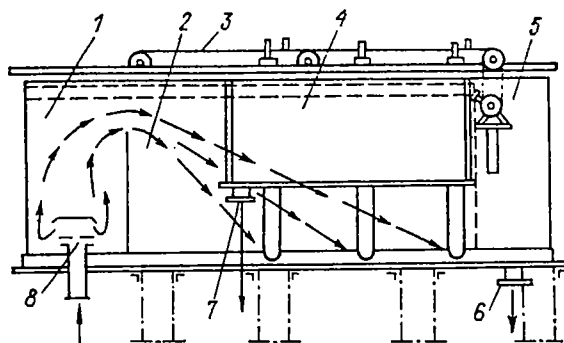


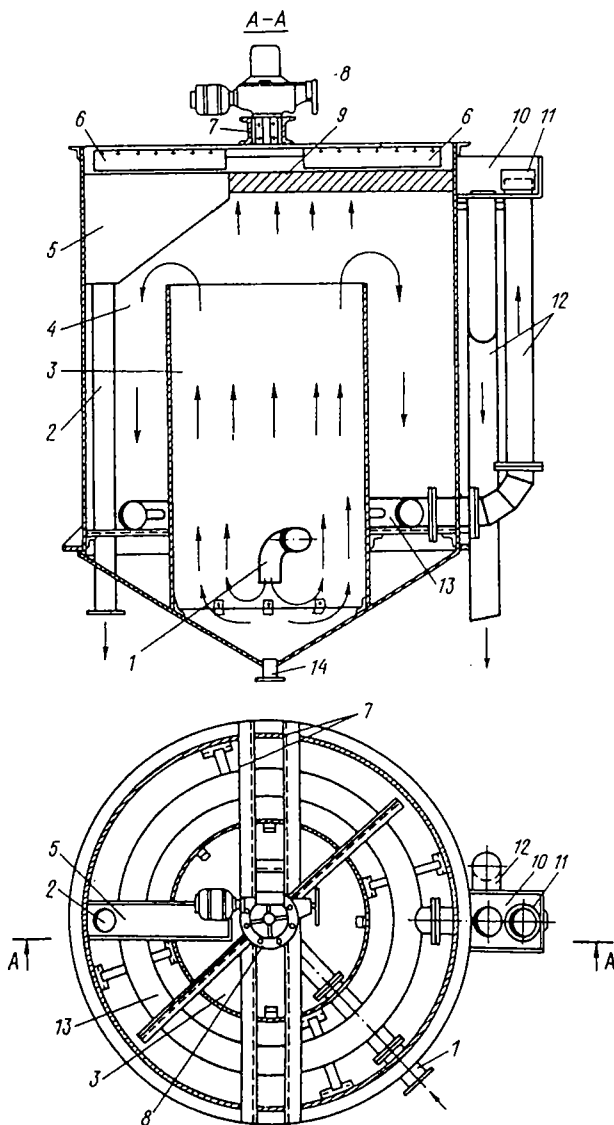
Рис. 6.34. Устройство горизонтального флотатора:

1 - флотационная камера; 2 - выделительная камера; 3 - скребковое устройство; 4 - сборный карман очищенной воды; 5 - камера для сбора пены; 6 - штуцер для слива пенной массы; 7 - патрубок для слива осветленной воды; 8 - дросселирующее устройство

Фракционирование пеной используется для удаления абсорбирующих очищающих средств и других ПАВ из промышленных и бытовых сточных вод. Оно находит применение и при обработке промышленных отходов для удаления некоторых ПАВ. Метод может быть использован при очистке отходов пищевых и текстильных предприятий, а также сточных вод целлюлозно-бумажного производства.

Рис. 6.35. Устройство вертикального флотатора:

1 - впускная труба; 2 - патрубок для слива пенной массы; 3 - флотационная камера; 4 - выделительная камера; 5 - приемный карман пенной массы; 6 - скреб-бок; 7 - опорная балка скребкового механизма; 8 - электропривод; 9 - слой всплывшей массы; 10 - сливная камера осветленной воды; 11 - муфта для регулирования уровня воды; 12 - сливная труба; 13 - сборная щелевая труба; 14 - патрубок опорожнения флотатора



Пенная флотация применяется для обработки загрязненных металлом сточных вод [очистка смазывающе-охлаждающих жидкостей (СОЖ)], улавливания масел из отходов нефтепереработки, при очистке воды, используемой для мойки автомобилей, и в других целях.

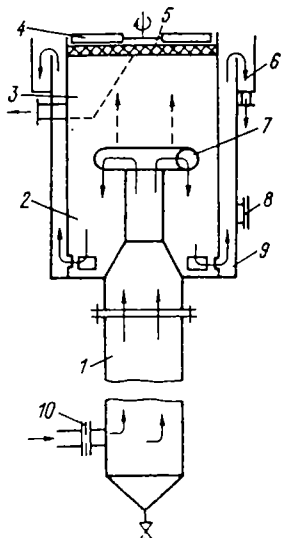


Рис. 6.36. Устройство колонного флотатора:

1 – флотационная колонна; 2 – выделительная камера; 3 – сборный карман пенной массы; 4 – скребковое устройство; 5 – слой пены; 6 – отводящий лоток; 7 – радиальный водораспределитель; 8 – смотровое окно; 9 – кольцевое пространство; 10 – дросселирующая диафрагма на впускном патрубке

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.

В осадительных центрифугах, имеющих ротор со сплошной стенкой, твердая фаза с более высокой плотностью отлагается на стенке, а жидкая фаза, образующая кольцевой слой ближе к оси вращения, выводится из аппарата. Аналогично происходит разделение эмульсий: у сплошной стенки ротора образуется слой более плотной жидкости.

Классификация выпускаемых промышленностью центрифуг проводится по следующим признакам: принципу разделения (основному конструктивному признаку), способу выгрузки осадка,

герметичности, взрывозащищенности, возможности регулирования температуры разделяемой смеси.

При выборе центрифуги необходимо учитывать, помимо условий работы, свойства разделяемой смеси, дисперсность твердых частиц, вязкость дисперсионной среды, разницу плотностей разделяемых фаз (последний фактор не относится к процессу центробежного фильтрования, так как в этом случае разность плотностей двух фаз не влияет на эффективность процесса разделения), концентрацию вещества в жидкой фазе.

Эффективность разделения материалов в центрифуге определяется фактором разделения  $K$ , показывающим, во сколько раз скорость перемещения частицы под действием центробежной силы больше скорости ее осаждения под действием силы тяжести:

$$K = \omega^2 r / g = \frac{\pi^2 n^2 r}{900g}, \quad (6.32)$$

где  $\omega$  – угловая скорость ротора, рад/с;  $g$  – ускорение силы тяжести, м/с<sup>2</sup>;  $n$  – частота вращения ротора, мин<sup>-1</sup>;  $r$  – радиус ротора, м.

Таким образом, с увеличением радиуса и скорости вращения ротора растет фактор разделения и, следовательно, эффективность работы центрифуги.

При расчете производительности центрифуги необходимо помнить, что отделение твердой фазы от жидкости в центрифуге происходит лишь в том случае, когда время пребывания суспензии в роторе  $t_n$  достаточно, чтобы твердая частица достигла его стенки. Время пребывания жидкости в аппарате:

$$t_n = V/Q, \quad (6.33)$$

где  $V$  – объем аппарата;  $Q$  – объемная скорость жидкости, проходящей через аппарат.

Повышение производительности и эффективности действия центрифуг возможно при переходе к тонкослойной сепарации. Элементы тонкослойной сепарации (тарелки) выполняют коническими с направлением потока разделяемой суспензии к оси ротора, сбором осадка по его периферии и выгрузкой осадка через специальные сопла. Такое направление потока в центрифугах с элементами тонкослойной сепарации определяется уменьшением потребной длины канала. Однако в связи с тем, что проходное сечение каналов между тарелками по мере приближения к оси ротора уменьшается, скорость потока возрастает, и на некотором радиусе

ротора становится возможным переход от ламинарного режима течения к турбулентному. Это приводит к снижению эффективности сепарации твердых частиц от жидкости.

Средняя скорость в межтарелочном канале существенно влияет на эффективность сепарации и размер сепарируемых частиц. Она определяется соотношением:

$$\bar{v} = Q / (2\pi Rh), \quad (6.34)$$

где  $h$  – расстояние между тарелками (толщина потока).

С увеличением скорости потока одновременно уменьшается центробежная сила, в связи с чем наиболее благоприятные условия для сепарации частиц обеспечиваются на периферии тарелок.

Важнейшую роль при центрифугировании играет система выгрузки осадка, которая может быть ручной, шнековой, ножевой, гравитационной, поршневой, инерционной и вибрационной.

Материал, из которого изготавливают детали центрифуг, должен быть устойчивым к средам, которые будут на него воздействовать. Для изготовления центрифуг используют легированные коррозионностойкие стали, титановые сплавы, чугун, пластики, резину.

Наиболее крупную группу машин составляют непрерывно действующие осадительные горизонтальные центрифуги со шнековой выгрузкой осадка типа ОГШ. Отличием этих центрифуг является использование шнека для выгрузки осадка. Он размещен внутри ротора и вращается вместе с ним в одном направлении, но с разной скоростью, что позволяет выгружать из ротора образующийся на его стенке осадок твердой фазы. Центрифуги типа ОГШ используют для разделения суспензий с концентрацией твердой фазы от 1 до 40% (объемн.) с крупностью частиц более 5 мкм при разности плотностей фаз более 0,2 г/см<sup>3</sup>. Кроме того, эти центрифуги применяют для гидравлической классификации суспензий по крупности твердых частиц и для других целей. В соответствии с назначением центрифуги типа ОГШ подразделяют на осветляющие, классифицирующие, обезвоживающие и универсальные.

Производительность центрифуг типа ОГШ по суспензии составляет 2 – 80 м<sup>3</sup>/ч; они имеют ротор диаметром от 200 до 1000 мм, скорость вращения ротора – от 6000 до 1000 мин<sup>-1</sup> и соответственно фактор разделения – от 4000 до 560.

На рис. 6.37 показано устройство непрерывно действующей горизонтальной осадительной центрифуги модели ОГШ-501К-10.



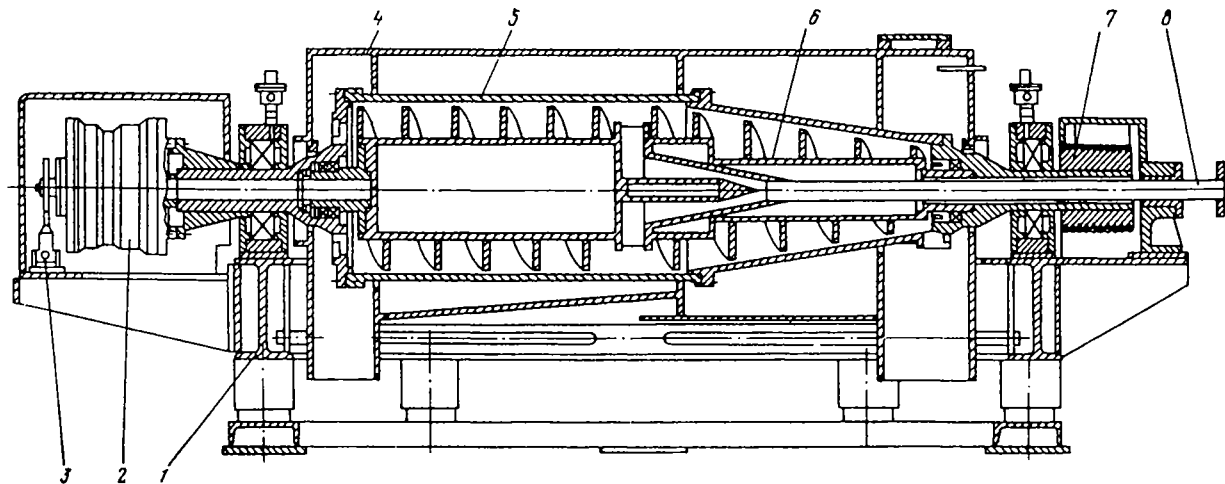


Рис. 6.37. Устройство центрифуги ОГШ-501К-10:

1 – станина; 2 – планетарный редуктор; 3 – механизм защиты редуктора; 4 – кожух; 5 – ротор; 6 – шнек; 7 – приводные ремни; 8 – труба питания

Машина предназначена для обезвоживания и сгущения осадков сточных вод с использованием флокулянтов. Она имеет удлиненный противоточный ротор и устройство для регулирования относительной скорости вращения шнека с целью подбора оптимального режима работы. Основные характеристики центрифуги ОГШ-501К-10 приведены ниже:

|  |                |
|--|----------------|
| Расчетная производительность по суспензии, м <sup>3</sup> /ч | 15             |
| Наибольший внутренний диаметр ротора, мм                     | 500            |
| Максимальное число оборотов ротора, мин                      | 2300           |
| Отношение длины ротора к диаметру                            | 3,6            |
| Максимальный фактор разделения                               | 1960           |
| Мощность электродвигателей, кВт:                             |                |
| привода  | 3,6            |
| маслонасоса  | 0,25           |
| Габариты, мм   | 3650×2200×1300 |

Широко используются промышленностью автоматические горизонтальные фильтрующие и осадительные центрифуги типа ФГН и ОГН с ножевым съемом осадка. Они имеют простую конструкцию, высокое качество разделения, возможность обработки суспензий в широком диапазоне концентраций и размеров частиц твердой фазы. В табл. 6.18 приведены некоторые характеристики автоматических горизонтальных центрифуг.

Таблица 6.18

Основные характеристики автоматических горизонтальных центрифуг

| Показатели                     | ФГН-63 | ФГН-90,<br>ОГН-90 | ФГН-125 | ФГН-180,<br>ОГН-180 | ФГН-200,<br>ОГН-200 | 2ФГН-220,<br>2ОГН-220 |
|--------------------------------|--------|-------------------|---------|---------------------|---------------------|-----------------------|
| Внутренний диаметр ротора, мм  | 630    | 900               | 1250    | 1800                | 2000                | 2200                  |
| Частота вращения ротора, мин   | 2390   | 1700              | 1000    | 720                 | 760                 | 600                   |
| Максимальный фактор разделения | 2000   | 1450              | 710     | 520                 | 640                 | 445                   |
| Объем ротора, дм <sup>3</sup>  | 40     | 130               | 315     | 850                 | 1250                | 2750                  |
| Максимальная загрузка, кг      | 50     | 150               | 400     | 1000                | 1500                | 3500                  |

Центрифуги типа ФГН и ОГН герметичны и могут работать во взрывоопасных помещениях и в помещениях с повышенной влажностью. Однако периодичность работы центрифуг этого класса, их высокая металлоемкость и ряд других недостатков ограничивают области их применения.

На рис. 6.38 показана конструкция автоматической горизонтальной центрифуги с ножевой выгрузкой осадка модели ФГН-633К-02 с диаметром ротора 630 мм. Машина может устанавливаться во взрывоопасных помещениях класса В-Iа. Детали центрифуги, соприкасающиеся с обрабатываемой суспензией, изготавливаются из нержавеющей стали. Для съема нерастворимого осадка с поверхности ротора центрифуга оборудована специальным механизмом, имеющим самостоятельный привод.

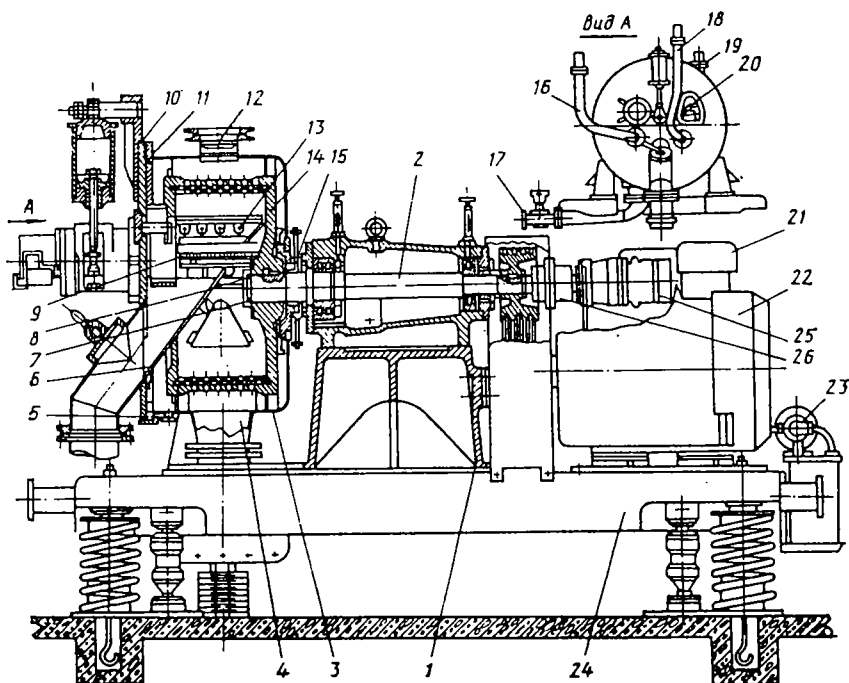


Рис. 6.38. Устройство центрифуги ФГН-633К-02:

1 – станина; 2 – главный вал; 3 – кожух; 4, 5 – патрубки отвода фильтрата и жидкости, перелившейся через борт ротора; 6 – разгрузочный бункер; 7 – гайка; 8 – защитный колпак; 9 – щетки; 10 – крышка кожуха; 11 – прокладка; 12 – патрубок отсоса паров и газов; 13 – поворотный нож; 14 – ротор; 15 – герметизирующее уплотнение; 16, 18 – трубы загрузки и промывки; 17 – разделительный клапан; 19 – патрубок поддува инертного газа; 20 – регулятор загрузки; 21, 23 – масляноасосные станции; 22 – электродвигатель; 24 – виброизолирующее устройство; 25 – гидромотор; 26 – обгонная муфта

Более совершенными являются фильтрующие горизонтальные центрифуги с пульсирующей выгрузкой осадка типа ФГП. У центрифуг этого типа, имеющих горизонтально расположенный ротор, выгрузка осадка осуществляется пульсирующим толкателем. Технические характеристики центрифуг ФГП приведены в табл. 6.19.

На рис. 6.39 показано устройство высокопроизводительной непрерывно действующей горизонтальной центрифуги с пульсирующей выгрузкой осадка марки 1/2ФГП-145. Машина обеспечивает хорошее разделение суспензии в больших объемах, обеспечивая влажность твердой фазы не более 5%.

Таблица 6.19

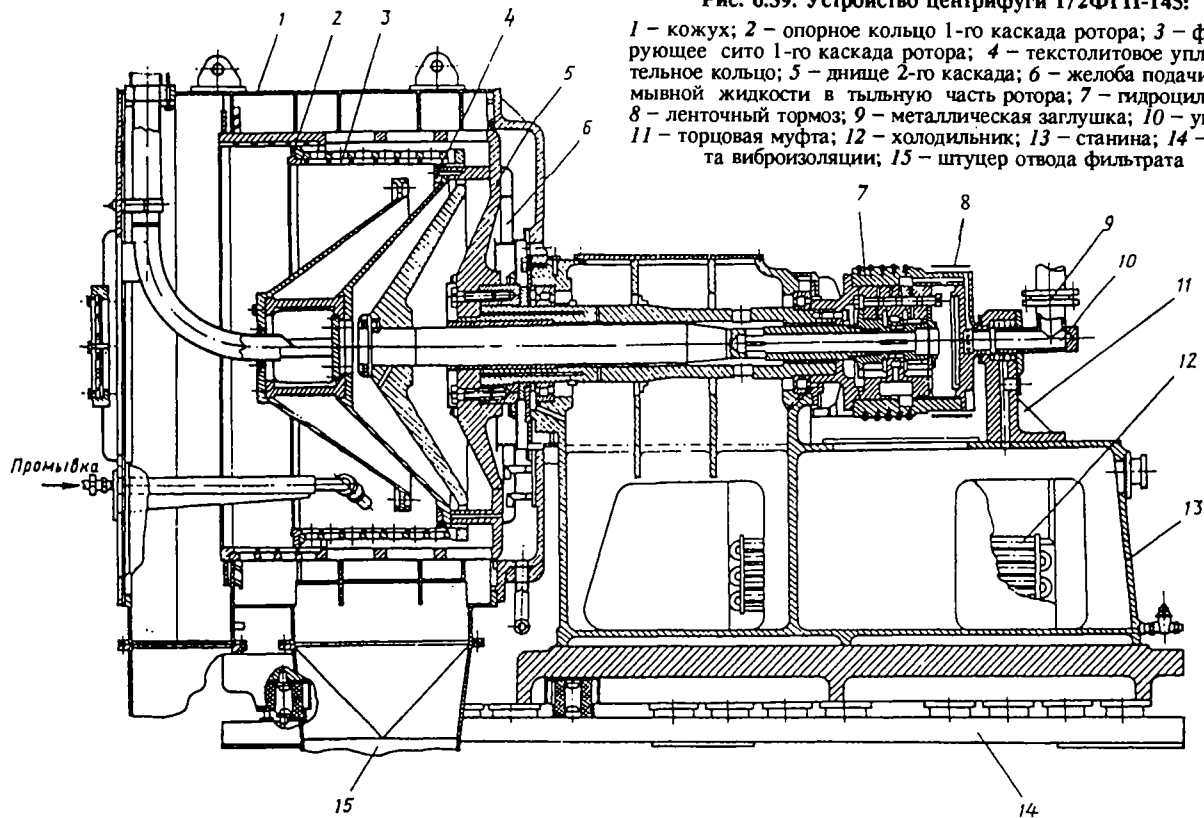
Технические характеристики центрифуг с пульсирующей выгрузкой твердой фазы

| Показатели   | 1/2ФГП-40 | 1/2ФГП-63 | 1/2ФГП-80 | 1/2ФГП-120 | 1/2ФГП-145 | 1/2ФГП-180 |
|--|-----------|-----------|-----------|------------|------------|------------|
| Внутренний диаметр ротора первого каскада, мм          | 400       | 630       | 800       | 1200       | 1450       | 1800       |
| Общая рабочая длина ротора, мм                         | 335       | 425       | 530       | 710        | 875        | 975        |
| Частота вращения, мин <sup>-1</sup>                    | 1600      | 1200      | 1200      | 750        | 650        | 500        |
| Макс. фактор разделения                                | 570       | 595       | 644       | 377        | 340        | 251        |
| Макс. число двойных ходов толкателя, мин <sup>-1</sup> | 45        | 55        | 45        | 30         | 50         | 60         |
| Производительность по осадку, кг/ч                     | 2200      | 3500      | 7000      | 15000      | 40000      | 80000      |

Эти центрифуги предназначены для разделения хорошо фильтрующихся концентрированных суспензий с содержанием твердой фазы более 20% (объемн.) с размером твердых частиц более 100 мкм. Преимущества центрифуг типа ФГП – непрерывность фильтрации, возможность промывки осадка, высокая степень разделения и производительность. Они просты в эксплуатации и обладают низкой энерго- и металлоемкостью.

Рис. 6.39. Устройство центрифуги 1/2ФГП-145:

1 – кожух; 2 – опорное кольцо 1-го каскада ротора; 3 – фильтрующее сито 1-го каскада ротора; 4 – текстолитовое уплотнительное кольцо; 5 – днище 2-го каскада; 6 – желоба подачи промывной жидкости в тыльную часть ротора; 7 – гидроцилиндр; 8 – ленточный тормоз; 9 – металлическая заглушка; 10 – уголок; 11 – торцовая муфта; 12 – холодильник; 13 – станина; 14 – плита виброизоляции; 15 – штуцер отвода фильтрата



Для разделения высококонцентрированных суспензий, содержащих твердые частицы размером более 150 мкм, при объемной концентрации твердой фазы 40 – 50% применяют непрерывно действующую горизонтальную центрифугу со шнековой выгрузкой осадка марки ФГШ-401К-01. Производительность центрифуги по осадку 5000 кг/ч при наибольшем диаметре конического ротора 400 мм и максимальном факторе разделения 1500.

Большую группу машин составляют центрифуги подвесные с верхним и нижним приводом типа ФМБ и ФМД. Их используют при необходимости высокой степени обезвоживания твердой фазы, в производствах небольшого масштаба, для разделения трудно-фильтруемых суспензий, содержащих частицы более 10 мкм. Подвесные осадительные машины с нижним приводом типа ОМД и ОМБ используют для отстаивания жидкостей в тех случаях, когда применение отстойных центрифуг непрерывного действия невозможно или неэффективно. В табл. 6.20 приведены характеристики некоторых подвесных центрифуг с нижним приводом.

На рис. 6.40 показано устройство подвесной центрифуги с нижним приводом и нижней выгрузкой осадка модели ФМД-125. Центрифуга герметична и может использоваться во взрывоопасных помещениях класса В-Iа.

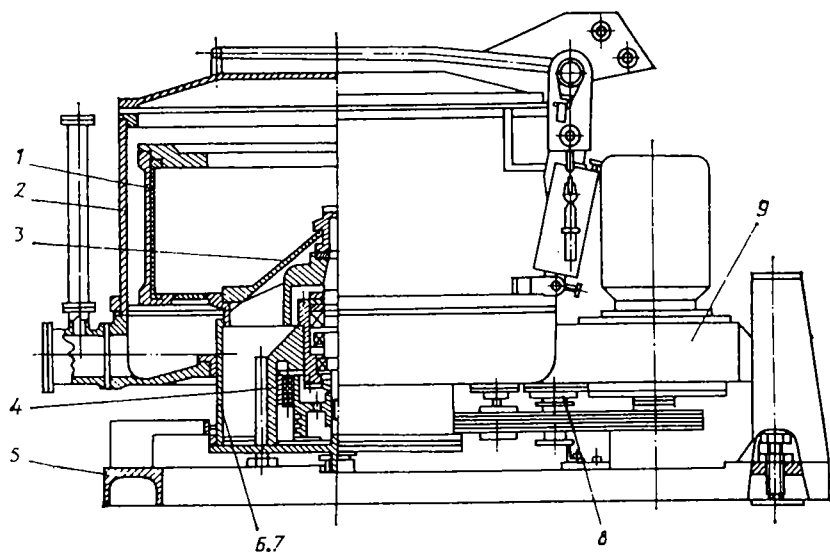


Рис. 6.40. Устройство центрифуги ФМД-125:

- 1 – ротор; 2 – кожух; 3 – загрузочный конус; 4 – опора ротора; 5 – подвеска;  
6 – обод; 7 – корпус; 8 – механизм натяжения; 9 – привод

Таблица 6.20

Некоторые характеристики подвесных центрифуг с нижним приводом

| Показатели                                 | ФМБ-633 | ФМБ-803,<br>ОМБ-803 | ФМД-802,<br>ОМД-802 | ФМБ-160 | ФМД-125 |
|--|---------|---------------------|---------------------|---------|---------|
| Диаметр ротора, мм                         | 630     | 800                 | 800                 | 1600    | 1250    |
| Высота ротора, мм                          | 400     | 400                 | 400                 | 500     | 500     |
| Частота вращения ротора, мин <sup>-1</sup> | 1900    | 1500                | 1500                | 750     | 950     |
| Максим. фактор разделения                  | 1250    | 1000                | 1000                | 500     | 630     |
| Объем ротора, дм <sup>3</sup>              | 63      | 100                 | 100                 | 500     | 315     |
| Максим. загрузка, кг                       | 80      | 125                 | 125                 | 630     | 400     |

Особую группу составляют трубчатые центрифуги, имеющие высокую скорость вращения трубчатого ротора. Их применяют для осветления суспензий (центрифуга типа ОТР) и для их разделения (типа РТР). Осветляющие центрифуги могут работать в непрерывном режиме, а разделяющие – в периодическом, что связано с ручной выгрузкой осадка. Эти центрифуги используют для осветления низкоконцентрированных суспензий и для разделения стойких эмульсий (например, для очистки воды от отработанных масел). Трубчатые центрифуги имеют скорость вращения ротора до 15000 мин<sup>-1</sup>, максимальную загрузку ротора диаметром до 150 мм – 20 кг.

Трубчатый ротор таких центрифуг имеет вертикальную ось вращения, плавающую нижнюю опору скольжения, вал ротора имеет гибкую верхнюю подвеску. Устройство трубчатой центрифуги модели РТР-15 показано на рис. 6.41. Диаметр ротора этой центрифуги составляет 150 мм, рабочая высота ротора 750 мм, полезный объем 11,8 л. Такая центрифуга имеет пропускную способность по воде до 2000 л/ч.

Широкое применение для выделения из жидкостей частиц размером от 0,2 до 0,5 мм (иногда до 1 мм) находит сепарация в *гидроциклонах*. Гидроциклоны, подобно центрифугам, работают по принципу центробежной сепарации.

Конструкция гидроциклона показана на рис. 6.42. Он состоит из цилиндрической и конической частей. Вращение жидкости в гидроциклоне осуществляется в результате движения суспензии

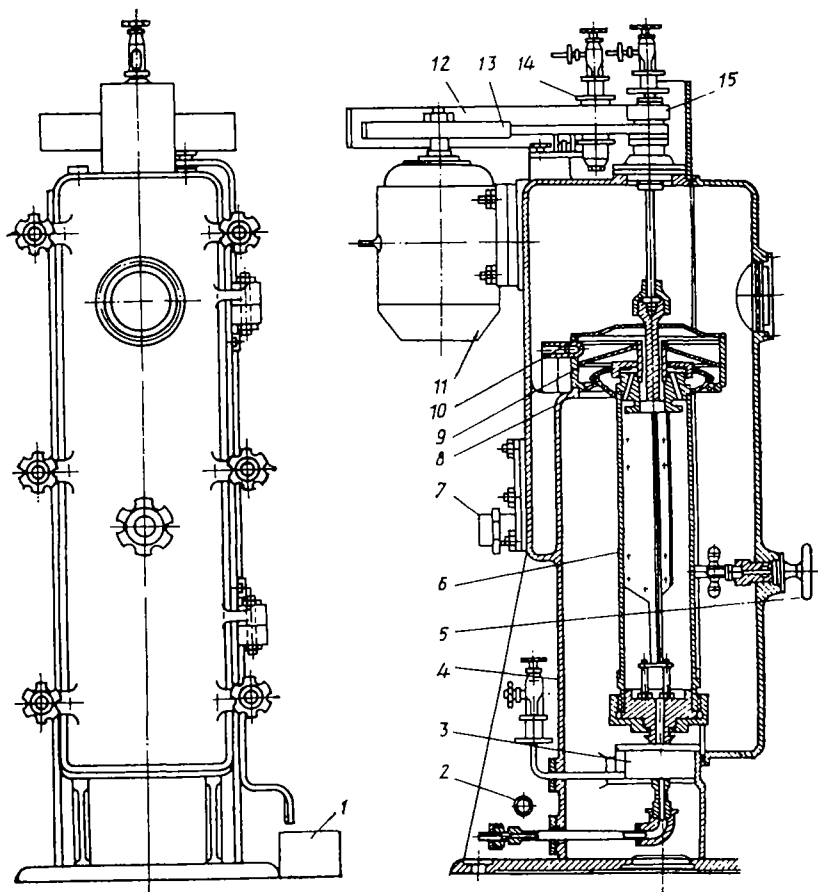


Рис. 6.41. Устройство трубчатой центрифуги РТР-15:

1 – сборник масла; 2 – заземление; 3 – опора нижняя; 4 – станина; 5 – тормоз; 6 – ротор; 7 – карман приемный; 8, 9 – тарелки нижняя и верхняя; 10 – крышка; 11 – электродвигатель; 12 – ограждение; 13 – шкив; 14 – ролик натяжной; 15 – опора верхняя

через тангенциальный патрубок 4, расположенный сверху цилиндрической части 2. Коническая часть гидроциклона 1 оканчивается шламовой насадкой 5, через которую отводится осадок, выделенный из обрабатываемой суспензии. Осветленная жидкость вытекает через сливной патрубок 3, расположенный по оси гидроциклона.

Перемещение частиц взвеси в поле действия центробежной силы, развивающейся при работе гидроциклона, во много раз интенсивнее осаждения их под действием силы тяжести.



Фактор разделения  $K$  для гидроциклонов колеблется в пределах от 500 до 2000. В гидроциклонах, как и в центрифугах, разделение суспензий происходит под действием центробежной силы, но по способу действия они значительно различаются. В центрифуге суспензия вращается вместе с барабаном и при постоянной угловой скорости практически не перемещается по его поверхности. При этом на частицы не действуют никакие касательные силы. В гидроциклоне же на частицы суспензии действуют большие тангенциальные силы, поддерживающие их в непрерывном относительном движении. Между слоями возникает напряжение сдвига, действующее на твердую частицу как поперечная сила. Для улучшения отделения частиц взвеси от жидкости в центрифугах при постоянной частоте вращения барабана необходимо увеличить его диаметр. В гидроциклонах, наоборот, это прямо пропорционально связано с уменьшением диаметра аппарата. Уменьшение диаметра гидроциклона приводит к снижению его производительности. В тех случаях, когда требуется более тонкая очистка продукта при значительном его количестве, используют батарейные гидроциклоны (мультигидроциклоны), представляющие собой несколько параллельно включенных элементарных гидроциклонов.

В гидроциклоне вращательное движение разделяемой суспензии определяется прежде всего законом сохранения момента количества движения

$$\rho_c u R = \text{const}, \quad (6.35)$$

где  $u$  – окружная скорость потока суспензии плотностью  $\rho_c$  на расстоянии  $R$  от оси вращения.

Для расчета сепарации в гидроциклонах важно знать характер распределения радиальных и осевых скоростей жидкости и соответствующие компоненты скорости частиц. Обычно в зоне между цилиндрической частью корпуса и патрубком для выхода осветленной жидкости значение осевой скорости принимают равным средней расходной. Теория и расчет гидроциклонов различного типа достаточно полно изложены в специальной литературе.

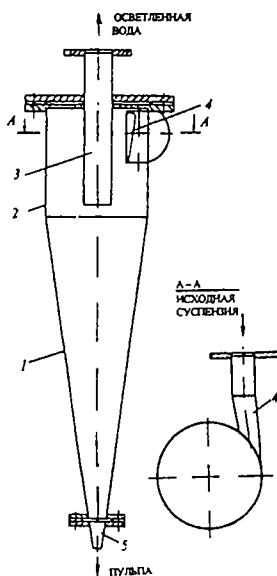


Рис. 6.42. Общий вид гидроциклона

В различных технологических процессах переработки вторичных материалов широко используют фильтрацию жидкостей и газов.

*Фильтрацией* называется разделение суспензий или аэрозолей с помощью пористых перегородок, пропускающих жидкость (или газ) и задерживающих твердые частицы. Разделение происходит за счет разности давлений среды по обе стороны фильтрующей перегородки.

Фильтрующей средой является не только фильтрующая перегородка, но и осадок на ней, образующий в процессе фильтрования вспомогательный фильтрующий слой, который, собственно, и обеспечивает задерживание мельчайших частиц суспензии. По мере увеличения толщины слоя роль фильтрующей перегородки (ткани) сводится лишь к удержанию и транспортировке фильтрующего вспомогательного слоя. Увеличение толщины слоя обеспечивает улучшение качества фильтрации, но уменьшает производительность фильтра.

Фильтруемость суспензий характеризуется удельным сопротивлением осадка. В данном случае под осадком имеется в виду слой твердых частиц, отлагающийся на фильтровальной перегородке.

*Удельным сопротивлением осадка* называется сопротивление единицы массы твердой фазы, отлагающейся на единице площади фильтра при фильтровании под постоянным давлением суспензии, вязкость жидкой фазы которой равна единице. Удельное сопротивление осадка  $i$ , характеризующее сопротивление фильтрации и фильтруемость (водоотдачу) осадков, определяют по формуле:

$$i = [2PF^2/(\eta c)]b, \quad (6.36)$$

где  $P$  – давление (вакуум), при котором происходит фильтрование;  $F$  – площадь фильтрующей поверхности;  $\eta$  – вязкость фильтрата;  $c$  – масса твердой фазы кека, отлагающегося на фильтровальной перегородке при получении единицы объема фильтрата;  $b = \tau/V^2$  – параметр, получаемый эмпирическим путем;  $\tau$  – продолжительность фильтрации;  $V$  – объем выделяемого фильтрата.

Аппараты для фильтрации классифицируют по следующим признакам: режиму работы, способу создания движущей силы (величине рабочего давления), конструкции.

Фильтрующие аппараты могут работать в непрерывном и периодическом режимах. Фильтрование в них может осуществляться под вакуумом и под давлением. В непрерывном режиме могут ра-

ботать барабанные, дисковые, карусельные, ленточные фильтры, а также фильтр-прессы.

Процесс фильтрации достаточно сложен, поэтому выбор аппарата и фильтровального материала для фильтрующей перегородки, как правило, проводится экспериментально на основе предварительных испытаний с учетом свойств суспензии, особенностей технологического процесса и заданной производительности.

Фильтрование состоит из нескольких последовательных стадий: собственно фильтрации, промывки, сушки и выгрузки осадка и регенерации фильтрующей перегородки. Эти стадии единого процесса в непрерывно действующих фильтрах осуществляются одновременно в разных зонах, но благодаря непрерывности перемещающейся фильтрующей перегородки процесс в целом также является непрерывным.

Наибольшее распространение в промышленности для фильтрования различных суспензий получили барабанные, ленточные, карусельные вакуум-фильтры, различные фильтр-прессы, работающие в непрерывном режиме, а также листовые, патронные многоярусные фильтры периодического действия.

Схема работы и устройство барабанного вакуумного фильтра показаны на рис. 6.43 и 6.44.

Барабанный вакуум-фильтр работает следующим образом (см. рис. 6.43). Перфорированный барабан 1, обтянутый фильтровальной тканью, разделен внутренними перегородками на секции. Часть его находится в емкости 3, куда через патрубок 6 непрерывно подается фильтруемая суспензия. Барабан вращается по стрелке. Фильтрат через фильтрующую перегородку засасывается в секцию барабана во время ее погружения в суспензию. Осадок осушается на поверхности барабана после выхода соответствующей секции из суспензии. Затем секция попадает в зону действия маточника 11, где осадок промывается жидкостью, а затем снимается в следующей зоне с помощью ножа 9 и сбрасывается в шламособорник 7, откуда выгружается шнеком 8. Вывод промывной жидкости и фильтрата производится через штуцеры 4 и 5 соответственно, которые вместе со штуцером 10 для подачи обдувочного воздуха присоединены к распределительной головке 2. С ее помощью секции барабана последовательно соединяются с одной из четырех ка-

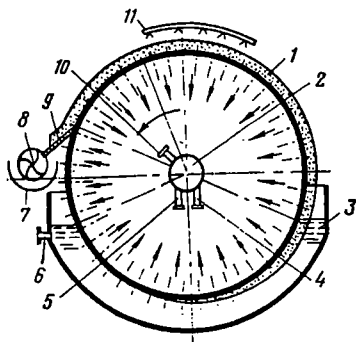


Рис. 6.43. Схема работы вакуум-фильтра

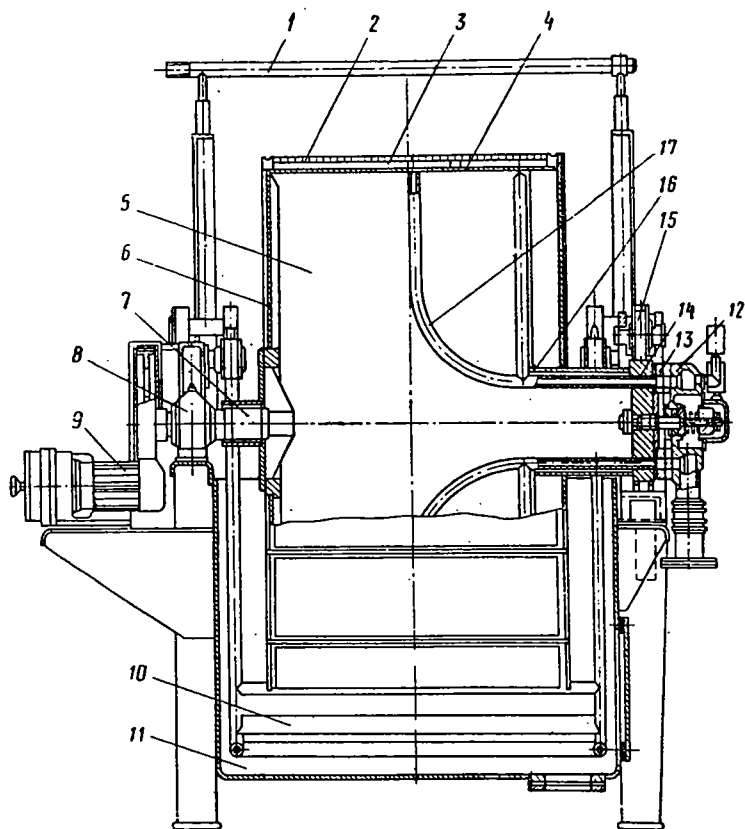


Рис. 6.44. Устройство барабанного вакуум-фильтра:

1 – промывное устройство; 2 – наружный перфорированный цилиндр; 3 – фильтрующие ячейки; 4 – внутренний сплошной цилиндр барабана; 5 – барабан; 6 – торцевые крышки барабана; 7, 16 – фланцевые цапфы; 8 – подшипник скольжения; 9 – электродвигатель; 10 – маятниковая мешалка; 11 – ванна; 12 – распределительная головка; 13 – шайба; 14 – выводные трубки; 15 – ролики; 17 – соединительная трубка

мер (для фильтрации под вакуумом, для подсушки образовавшегося осадка под вакуумом, для промывки, для обдува воздухом и удаления осадка). Затем цикл повторяется.

Барабанные вакуум-фильтры выпускаются с диаметром и длиной барабана до 3 и 4 м соответственно и с площадью фильтрующей поверхности до 40 м<sup>2</sup>. Аналогичным образом, т.е. при последовательном протекании стадий процесса фильтрования, работают и другие вакуумные фильтры. На рис. 6.45 показана конструкция ленточного вакуумного фильтра.

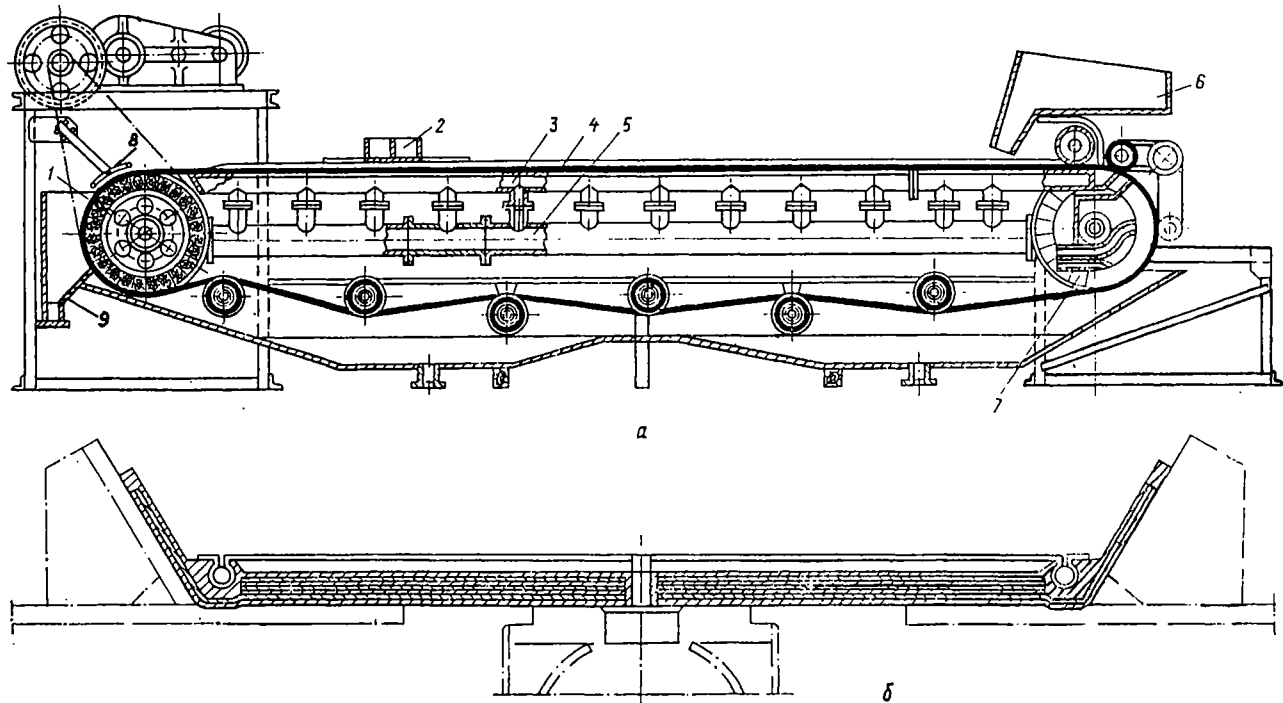


Рис. 6.45. Ленточный вакуум-фильтр:  
а – общий вид; б – конструкция фильтровальной ленты

Фильтрующая поверхность ленточного вакуум-фильтра выполнена в виде непрерывной ленты, благодаря конструкции которой обеспечивается ее плотное прилегание к столу и предотвращается слив суспензии.

Лента 4 натянута на приводной 1 и натяжной 7 барабаны. Ее верхняя ветвь находится на столе, а нижняя часть опирается на ролики. По всей длине стола, имеющего форму желоба, проходит вакуум-камера 3. Суспензия подается на ленту из разливочного бункера 6, а промывная вода — из камеры 2. Камеры соединены между собой коллекторными трубами 5. При работе ленточного вакуумного фильтра фильтрат проходит через перфорированную ленту и фильтровальную ткань, а осадок задерживается на последней. При дальнейшем продвижении ленты осадок промывается, подсушивается, срезается ножом 8 и сбрасывается в шламоборник 9. Поверхность фильтровальной ленты в ленточных вакуум-фильтрах достигает  $10 \text{ м}^2$ .

Преимуществом ленточного вакуум-фильтра является то, что направление движения потока при фильтровании совпадает с направлением действия силы тяжести. При фильтровании суспензий сначала осаждаются грубые частицы, образуя дополнительный фильтрующий слой, через который идет дальнейшее фильтрование, что создает оптимальные условия для процесса. К недостаткам ленточных вакуум-фильтров следует отнести их сравнительно большие габариты.

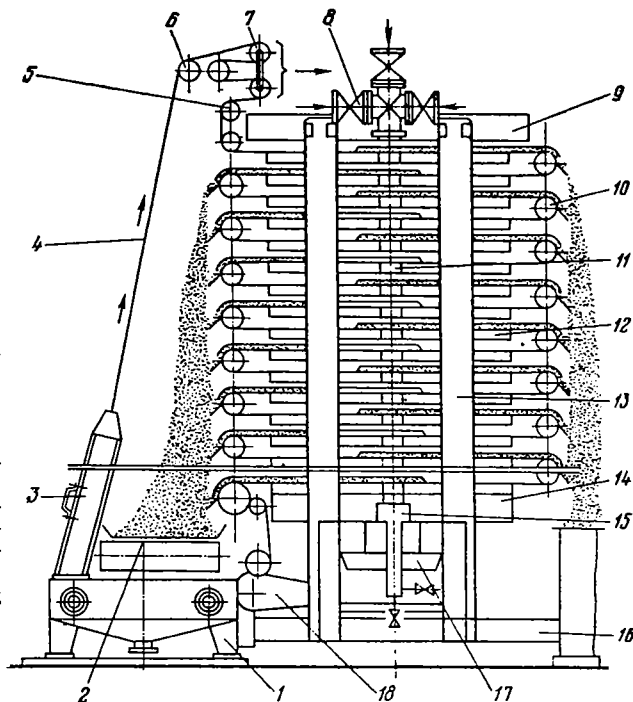
Другим распространенным оборудованием для обезвоживания осадков являются фильтр-прессы. Они обеспечивают наиболее полное обезвоживание фильтруемых суспензий, но имеют несколько меньшую производительность, чем вакуум-фильтры. Широко распространены и фильтр-прессы, которые пригодны для непрерывной и периодической работы. В отличие от рассмотренных выше аппаратов они работают под давлением. Фильтр-прессы используются для отделения твердых частиц диаметром до 3 мм при их содержании в жидкости от 5 до 500 г/л. Поверхность фильтрации фильтр-прессов может составлять от нескольких квадратных метров до нескольких сот квадратных метров, давление фильтрации — от 0,3 до 2,0 МПа. Примером может служить высокопроизводительный вертикальный фильтр-пресс типа ФПАКМ с поверхностью фильтрования до  $50 \text{ м}^2$  (рис. 6.46)

Фильтр-пресс типа ФПАКМ устроен следующим образом. Комплект горизонтальных подвижных фильтрующих плит 12 расположен между верхней упорной 9 и нижней нажимной 14 плитами. Фильтрующие плиты опускаются и поднимаются с помощью механизма гидрозажима 17. Фильтровальная ткань 4 проходит между плитами и циклически приводится в движение механизмом 18.

Очистка фильтровальной ткани от осадка производится в камере регенерации 3, которая вместе с опорной плитой 16 установлена на общей раме 1. Отвод фильтрата и промывной жидкости производится через блок слива 15. Суспензия, промывная жидкость и воздух поступают на фильтрующие перегородки через общий коллектор 8.

Рис. 6.46. Устройство фильтр-пресса типа ФПАКМ:

1 — рама; 2 — приемный лоток; 3 — камера регенерации; 4 — фильтровальная ткань; 5 — верхний ролик; 6 — ролик регулировки положения ткани; 7 — натяжное устройство; 8 — коллектор подачи; 9 — верхняя упорная плита; 10 — направляющий ролик ткани; 11 — коллектор давления; 12 — фильтровальные плиты; 13 — стяжка; 14 — нажимная плита; 15 — блок слива; 16 — опорная плита; 17 — механизм гидрозжима; 18 — привод передвижения ткани



Управление фильтр-прессом автоматическое. Промышленность выпускает фильтр-прессы этого типа с поверхностью фильтрации 2,5; 5; 12,5; 25 и 50 м<sup>2</sup>.

Близким по принципу работы является фильтр-пресс ФАМО с поверхностью фильтрования 25 м<sup>2</sup>. По сравнению с аналогичным по площади фильтрования фильтр-прессом типа ФПАКМ он менее металлоемок и имеет меньшие габариты. У него есть ряд и других технологических преимуществ, которые сводятся к более низким трудо- и энергозатратам на его эксплуатацию.

Наряду с фильтр-прессами вертикальной конструкции промышленность выпускает и горизонтальные фильтр-прессы, например полностью механизированный и автоматизированный камерный фильтр-пресс типа ФПАВ.

Автомат, управляющий работой пресса, обеспечивает последовательную работу на всех стадиях процесса фильтрования. Выпускаемые аппараты имеют поверхность фильтрации 20; 32; 50 и 100 м<sup>2</sup>.

Более совершенны фильтр-прессы с диафрагмами для отжима осадка, под которые подаются вода и воздух соответственно для промывки и подсушки осадка. Эластичная резиновая или пластмассовая диафрагма выполняет роль дренажной поверхности. Использование отжимных диафрагм повышает эффективность процесса (производительность пресса), снижает конечное содержание влаги в осадке, улучшает качество его отмывки, снижает расход промывной жидкости и сжатого воздуха.

Наряду с непрерывно действующими фильтрами в промышленности широко используются и фильтры периодического действия. Многие из них достаточно совершенны в работе, имеют большую производительность и высокое качество разделения суспензии. что делает их применение в циклических технологических процессах вполне оправданным. К ним относятся работающие под давлением листовые, патронные, многоярусные фильтры и друк-фильтры, а также нутч-фильтры, работающие под вакуумом.

Для удаления твердых частиц из жидкостей используют также механические фильтры с насыпным или намывным слоем фильтрующей массы, а также напорные фильтры с плавающей фильтровальной массой. В качестве фильтрующего материала в насыпных фильтрах используют песок, антрацит, дробленый мрамор, керамзит, перлит, а для намывного слоя — перлит; в фильтрах с плавающей загрузкой — вспененные материалы: пенополистирол и пенополиуретан (рис. 6.47).

Повышение эффективности фильтрации в фильтрах различной конструкции может быть достигнуто специальной обработкой суспензии, правильным выбором фильтрующей перегородки. Для разрушения и удаления осадка с фильтрующей перегородки в некоторых фильтрах используют вибрацию, пульсацию, центробежную силу и другие способы.

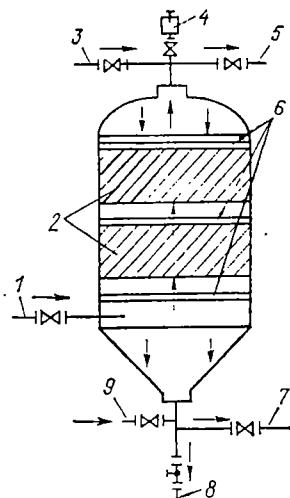


Рис. 6.47. Напорный фильтр с плавающей загрузкой:

- 1 — трубопровод сточной воды; 2 — плавающая загрузка; 3 — трубопровод промывной воды; 4 — вентуз; 5 — трубопровод очищенной воды; 6 — решетки; 7 — трубопровод слива промывной воды; 8 — трубопровод слива шлама; 9 — трубопровод сжатого воздуха



Улучшение фильтруемости суспензии достигается физическими и физико-химическими методами: обработкой в магнитном поле напряженностью  $8 \cdot 10^4$  А/м, применением коагулянтов и флокулянтов. Хорошие результаты дает предварительная классификация суспензии в гидроциклонах или флотаторах, позволяющая перед фильтрацией удалить из нее особо мелкие частицы. Улучшению фильтруемости способствует повышение температуры суспензии, так как при этом снижается вязкость жидкости.

При выборе фильтрующей перегородки следует учитывать форму и размер пор, химическую активность материала перегородки, ее износостойкость, способность к регенерации, прочность при растяжении, способность к многократным деформациям, жесткость. В качестве фильтровальных материалов используют специальные сорта бумаги, картона, хлопчатобумажные и шерстяные ткани, нетканые полотна, ткани и сетки из полимерных синтетических материалов (полиамида, полиакрилонитрила, поливинилхлорида, полиэтилена, полипропилена, политетрафторэтилена и др.), стеклянные и угольные ткани, металлические сетки, керамику и металлокерамику. В частности, для высоковязких жидкостей и расплавов полимеров с высокой температурой при фильтрации используют фильтрующие элементы из спеченных порошков металлов (сплавов на основе титана, никеля, меди).

При выборе аппаратов для фильтрации и материалов для фильтрующих перегородок учитывают свойства фильтруемых суспензий, размер и содержание дисперсных частиц, вязкость жидкости, производительность по суспензии, особенности организации технологического процесса. Для правильного выбора аппаратов в ряде случаев при отсутствии данных о фильтрации аналогичных суспензий проводят предварительные испытания.

*Аэродинамические процессы* также широко используются при утилизации отходов. При создании оборудования для аэродинамического разделения фаз используются гравитационный, центробежный и инерционный механизмы.

Метод *пневматической сепарации* основан на различии в скоростях падения частиц разного диаметра и плотности в воздушной среде. Падение может быть свободным или стесненным.

Свободным называется падение одиночного тела в воздушной среде, когда размеры поперечного сечения агрегата, в котором происходит падение, велики по сравнению с размерами падающего тела. Если сечение канала агрегата соизмеримо с размерами падающего тела или в канале находятся другие тела различной формы и плотности, то такое падение называется стесненным.

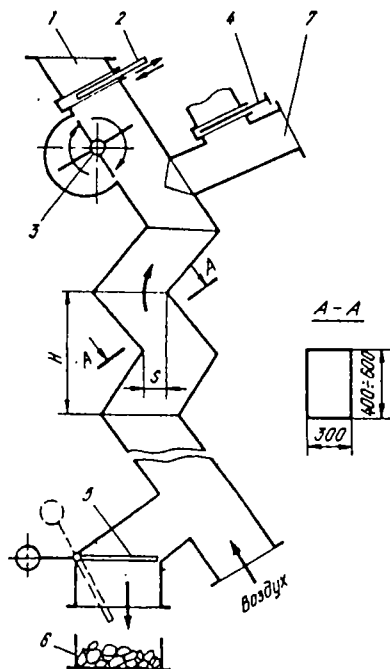


Рис. 6.48. Зигзагообразный пневматический сепаратор

Зигзагообразный пневматический сепаратор (рис. 6.48) применяется для удаления из дробленого продукта неметаллических примесей: краски, текстиля, дерева и других отходов. Дробленый материал из приемного бункера 1 через шиберную заслонку 2 роторным загрузчиком 3 подается в рабочую зону сепаратора. Навстречу потоку дробленого материала подается воздух, который захватывает легкие компоненты материала и через патрубок 7 направляется на очистку в циклоны и фильтры. Для регулирования режима сепарации предусмотрен шибер 4 для подсосывания воздуха с целью снижения скорости потока воздуха. Тяжелая фракция накапливается на нижнем шибере 5 и периодически разгружается в короб 6. Конструктивные параметры зигзагообразного сепаратора — число колен, сечение, высота секции колена, сечение свободного пролета — определяются характеристиками сепарируемого материала.

Поперечно-поточный пневмосепаратор (рис. 6.49) работает следующим образом. Материал поступает из бункера 1 в разделительную камеру 2. Наклонные полки 3 сепаратора обеспечивают пере-

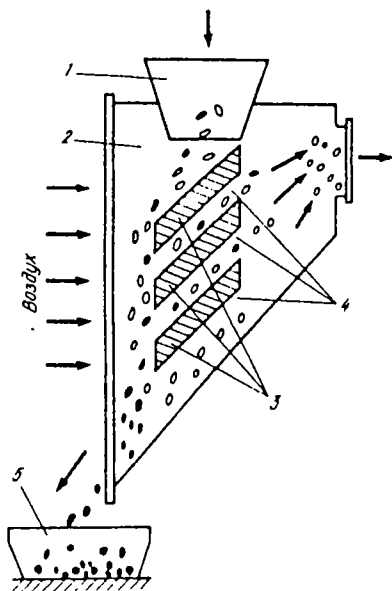


Рис. 6.49. Поперечно-поточный пневмосепаратор

сечение потока материала с сепарационными каналами 4. Через них отсасывается легкая фракция разделяемых материалов, которая осаждается в циклоне, а тяжелая фракция самотеком разгружается в специальный приемник 5. Основными факторами, влияющими на качество разделения в поперечно-поточных пневмосепараторах, являются ширина щели сепарационных каналов и концентрация материала в рабочем объеме сепаратора.

К устройствам, использующим *гравитационный* механизм, относятся пылевые камеры, в которых частицы пыли осаждаются из медленно движущегося газового потока. Они находят применение в основном для улавливания грубых фракций с размером частиц более 500 мкм.

К устройствам, в которых используется *центробежный* механизм, можно отнести циклоны и центробежные скрубберы. Эффективность пылевыделения в центробежных очистителях газов зависит от диаметра аппарата: чем он меньше, тем выше эффективность. Принцип работы циклона понятен из схемы, приведенной на рис. 6.50.

Выделение твердых частиц в циклоне происходит за счет центробежных сил, возникающих при вращении газового потока вдоль стенки аппарата. С этой целью очищенный газ вводится в корпус циклона тангенциально к его поверхности либо закручивается внутри него с помощью винтообразной крышки. Оседающая на стенке пыль накапливается в бункере и по мере необходимости выгружается из него с помощью пылевого затвора. Циклоны бывают одиночные, групповые и батарейные. Применяют циклоны чаще для очистки газов от крупных и средних твердых частиц.

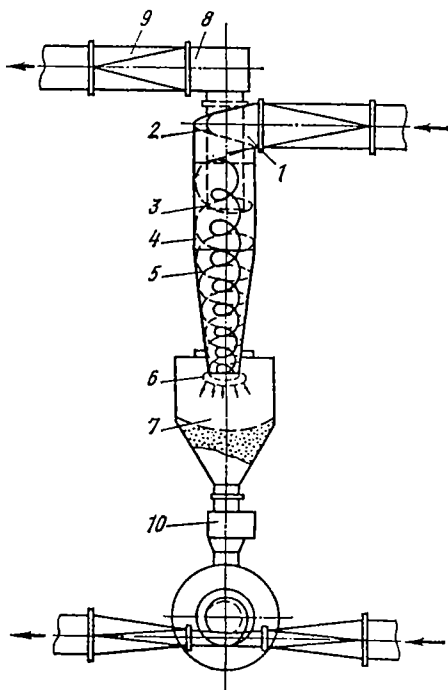


Рис. 6.50. Циклон НИИОгаза (общий вид и схема движения газа):

1 - входной патрубок; 2 - винтообразная крышка; 3 - выхлопная труба; 4 - корпус (цилиндрическая часть циклона); 5 - корпус (коническая часть циклона); 6 - пылевыпускное отверстие; 7 - бункер; 8 - улитка для вывода газа; 9 - газоход очищенных газов; 10 - пылевой затвор

Достоинством центробежных скрубберов является то, что их стенки орошаются водой, которая, стекая вниз, захватывает частицы пыли и эффективно выводит их из газового потока.

К устройствам, использующим *инерционный* механизм, относятся текстильные и зернистые фильтры, скрубберы с насадками, жалюзийные пылеуловители и некоторые другие аппараты. В частности, очень широко для очистки дымовых газов используются рукавные фильтры, в которых выделение твердых частиц происходит на волокнах фильтровального материала. При этом твердые частицы образуют слой пыли не только на волокнах, но и между ними, т. е. в порах материала.

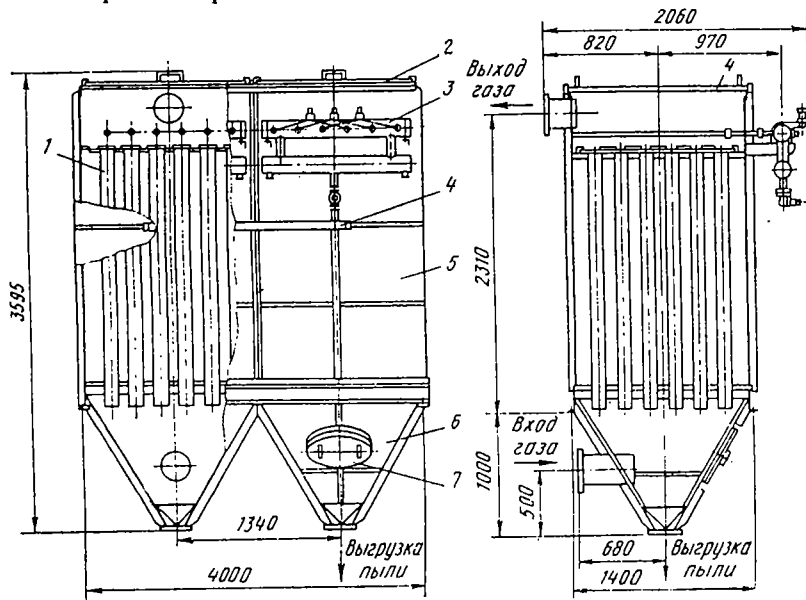


Рис. 6.51. Конструкция рукавного фильтра типа ФРКИ:

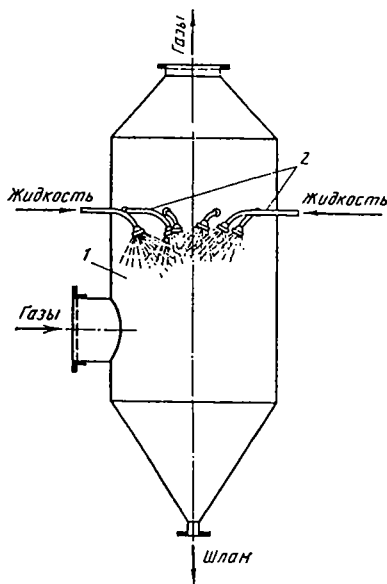
- 1 – рукав; 2 – крышка; 3 – клапанная секция; 4 – коллектор; 5 – корпус;  
6 – бункер; 7 – люк

По мере накопления пыли на поверхности фильтровального материала его фильтрующая способность уменьшается и он регенерируется. Регенерация фильтровального материала производится обратной продувкой рукава очищенным газом или встряхиванием. Рукавные фильтры с фильтрующим элементом в виде рукава из текстильного материала широко используются для очистки дымовых и аспирационных газов. Применяемые текстильные материалы могут быть ткаными или неткаными, из натуральных и синтетиче-

Рис. 6.52. Полюй форсуночный скруббер:  
1 – корпус; 2 – форсунки

ских волокон. На рис. 6.51 показано устройство широко распространенного рукавного, каркасного, импульсного фильтра ФРКИ.

К инерционным очистителям относятся и скрубберы различных конструкций, в которых используется столкновение твердых частиц с водой, подаваемой в аппарат в виде капель. Скрубберы позволяют извлекать из газового потока частицы размером 3 – 5 мкм, а в скрубберах Вентури происходит отделение и более мелких частиц. На рис. 6.52 показано устройство полого форсуночного скруббера.



## 6.6. 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, кипятильники, 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. К ним относятся кожухотрубчатые, оросительные, погружные змеевиковые, пластинчатые, спиральные, оребренные, блочные, шнековые теплообменные аппараты, а также теплообменники с рубашкой.

На рис. 6.53 показано устройство кожухотрубчатого теплообменника. Модель аппарата, его производительность и размеры выбираются на основе технического проекта из каталога.

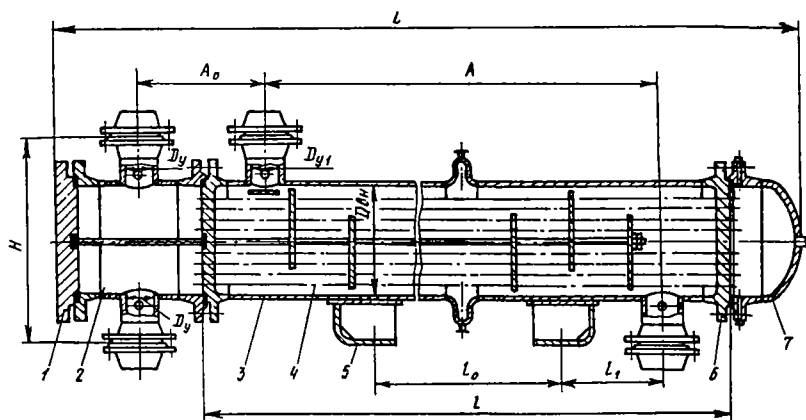


Рис. 6.53. Горизонтальный холодильник с неподвижными трубными решетками и температурным компенсатором на кожухе:

1 – крышка камеры; 2 – распределительная камера; 3 – кожух; 4 – теплообменные трубы; 5 – опора; 6 – трубная решетка; 7 – крышка

На рис. 6.54 приведена конструкция барабанной контактной сушилки со специальной трубчатой рубашкой обогрева. Такие аппараты применяются для сушки материалов, контакт которых с теплоносителем недопустим.

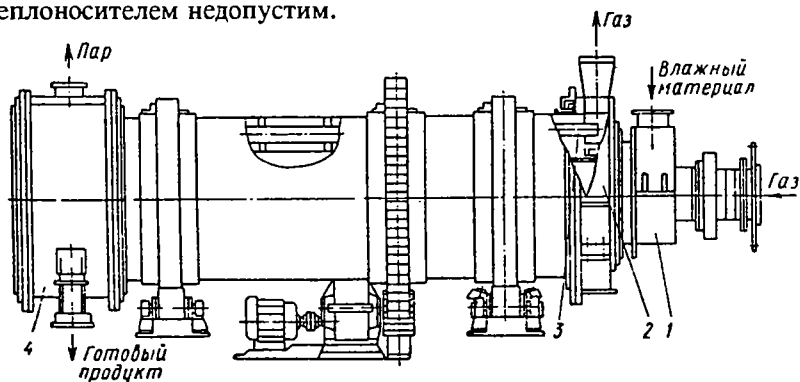


Рис. 6.54. Барабанная контактная сушилка:

1 – камера загрузки; 2 – дымовая камера; 3 – трубы; 4 – разгрузочная камера

При выборе теплообменных аппаратов учитывают тепловую нагрузку, температуру процесса, физико-химические свойства рабочих сред, условия теплообмена, материалы, из которых они изготовлены, стоимость аппарата и эксплуатационные расходы, простоту конструкции, возможность ремонта и другие факторы.

При организации теплообменных процессов целесообразно использовать вторичные энергоресурсы, образующиеся в технологических процессах. Рациональное использование вторичных энергоресурсов снижает эксплуатационные затраты на топливо и уменьшает загрязнение окружающей среды.

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 качестве критерия эффективности могут быть использованы приведенные затраты на создание и эксплуатацию теплообменной системы. Задача оптимизации теплового процесса сводится к обеспечению минимальных затрат (капитальных и эксплуатационных) на его проведение. Критерий оптимальности  $\Pi$  (руб.) для теплообменников определяется из уравнения:

$$\Pi = Z_k/T_n + P_э = \min, \quad (6.37)$$

где  $Z_k$  – капитальные затраты, руб.;  $T_n$  – нормативный срок окупаемости, лет;  $P_э$  – эксплуатационные расходы, руб/год.

При расчете теплообменных систем исходят из уравнения теплового баланса, предполагающего, что количество тепла, отдаваемого теплоносителем  $Q_1$ , равно количеству тепла, полученного нагреваемой средой  $Q_2$ :

$$Q_1 = Q_2 \quad (6.38)$$

и, пренебрегая теплопотерями,

$$G_1 C_1 (\theta_{1н} - \theta_{1к}) = G_2 C_2 (\theta_{2к} - \theta_{2н}), \quad (6.39)$$

где  $G_1$  и  $G_2$  – количество теплоносителя и теплопотребителя;  $C_1$  и  $C_2$  – теплоемкость теплоносителя и теплопотребителя;  $\theta_{1н}$  и  $\theta_{1к}$  – начальная и конечная температура теплоносителя;  $\theta_{2н}$  и  $\theta_{2к}$  – начальная и конечная температура теплопотребителя.

Поверхность теплообмена рассчитывают по уравнению:

$$F = \frac{Q\delta}{\lambda \Delta\theta_{ср}}, \quad (6.40)$$

где  $F$  – поверхность теплообменника, м<sup>2</sup>;  $Q$  – тепловая нагрузка теплообменного аппарата, Вт;  $\delta$  – толщина стенки теплообменника, м;  $\lambda$  – коэффициент теплопроводности, Вт/(м·К);  $\Delta\theta_{ср}$  – средняя разность температур поверхностей стенки, К.

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.

## 6.7. 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 массопереноса, 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.

К поверхностным абсорберам относится наиболее часто используемый насадочный колонный аппарат (рис. 6.55) с рабочими элементами в виде насадок (широко известны, например, насадочные кольца Рашига), на поверхности которых удерживается жидкий абсорбент в виде тонкой пленки.

Абсорбция в тарельчатых колонных аппаратах происходит в слоях жидкости на тарелках, через которые барботирует газ.

В распределительных абсорберах поверхность взаимодействия образуется каплями распыляемой жидкости, что достигается с помощью различных форсунок и других приспособлений. По этому принципу работают широко известные аппараты-скрубберы, которые применяются для очистки дымовых газов.

Жидкость, используемая в качестве абсорбента, после насыщения подлежит регенерации с помощью десорбции. 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. Минимальный диаметр пор составляет  $10^{-4}$  мкм. 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.

Это важнейшая стадия процесса адсорбционной очистки. Адсорбированные вещества из адсорбента извлекают перегретым водяным паром либо нагретым инертным газом. Температура перегретого пара (при избыточном давлении 0,3 – 0,6 МПа) составляет 200 – 300 °С, а инертных газов 120 – 140 °С. Расход пара при отгонке легколетучих веществ равен 2,5 – 3 кг на 1 кг отгоняемого вещества, для высококипящих – в 5 – 10 раз больше. 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.

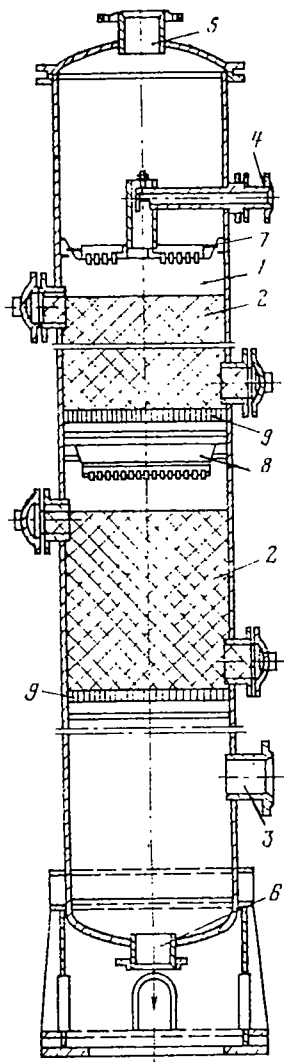


Рис. 6.55. Конструкция насадочного абсорбера:

1 – контактная камера; 2 – насадка; 3 – штуцер для входа газа; 4 – патрубок для подачи жидкости; 5 – штуцер для выхода газа; 6 – штуцер для выхода жидкости; 7 – форсуночное устройство; 8 – распределительная тарелка; 9 – решетка

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.

Ведутся работы по созданию биологических способов регенерации адсорбентов, которые могут значительно повысить их долговечность.

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. Преимущества использования текстильных материалов из активных углеродных волокон перед гранулированными активными углями следующие:

- \* возможность обеспечения повышенной степени рекуперации растворителей (обычно выше 99%);
- \* существенное снижение потерь растворителей от термического разложения последних в присутствии угольных адсорбентов;
- \* применимость для рекуперации полимеризующихся мономеров и растворителей с высокой температурой кипения;
- \* пониженная пожаро- и взрывоопасность;
- \* компактность адсорбционной аппаратуры.

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 (рис. 6.56).

Статическая одноступенчатая адсорбция нашла применение в тех случаях, когда адсорбент очень дешев или является отходом производства.

Расход адсорбента для одноступенчатого процесса очистки сточных вод определяют из уравнения материального баланса:

$$m = Q(C_n - C_k) / a, \quad (6.41)$$

где  $m$  – расход адсорбента;  $Q$  – объем сточных вод;  $C_n$  и  $C_k$  – начальная и конечная концентрации загрязненной сточной воды;  $a$  – коэффициент адсорбции.

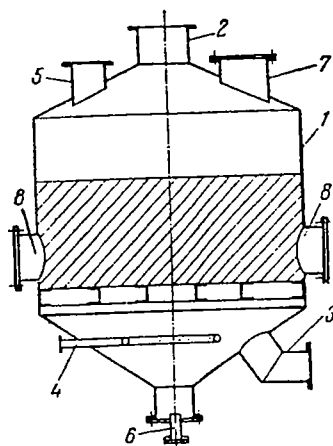


Рис. 6.56. Вертикальный адсорбер периодического действия с неподвижным слоем поглотителя:

1 – корпус; 2 – штуцер для подачи парогазовой смеси (при адсорбции) и воздуха (при сушке и охлаждении); 3 – штуцер для отвода отработанного газа (при адсорбции) и воздуха (при сушке и охлаждении); 4 – барботер для подачи острого пара при десорбции; 5 – штуцер для отвода паров при десорбции; 6 – штуцер для отвода конденсата; 7 – штуцер для загрузки поглотителя; 8 – люки для выгрузки поглотителя

В динамических условиях процесс очистки проводят фильтрованием очищаемых жидкостей или газа через слой адсорбента. Скорость фильтрования зависит от концентрации растворенных веществ и колеблется от 2 до  $6 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$ . Очищаемая среда в колонне движется снизу вверх, заполняя все ее сечение. Адсорбент применяют в виде частиц размером 1,5 – 5 мм. При более мелких зернах возрастает сопротивление фильтрованию жидкости.

Для организации непрерывного процесса при использовании периодически действующих аппаратов их устанавливают параллельно в одной установке, проводя процесс адсорбции поочередно в одном из аппаратов.

Для обеспечения непрерывности рекуперации летучих растворителей установка улавливания их паров должна включать как минимум два адсорбера периодического действия (обычно их число составляет от 3 до 6 и более).

Более прогрессивны непрерывно действующие установки с движущимся плотным и псевдооживленным слоем адсорбента, которые отличаются высокой скоростью обрабатываемых потоков, компактностью оборудования, высоким коэффициентом использования адсорбентов, отсутствием энергозатрат на периодическое нагревание и охлаждение одного и того же аппарата, возможностью сравнительно простой и полной автоматизации, а также простотой обслуживания.

В непрерывно действующих установках адсорбент перемещается из одной части в другую, где и проходят соответствующие стадии единого процесса. Такие установки могут включать помимо адсорбера циклон, вакуум-фильтр, насос, регенератор, сушилку и другие аппараты. Применение непрерывно действующих адсорбционных установок экономически оправдано при больших объемах очищаемых потоков.

Стоимость адсорбции в значительной степени определяется стоимостью адсорбента, поэтому очень важен поиск новых, более дешевых адсорбентов по сравнению с промышленными активными углями, получаемыми из различных видов природного органического сырья (торфа, бурого и каменного угля, дерева, древесного угля, опилок, костей и др.).

Большие возможности повышения сорбционной способности активных углей заключаются в модифицировании их поверхности. Так, предварительная обработка обычного активного угля щелочным раствором сульфида натрия придает ему способность поглощать ртуть из сточных вод.

Наряду с использованием природных адсорбентов все более широко используют синтетические поглотители, обладающие следующими преимуществами перед активными углями:

- \* простотой регенерации с помощью некоторых полярных органических растворителей типа метанола, ацетона и других низкомолекулярных спиртов и кетонов;
- \* возможностью извлечения ценных веществ, содержащихся в сточных водах, с помощью термической регенерации;
- \* высокой механической прочностью, нестираемостью и ненабухаемостью в воде и органических растворителях;
- \* оптимальными с точки зрения кинетики адсорбции и гидродинамики фильтра размерами частиц, имеющих сферическую форму и узкий фракционный состав (0,5 – 0,6 мм);
- \* более высокой скоростью адсорбции.

Преимущества синтетических адсорбентов, несмотря на их высокую стоимость (в среднем они в пять раз дороже гранулированных активных углей), снижают приведенные затраты на очистку сточных вод по сравнению с применением активных углей.

Синтетические адсорбенты наиболее выгодно использовать для очистки высококонцентрированных промышленных сточных вод, в то время как для очистки городских и низкоконцентрированных промышленных сточных вод лучше использовать активные угли.

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.

Очень часто дистилляцию проводят, переводя жидкость в пленочное состояние, используя для этого пленочные испарители различной конструкции. Испаряющаяся жидкость затем конденсируется в конденсаторе, который имеет рубашку для охлаждения с помощью охлаждающего агента.

Одним из видов дистилляции является *ректификация*. Для ее проведения используют аппараты сложной конструкции – ректификационные колонны, внутри которых имеются контактные устройства в виде тарелок или насадок. По своему устройству ректификационные колонны аналогичны рассмотренным выше абсорбционным.

Дистилляция широко используется в промышленности. В частности, этим способом проводится регенерация отработанных минеральных масел, разделение газо-смоляной жидкости, образующейся при пиролизе полимерных отходов, например изношенных автотопрышек.

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. Благодаря вращению барабана материал все время пе-

ремешивается, что позволяет интенсифицировать сушку. В зависимости от требуемой производительности сушилки могут иметь диаметр до 3,5 м и длину до 20 м. Угол наклона барабана в зависимости от материала и его влажности – от 3 до 5 град. Скорость вращения барабана составляет от 2 до 5 мин<sup>-1</sup>.

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). Наряду с ними иногда используют кристаллизацию высаливанием (введением в раствор веществ, понижающих растворимость соли), вымораживанием (охлаждением растворов до отрицательных температур с выделением кристаллов соли или их концентрированием с удалением части растворителя в виде льда) или за счет химической реакции, обеспечивающей пересыщение раствора. Кроме того, применяют высокотемпературную (автоклавноую) кристаллизацию, обеспечивающую возможность получения кристаллогидратов с минимальным содержанием кристаллизационной влаги.

Существующие аппараты-кристаллизаторы отличаются многообразием конструктивных решений. Одним из наиболее распространенных является барабанный вращающийся кристаллизатор с водяным или воздушным охлаждением. Барабан устанавливается с очень небольшим наклоном в сторону выгрузки (1 : 200) и вращается со скоростью до 20 мин<sup>-1</sup>. При водяном охлаждении вода подается в рубашку аппарата, а при воздушном воздух подается непосредственно в барабан. Движение охлаждающих агентов в барабане осуществляется навстречу потоку жидкости.

*Растворение* заключается в реализации гетерогенного взаимодействия между жидкостью и твердым веществом, сопровождающе-



гося переходом последнего в раствор, и широко используется в практике переработки многих твердых отходов.

Возможность растворения твердого вещества может быть оценена изменением энергии Гиббса  $\Delta G$ , определяемым соотношением:

$$\Delta G = \Delta H_p - T \cdot \Delta S, \quad (6.42)$$

где  $\Delta H_p$  – изменение энтальпии;  $\Delta S$  – изменение энтропии;  $T$  – абсолютная температура.

При  $\Delta G < 0$  возможно растворение, при  $\Delta G = 0$  система находится в равновесии, при  $\Delta G > 0$  вероятен процесс кристаллизации. Растворимость твердых веществ в жидкостях обычно ограничена концентрацией насыщения.

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, смесительно-отстойные и другие экстракторы. Экстрагирование широко применяется при переработке отвалов горнодобывающей промышленности, некоторых металлургических и топливных шлаков, пиритных огарков, древесных и многих других отходов.

## 6.8. 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.

Введение рециркуляции в технологическую схему позволяет решить ряд важных технологических задач:

- \* наиболее полное использование исходных компонентов (для реакторов с неполным превращением);
- \* исключение вредных выбросов в окружающую среду;

- \* рекуперация энергии системы (например, используется теплота реакции для подогрева исходных реагентов);
- \* создание оптимальных технологических режимов (интенсифицируются начальные стадии автокаталитических реакций, создается избыток одного из реагентов для сдвига равновесия химической реакции в направлении образования целевого продукта; подавляются побочные и интенсифицируются основные химические реакции; создается оптимальный температурный режим);
- \* наиболее полное использование катализаторов и инертных растворителей, в присутствии которых протекает химическое превращение.

Следует отметить, что с помощью рециркуляции можно повысить абсолютный выход любого продукта сложной химической реакции. Особенно важно то, что этого не может дать ни один из таких традиционных способов управления химической реакцией, как изменение давления, температуры и других параметров, так как они в той или иной степени действуют на все реакции, а рециркуляция, изменяя скорость и состав потока, позволяет направить реакцию в желаемую сторону в максимально возможной степени. Таким образом, введение рециркуляции может быть использовано как для интенсификации технологического режима внутри реактора, так и для создания схем с наиболее полным использованием сырья и энергии.

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, гипохлоритом и жидким хлором 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 непрерывно-

го 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.

На рис. 6.57 показана конструкция реактора для проведения химического процесса при температуре 220 °С с использованием агрессивных сред. Реактор снабжен необходимой теплозащитой и теплообменником. Перемешивание веществ осуществляется с помощью мешалки.

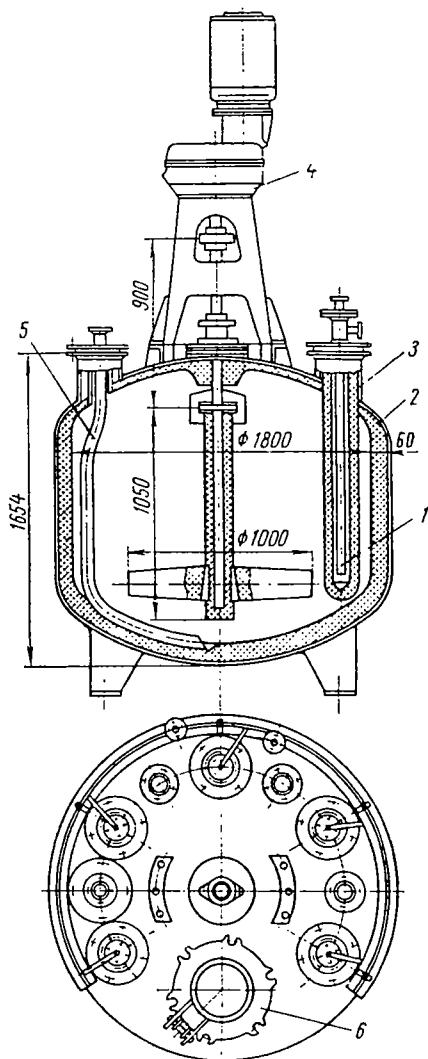


Рис. 6.57. Конструкция химического реактора:

- 1 – гильза; 2 – корпус; 3 – теплообменник; 4 – привод с мешалкой; 5 – труба для перекачивания продукта; 6 – крышка люка

## 6.9. 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, pH 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 полупроницаемые 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).

На протекание биохимических процессов влияют также некоторые вещества, содержащиеся в очищаемой среде. Так, при очистке сточных вод биохимическими методами предельно допустимое содержание ряда металлов в воде чрезвычайно мало, в частности, содержание ионов мышьяка и сурьмы не должно превышать  $0,2 \text{ г/м}^3$ , меди –  $0,4$ , шестивалентного хрома –  $0,5$ , никеля и свинца –  $1 \text{ г/м}^3$ . Эти металлы и ряд других, в том числе органических, соединений являются ядами для бактерий.

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

Высокая концентрация в промышленных сточных водах трудноокисляемых и токсичных соединений, нестабильность их объема обусловили необходимость применения многоступенчатых систем биологической очистки, основным элементом которых является аэротенк (рис. 6.58).

В связи с необходимостью интенсификации процессов очистки сточных вод широкое применение получил способ биохимической очистки с использованием технического кислорода или обогащенного кислородом воздуха. Очистные сооружения, в которых применяется этот способ, получили название окситенков.

Применение кислорода обеспечивает:  
экономия электроэнергии;

повышение скорости насыщения сточных вод кислородом до более высоких концентраций (около 10 мг/л) даже при атмосферном давлении;

гибкость и устойчивость работы установок при изменении нагрузки;

увеличение (примерно на 30%) скорости отстаивания сточных вод после биологической очистки.

Конструктивно окситенки могут быть открытыми или закрытыми. Закрытые окситенки выполняются в виде одной или нескольких (до четырех) последовательно соединенных по газовой и жидкой фазам герметизированных камер. В первую камеру вводится сточная вода и технический кислород, обеспечивающий небольшое избыточное давление в газовой фазе. По мере прохождения через камеры вода очищается, а концентрация кислорода в газовой фазе снижается. Из последней камеры газ выходит в атмосферу, а очищенная вода поступает во второй отстойник. Рециркуляционный поток активного ила из второго отстойника возвращается в первую камеру, а избыточный активный ил выводится из системы.

Использование окситенков позволяет сократить площади, отводимые под очистные сооружения. Производительность действующих очистных сооружений при переоборудовании аэротенков в окситенки может быть увеличена без расширения территории очистных сооружений.

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 жизнедеятельно-

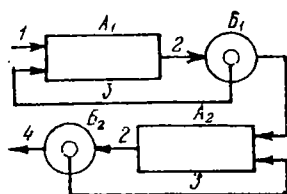


Рис. 6.58. Схема двухступенчатой очистки сточной воды: А – аэротенк; Б – вторичный отстойник; 1 – поступающая сточная вода; 2 – иловая смесь; 3 – возвратный ил; 4 – сброс сточной воды

сти. 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<sup>3</sup> биогаза по теплоте сгорания эквивалентен 0,6 м<sup>3</sup> природного газа, 0,74 м<sup>3</sup> нефти или 0,65 м<sup>3</sup> 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.

Анаэробная технология совместной переработки твердых бытовых отходов и илистого осадка сточных вод позволяет сократить объем отходов на 30 – 40%. Для этого отходы смешивают с активным илом в соотношении 3,5 : 1 (по объему) и полученную смесь размещают на площадке с водонепроницаемым основанием из глины, уплотняют и герметично изолируют от окружающей воздушной среды, т.е. процесс протекает в анаэробных условиях. Влажность среды должна составлять 70 – 75%. Смешивание твердых бытовых отходов с активным илом увеличивает выход метана, сокращает продолжительность разложения отходов в 4 – 5 раз и – самое главное – снижает период стабилизации полигонов отходов со 100 до 10 – 15 лет.

В процессе биометаногенеза органических отходов участвуют три группы бактерий, последовательно воздействующих на них и на продукты их брожения. С биохимической точки зрения при превращении органических отходов в метан электроны органических молекул переносятся на углекислый газ, который восстанавливается до метана. Донорами электронов являются уксусная кислота и водород, вырабатываемые бактериями.

С точки зрения эколога метаногенез – важный процесс в углеродном цикле биосферы, так как позволяет самой природе ликвидировать органические отходы.

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.

# Глава 7. ТЕРМИЧЕСКИЕ СПОСОБЫ ПЕРЕРАБОТКИ ОТХОДОВ

Одними из наиболее широко распространенных способов воздействия на отходы являются термические, при использовании которых в зависимости от условий проведения процесса происходят окисление, разложение и восстановление химических соединений, составляющих отходы, причем зачастую все эти процессы происходят одновременно. Главной целью такой обработки является обезвреживание отходов и уменьшение их объемов, но наряду с этим ряд способов термического воздействия позволяет получать из отходов ценные товарные продукты.

К термическим методам относят жидкофазное окисление, гетерогенный катализ, газификацию и пиролиз отходов, плазменный и огневой методы.

## 7.1. Беспламенные термические способы утилизации ОТХОДОВ

*Метод жидкофазного окисления* ("мокрое" сжигание) используют для обезвреживания жидких отходов и осадков сточных вод. Суть метода состоит в окислении кислородом воздуха органических и элементоорганических примесей сточной воды при температуре 150 – 350 °С и давлении 2 – 28 МПа.

Эффективность метода оценивается полнотой окисления органической части осадка, которая зависит в основном от температуры обработки. Окисление осадка сопровождается выделением тепла. При влажности около 96% этого тепла достаточно для поддержания температурного режима, а энергия затрачивается в основном на подачу сжатого воздуха. Интенсивное окисление органического вещества осадка кислородом воздуха происходит в течение 30 – 40 мин.

Технологическая схема процесса жидкофазного окисления представлена на рис. 7.1. Смесь осадка первичных отстойников и избыточного активного ила поступает по трубе 1 в приемный резервуар 2, где предварительно нагревается до 40 – 50 °С. Нагретый осадок питательным насосом 3 подается в насос высокого давления 4, который перекачивает его через последовательно установленные теплообменники 5 и 6 в реактор 7. В напорный трубопровод насоса подается сжатый воздух от компрессора 10. На входе в реактор температура паровоздушной смеси составляет около 240 °С.

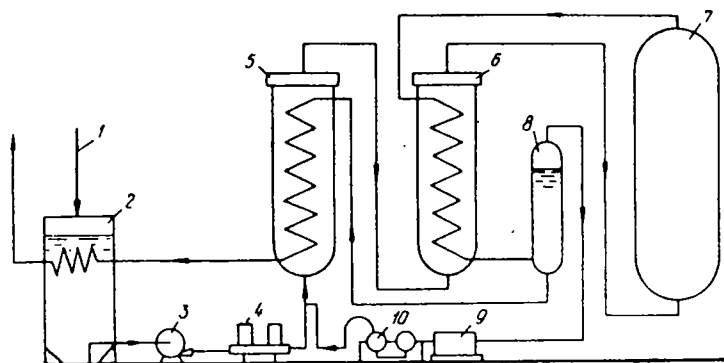


Рис. 7.1. Технологическая схема процесса жидкофазного окисления:

1 – подача исходного осадка; 2 – приемный резервуар; 3 – питательный насос; 4 – насос высокого давления; 5, 6 – теплообменники; 7 – реактор; 8 – сепаратор; 9 – турбина; 10 – компрессор

Для окисления на 50% необходима температура около 200 °С, на 70% и более – 250 – 300 °С. Две трети действующих установок работают при температуре 300 °С и давлении 21 МПа, одна треть – при 100 – 200 °С и давлении 1,8 – 2,4 МПа.

Основное преимущество метода жидкофазного окисления состоит в небольших затратах энергии на процесс, так как сточная вода подвергается лишь незначительному испарению. Однако у этого способа есть и серьезные недостатки: высокая стоимость и сильная коррозия оборудования, образование накипи на поверхности теплообменников, неполное окисление отходов и др. Из-за этих недостатков способ жидкофазного окисления применяется весьма ограниченно.

Метод гетерогенного катализа применяют для обезвреживания газообразных и жидких отходов с низкой концентрацией горючих примесей, когда применение других методов связано с большим расходом топлива. Процесс окисления на катализаторах осуществляют при температуре 200 – 300 °С, что значительно ниже температуры сжигания в печах (950 – 1100 °С). Наиболее эффективными катализаторами являются металлы платиновой группы, менее эффективны катализаторы, изготовленные из оксидов металлов (алюминия, меди, хрома, кобальта, марганца и др.). Использование платины, родия и других металлов платиновой группы позволяет снизить температуру начала процесса окисления. Термокаталитические реакторы применяют для окисления оксида углерода, водорода, углеводородов, аммиака, фенолов, альдегидов, кетонов и других соединений. При этих реакциях образуются углекислый газ, азот и вода. Степень окисления достигает 99,9%. Для увеличения удельной поверхности катализаторов применяют кера-

мические пористые носители. На рис. 7.2 представлены схемы термokatалитических реакторов.

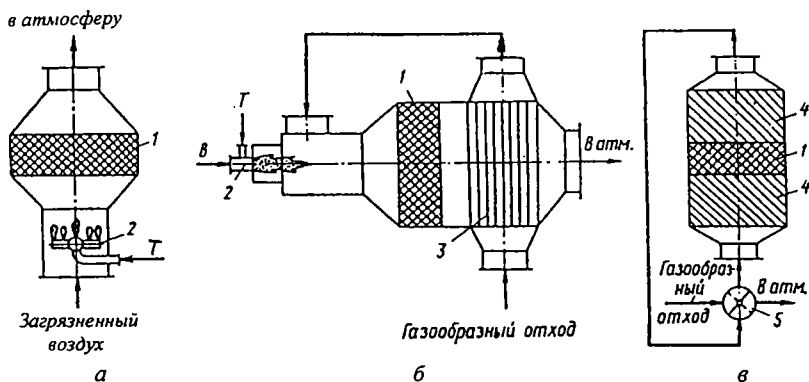


Рис. 7.2. Схемы термokatалитических реакторов:

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

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

Термokatалитические реакторы не следует применять при большом содержании пыли и водяных паров в газообразных отходах ввиду их дезактивации. Каталитическое окисление неприменимо также для обезвреживания отходов, содержащих высококипящие или высокомолекулярные соединения, вследствие неполного их окисления и забивания поверхности катализатора. Многие химические элементы (фосфор, свинец, мышьяк, ртуть, сера, галогены и их соединения и др.) даже в очень малых концентрациях могут вызывать отравление катализаторов, поэтому каталитическое окисление нельзя применять при обезвреживании отходов, в которых они содержатся.

Разновидностью термокаталитического окисления является парофазное каталитическое окисление, которое состоит из двух процессов: перевода органических отходов в парогазовую фазу и последующего каталитического окисления их в реакторе. Для перевода летучих органических веществ в парогазовую фазу применяют выпарные аппараты, скрубберы-испарители, работающие на подогретом воздухе или топочных газах. Метод парофазного каталитического окисления характеризуется высокой полнотой окисления летучих органических отходов (99,8%) и большой производительностью оборудования.

*Метод газификации* применяется для переработки отходов с получением горючего газа, смолы и шлака. Газификация является термохимическим высокотемпературным процессом взаимодействия органической массы с газифицирующими агентами, в результате чего органические продукты превращаются в горючие газы. В качестве газифицирующих агентов используют воздух, кислород, водяной пар, диоксид углерода и их смеси.

Газификация осуществляется в механизированных шахтных газогенераторах с применением воздушного, паровоздушного и парокислородного дутья. По сравнению с сжиганием метод газификации отходов имеет следующие преимущества:

- \* получаемые горючие газы могут быть использованы в качестве топлива;
- \* получаемая смола может быть использована как топливо или химическое сырье;
- \* уменьшаются выбросы золы и сернистых соединений в атмосферу.

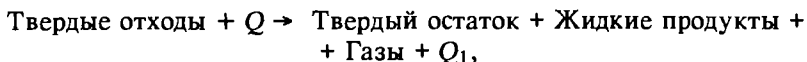
При газификации с использованием воздушного и паровоздушного дутья получают генераторный газ с низкой теплотой сгорания 3,5 – 6 МДж/м<sup>3</sup>. Такой газ непригоден для транспортировки и может быть использован только на месте получения. При парокислородной газификации получают газ с теплотой сгорания до 16 МДж/м<sup>3</sup>, который можно транспортировать на значительные расстояния.

Процесс газификации пригоден для переработки дробленых сыпучих газопроницаемых отходов. Пастообразные и крупногабаритные отходы не могут перерабатываться этим способом.

*Пиролиз* отходов заключается в термическом разложении отходов без доступа воздуха. Однако реальные пиролизные процессы, используемые при утилизации отходов, представляют собой термическое разложение при ограниченном поступлении воздуха, поэтому их правильнее было бы назвать частичным пиролизом. В результате пиролиза образуются пиролизный газ с высокой теплотой сгорания, жидкие продукты и твердый углеродистый остаток.

При пиролизе органического вещества происходит не только его распад, но и синтез новых продуктов. Эти стадии процесса вза-

имосвязаны и протекают одновременно. Материально-энергетическую схему пиролиза можно представить следующим образом:



где  $Q$  и  $Q_1$  – подводимое и выделяемое тепло.

Пиролизом перерабатываются твердые отходы, в том числе отходы пластмасс, резины и др. Нагрузка на окружающую среду при пиролизе меньше, чем при сжигании отходов.

В основу классификации пиролизных установок положена температура процесса, так как она определяет количество и качество образующихся продуктов. В зависимости от температуры различают три вида пиролиза:

- \* низкотемпературный пиролиз, который проводят при 450 – 550 °С с образованием максимальных количеств жидкого продукта и твердого остатка и минимальным выходом пиролизного газа. Газ, образующийся при низкотемпературном пиролизе, обладает максимальной теплотой сгорания;
- \* среднетемпературный пиролиз, который проводят при температуре до 800 °С. При этих условиях увеличивается выход газа, но снижается его теплота сгорания, одновременно снижается выход жидкого и твердого продуктов;
- \* высокотемпературный пиролиз, который проводят при 900 – 1050 °С. При этой температуре выход жидкого и твердого продуктов минимален, а выход пиролизного газа максимален, но такой газ имеет самую низкую теплоту сгорания. Высокотемпературный пиролиз позволяет более интенсивно и глубоко преобразовать исходный продукт, так как при увеличении температуры скорость реакции возрастает быстрее, чем растут теплотери, происходит более полное выделение летучих продуктов, а количество твердого остатка сокращается.

Как правило, пиролиз проводят в вертикальной шахтной печи, в которую отходы подаются сверху. Однако ряд фирм разработали и эксплуатируют пиролизные установки, в которых используют барабанные вращающиеся печи, а также печи с псевдоожиженным слоем. В частности, барабанная вращающаяся печь использована в схеме "Ландгарт", разработанной фирмой "Монсанто" (США) для термической обработки мусора (рис.7.3). Пиролиз осуществляется при ограниченном доступе кислорода. Эксплуатируемая по такой схеме установка имеет производительность 35 т/сут.

Отходы из бункера 1 по двум виброжелобам направляются в дробилку 2, а затем – в бункер для дробленых отходов 3, откуда их непрерывно подают во вращающуюся печь 4. Печь изнутри футерована огнестойким материалом и установлена с небольшим на-

клоном, благодаря чему измельченные отходы в ней легко перемещаются, при этом часть горючих составляющих сгорает.

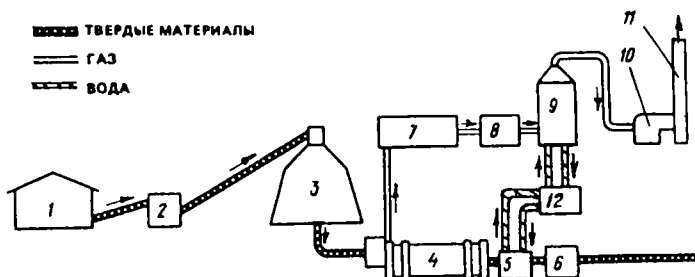


Рис. 7.3. Технологическая схема пиролиза отходов "Ландгарт"

Отходы, подлежащие пиролизу, движутся противотоком по отношению к обогревающим газам. Однако теплоты, образующейся при их сгорании, недостаточно, так как процесс эндотермичен и для его осуществления подводится дополнительное тепло, выделяемое при сгорании топлива.

Остаток твердых отходов после пиролиза попадает в находящуюся в конце печи шлаковую ванну 5, питаемую водой, поступающей из скруббера 9, служащего для очистки отходящих газов. Шлак направляется на магнитный сепаратор 6. Освобожденный от железа остаток представляет собой стеклоподобное темное вещество. Пиролизный газ полностью сгорает в камере с огнеупорной футеровкой 7, в которую подается воздух. Тепло используется для производства пара с помощью парогенератора 8. Отходящий газ, пройдя скруббер, с помощью дымососа 10 через дымовую трубу 11 выбрасывается в атмосферу. Вода, используемая в скруббере и шлаковой ванне, очищается на установке 12.

Важнейшей частью пиролитической установки является реактор, один из типов которого напоминает шахтную печь (рис. 7.4). Реактор высотой 15 м и внутренним диаметром 3 м имеет производительность 300 т/сут.

Отходы периодически загружаются в верхнюю часть реактора и проходят вниз через три зоны: сушки, пиролиза, сгорания и плавления. Горячие газы из зоны сгорания проходят вверх сквозь слой отходов в зонах сушки и пиролиза. В зоне сушки под воздействием этого тепла происходит испарение влаги, содержащейся в отходах. Поступающие сверху отходы ограничивают подсос воздуха через загрузочное отверстие. Под зоной сушки расположена зона пиролиза, где высушенные отходы при крайне ограниченном доступе воздуха разлагаются с образованием горючего газа, углерода и шлака. Горючие газы поднимаются вверх и попадают в кольцеоб-

разный канал, откуда они вместе с паром (образовавшимся в зоне сушки) отсасываются вентилятором.

Основными компонентами пиролизного газа являются водород, оксид углерода, метан. Теплота сгорания этой смеси в зависимости от состава отходов и организации процесса составляет 6680 – 10450 кДж/м<sup>3</sup>. Часть энергии получаемого газа используется для подогрева воздуха, подаваемого в зону сгорания реактора. Остальная энергия передается потребителю в виде газообразного топлива или в виде теплоносителей.

Пиролизный газ имеет преимущество перед природным, так как не содержит соединений серы и азота. Однако в связи с низкой теплотой сгорания, трудностями аккумуляции и хранения пиролизного газа его невозможно собирать и транспортировать на значительное расстояние, вследствие чего потребитель газа должен находиться не далее 3 км от пиролизной установки.

Кокс, получаемый при пиролизе отходов, можно использовать в различных целях в зависимости от его состава и физических свойств. При пиролизе твердых отходов нефтеперерабатывающих производств кокс с зольностью до 50% после небольшой дополнительной обработки может быть применен в качестве заменителя природных и синтетических углеродсодержащих материалов. Коксовый

остаток, образующийся при пиролизе осадков сточных вод, можно использовать в качестве сорбента на станциях водоподготовки и очистки сточных вод. При пиролизе изношенных автомобильных покрышек получают газовую сажу, используемую в производстве резиновых технических изделий, пластмасс, типографских красок, пигментов. Возможны и другие направления использования твердого углеродистого остатка.

Пиролиз отходов можно осуществлять в реакторах с внешним и внутренним обогревом. Внешний обогрев применяют в реакторах в виде вертикальных реторт или во вращающихся барабанных реак-

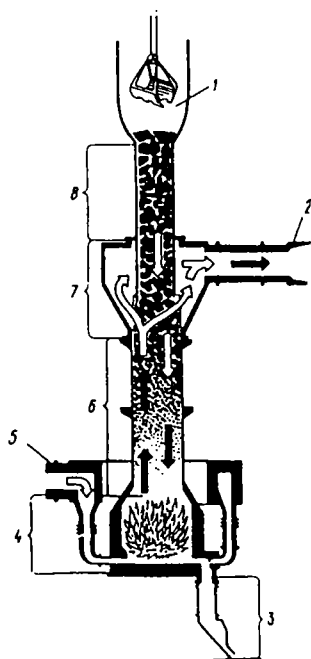


Рис. 7.4. Реактор высокотемпературного пиролиза:

- 1 - загрузка отходов; 2 - кольцеобразный канал; 3 - удаление и охлаждение шлака; 4 - зона сгорания и плавления; 5 - подача горячего воздуха в зону горения; 6 - зона пиролиза; 7 - зона сушки; 8 - отходы



торах. В этих аппаратах пиролизные газы не подвергаются какому-либо разбавлению газовыми теплоносителями, поэтому характеризуются высокой теплотой сгорания. Кроме того, газ, получаемый в реакторах с внешним обогревом, содержит минимальное количество пыли, так как не перемешивается с газовым теплоносителем, обычно пропускаемым через слой отходов, содержащих мелкодисперсные частицы.

В реакторах с внутренним обогревом (вертикальные шахтные, с псевдооживленным слоем, вращающиеся барабанные) в качестве теплоносителя используют инертные и горючие газы, не содержащие кислорода, нагретые до 600 – 900 °С. Наиболее целесообразно в качестве теплоносителя использовать образующийся пиролизный газ.

В реакторах с внутренним обогревом повышается запыленность пиролизного газа, но такая схема позволяет существенно интенсифицировать процесс пиролиза и сократить габариты реакторов по сравнению с установками с внешним обогревом.

## 7.2. Сжигание отходов

Сжиганием называется контролируемый процесс окисления твердых, жидких или газообразных горючих отходов. При горении в основном образуются диоксид углерода, вода и зола. Сера и азот, содержащиеся в отходах, образуют при сжигании различные оксиды, а хлор восстанавливается до HCl. Помимо газообразных продуктов при сжигании отходов образуются и твердые частицы – металлы, стекло, шлаки и др., которые требуют дальнейшей утилизации или захоронения.

За последние годы технология сжигания отходов претерпела значительные изменения, суть которых состоит в создании многоступенчатых систем очистки продуктов сгорания, а также в утилизации выделяющегося тепла и полезных продуктов. Это позволило существенно снизить нагрузку от сжигающих установок на окружающую среду, но в то же время потребовало значительных капитальных затрат. Тем не менее с учетом капитальных и текущих затрат технология обезвреживания отходов путем сжигания, по мнению многих специалистов, экономически более эффективна по сравнению с захоронением, требующим также значительных капитальных затрат на обустройство полигонов в соответствии с современными инженерными требованиями, а также с учетом стоимости земель, отчужденных под полигоны, и их инфраструктуры.

Огневой способ обезвреживания и переработки отходов является наиболее универсальным, надежным и эффективным по сравнению с другими. Во многих случаях он является единственно воз-

можным способом обезвреживания промышленных и бытовых отходов. Способ применяется для утилизации жидких, твердых, газообразных и пастообразных отходов. Огневую обработку используют и для утилизации негорючих отходов. В этом случае отходы подвергают воздействию высокотемпературных (более 1000 °С) продуктов сгорания топлива.

Область применения огневого способа и номенклатура отходов, подлежащих огневому обезвреживанию, постоянно расширяются. Этим способом утилизируют отходы хлорорганических производств, основного органического синтеза, производства пластических масс, резины и синтетических волокон, нефтеперерабатывающей промышленности, лесохимии, химико-фармацевтической и микробиологической промышленности, машиностроения, радиотехнической и приборостроительной промышленности, целлюлозно-бумажного производства и многих других отраслей промышленности.

Сжиганием можно обезвредить и такие сложные с точки зрения утилизации отходы, как смесь органических и неорганических продуктов, а также галогенорганические отходы. Смесь органических и неорганических солей – наиболее трудный материал для сжигания, так как, как правило, содержит воду. При их сжигании молекулы органических соединений разрушаются, а неорганические соединения превращаются в оксиды и карбонаты, которые выводятся вместе со шлаками и золой. Мелкодисперсные частицы оксидов и карбонатов, содержащихся в топочных газах, улавливаются в мокрых скрубберах.

Одними из наиболее опасных отходов, основным методом переработки которых служит сжигание, являются галогенорганические отходы. Хлорированные органические материалы могут содержать воду и имеют низкую теплоту сгорания.

На характер процесса сжигания влияют следующие технологические параметры: температура в огневом реакторе, удельная нагрузка, рабочий объем реактора, дисперсность распыления, аэродинамическая структура и степень турбулентности газового потока в реакторе и др.

Сжигание твердых отходов осуществляется в печах различной конструкции, основным элементом которых является колосниковая решетка, на которой, собственно, и протекает процесс. Пространство внутри печи разделено на несколько зон, где последовательно протекают процессы, в результате которых происходит сжигание отходов.

Процесс сжигания можно условно разделить на пять стадий, которые протекают последовательно, но могут проходить и одновременно: сушка, газификация, воспламенение, горение и дожигание.

В зоне сушки влага, содержащаяся в отходах, превращается в пар. Общая потребность в энергии на этой стадии состоит из двух составляющих: энергии, необходимой для повышения температуры до 100 °С при атмосферном давлении (для подъема температуры воды с 20 до 100 °С необходимо 334 кДж/кг), и энергии, необходимой для превращения воды в пар (2260 кДж/кг). Температура других компонентов отходов не может превышать 100 °С до тех пор, пока вода не превратится в пар.

На следующей стадии в зоне газификации происходит превращение горючих веществ в летучие компоненты. Газы, проходя по топке, попадают в зону воспламенения и загораются при 250 °С. Распространение горения интенсифицируется при росте плотности и объема газового потока. После воспламенения газов дополнительный подвод тепла не требуется. Важно, чтобы слой сжигаемого материала был равномерным и имел нужную высоту. Обычно отходы засыпают в печь слоями высотой 100 – 120 см, обеспечивая равномерную плотность слоя.

В зоне сгорания температура отходов повышается. Для полного их сгорания и охлаждения колосников в этой зоне необходим подвод достаточного количества воздуха, причем важно, чтобы отходы долго находились в зоне высоких температур. Если утилизируются сырые необработанные отходы, то период их полного сгорания составляет не менее 3 ч.

В зоне дожигания происходит догорание горючих газов и охлаждение раскаленного шлака воздухом или водой до 250 – 350 °С. В процессе сгорания 1 т твердых отходов в среднем образуется до 4000 м<sup>3</sup> газообразных продуктов (в пересчете на 0 °С), в которых содержится от 20 до 100 кг летучей золы.

Свойства твердых промышленных отходов, предназначенных для сжигания, сильно отличаются от свойств бытовых отходов своим составом. Последние представляют собой смесь различных материалов в том виде, в каком они накапливаются в мусоросборниках. Промышленные отходы, как правило, представляют собой однородный материал, состав которого зависит от вида промышленного производства. Как правило, на сжигание должны поступать только те промышленные отходы, которые не могут быть утилизированы другими способами. Свойства и состав промышленных отходов могут колебаться в широких пределах:

|                                    |           |
|------------------------------------|-----------|
| Содержание воды, % . . . . .       | 5 – 70    |
| Зольность, % . . . . .             | 10 – 95   |
| Теплота сгорания, кДж/кг . . . . . | 0 – 41800 |

В общем виде, когда неизвестна природа промышленных отходов, можно считать, что они состоят из твердых, полутвердых и жидких веществ со средней теплотой сгорания 10800; 14600; 25000 кДж/кг соответственно.

Промышленные отходы перед сжиганием должны пройти ряд подготовительных операций: дробление, гомогенизацию, дегидратацию и др.

Разработаны разнообразные установки для сжигания отходов. Типичная технологическая схема мусоросжигательного завода представлена на рис. 7.5.

Отходы из приемного бункера 1 грейферным захватом 2 подаются в загрузочный бункер 3. Сжигание в печи 6 происходит на подвижной колосниковой решетке 4. Необходимый для горения отходов воздух подается воздуходувкой 5 под решетку. Конструкция печи предусматривает сжигание как твердых, так и жидких отходов. Для этого в печи имеются форсунки 7 для впрыскивания жидких отходов. Котел 8 позволяет утилизировать тепло, выделяемое при горении отходов, и получать перегретый пар. Дымовые газы проходят очистку от золы-уноса в электрофилтре 10, а затем дымососом 11 выбрасываются через трубу 12, высота которой рассчитывается с учетом снижения предельных концентраций выбрасываемых веществ ниже норм ПДК. Шлак, образующийся при горении отходов, после охлаждения водой удаляется транспортером 9 на склад.

Ниже приведены параметры процесса сжигания отходов в некоторых печах:

|  | Температура, °С | Время пребывания отходов в печи  |
|--|-----------------|--|
| Многоподовая печь . . . . .                | 760 – 980       | 0,25 – 1,5 ч   |
| Печь с топкой кипящего слоя . . . . .      | 760 – 980       | $\Phi_c^*$   |
| Печь для сжигания жидких отходов . . . . . | 650 – 1650      | 0,1 – 2,0 с  |
| Факельная печь . . . . .                   | 538 – 815       | 0,3 – 0,5 с  |
| Каталитическая камера сгорания             | < 815           | 1,0 с  |
| Вращающаяся печь . . . . .                 | 815 – 1650      | $\Phi_c^*$   |
| Печь сжигания в расплаве солей . . . . .   | 815 – 980       | 0,75 с   |
| Многокамерная печь . . . . .               | 815 – 980       | Несколько секунд (для газов),<br>несколько минут (для твердых отходов) |

\*  $\Phi_c$  – время определяется фазовым состоянием.

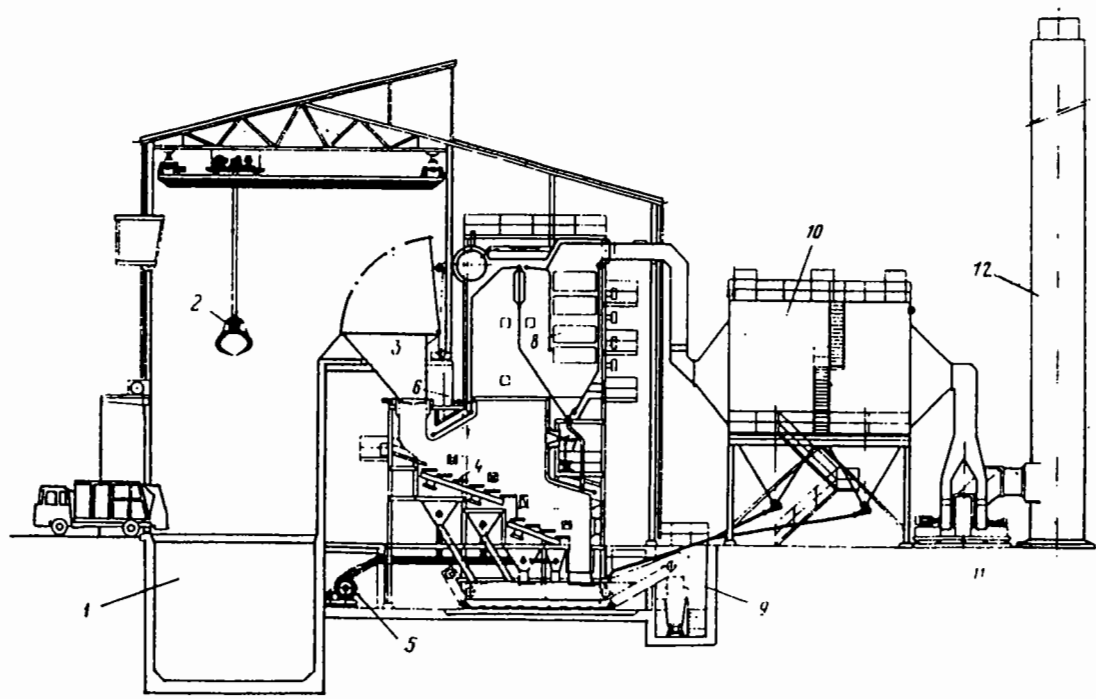


Рис. 7.5. Схема мусоросжигательного завода

Установки для сжигания отходов могут быть систематизированы по производительности, конструкции решетки, характеру использования продуктов сгорания, типу применяемого топлива, виду сжигаемых отходов.

Конструкция колосниковой решетки играет очень важную роль, поскольку она должна обеспечивать: транспортировку отходов; равномерное горение и максимальное использование всей поверхности решетки; подвод воздуха для горения; поддержку и перемещение горящих отходов.

Решетки для сжигания различаются по способу перемещения твердых отходов и бывают с неподвижным слоем (неподвижные решетки), с непрерывнодвигающимся слоем (цепные решетки) и с прерывистым перемещением слоя (обратно-переталкивающие решетки).

Существуют также ротационные топki, которые пригодны для сжигания не только твердых, но и жидких отходов, ярусные топki – топki цилиндрической формы, разделенные на ряд этажей и загружаемые сверху, и топki кипящего слоя.

Любая топка должна быть оснащена устройством для стабилизации горения, которая достигается сжиганием стабилизационного топлива для прогрева топki, воспламенения отходов и при необходимости компенсации недостаточной теплоты сгорания отходов. Оптимально применение для этих целей газообразного топлива (природного газа или пропан-бутановой смеси), поскольку газ меньше других топлив загрязняет атмосферу и позволяет легко регулировать процесс горения.

Температура в топке должна быть в интервале 800 – 1000 °С. Нижняя граница определяется необходимостью наиболее полного сгорания отходов, а верхняя – температурой плавления шлаков (850 – 1450 °С). При повышении температуры в печи до этих значений происходит плавление шлака и зашлаковывание колосниковой решетки.

Перед очисткой топочные газы подвергаются охлаждению. Это производится одним из следующих способов: подмешиванием холодного воздуха, впрыском воды, теплообменом с получением горячего воздуха, воды или пара.

Одной из наиболее важных проблем при сжигании отходов является очистка дымовых газов до санитарных норм. Требования к санитарной очистке газов определяются необходимостью получения в приземном слое воздуха содержания загрязняющих веществ ниже ПДК.

При сгорании твердых отходов образуется помимо летучей золы значительное количество весьма токсичных веществ, таких, на-

пример, как диоксины. Диоксины разрушают гормональную систему человека, ослабляя его иммунитет и нанося непоправимый вред репродуктивной способности. Отличительной особенностью диоксинов является их высокая устойчивость, что приводит к накоплению этих ядов в окружающей среде. Основная масса образующихся при сжигании отходов диоксинов адсорбируется на поверхности частиц пыли. Требования к содержанию диоксинов в продуктах сгорания отходов постоянно повышаются, что стимулирует использование все более совершенных способов борьбы с их образованием и разработку новых приемов их поглощения.

Снизить содержание диоксинов в дымовых газах можно путем создания многоступенчатой их очистки. В частности, современные мусоросжигательные заводы используют до 10 ступеней очистки дымовых газов от токсичных газов и пыли, в том числе каталитическое дожигание газов, угольные адсорберы, электрические и рукавные фильтры, скрубберы, очистку воды после скрубберов и др.

Однако такая многоступенчатая и дорогостоящая очистка дымовых газов не всегда требуется. Выбор того или иного способа производится исходя из состава отходов и продуктов сгорания, производительности установки для сжигания, температуры продуктов сгорания и других факторов.

Существующие способы очистки дымовых газов делят на *сухие* и *мокрые*. В основе сухих способов очистки лежат гравитационный, центробежный, инерционный и электрический механизмы выделения твердых частиц из газового потока.

Сравнительная эффективность работы различных аппаратов сухой очистки газов от твердых частиц показана в табл. 7.1.

Таблица 7.1

Эффективность аппаратов для удаления пыли

| Аппарат                         | Степень очистки газов, %, при удалении частиц размером, мм |      |      |
|---------------------------------|--|------|------|
|                                 | 5  | 2    | 1    |
| Циклон                          | 27,0   | 14,0 | 8,0  |
| Циклон повышенной эффективности | 73,0   | 46,0 | 27,0 |
| Мультициклон                    | 89,0   | 77,0 | 40,0 |
| Каркасный фильтр                | 99,9   | 99,9 | 99,0 |
| Электростатический осадитель    | 99,8   | 99,0 | 98,4 |

При мокрых способах очистки газов от пыли запыленный воздух или дымовые газы приводятся в контакт с жидкостью, как правило, с водой, которая захватывает твердые частицы и выносит их из аппарата очистки. Мокрые способы высокоэффективны, используются при необходимости очистки от очень мелких частиц (в ряде аппаратов – с размерами менее 1 мкм). Они позволяют сочетать очистку газов с их охлаждением. При мокрых способах происходит очистка дымовых газов не только от пыли, но и от растворенных в воде газов и жидкостей. Как правило, при мокрых способах очистки газов используют замкнутую систему водоснабжения. Мокрые способы очистки газов реализуются в скрубберах. Наиболее простая конструкция аппарата мокрой очистки газов приведена на рис. 6.52.

Завершая очень краткий анализ существующих способов очистки дымовых газов, следует отметить, что промышленность выпускает достаточно большой ассортимент аппаратов как сухой, так и мокрой очистки, сравнительные характеристики которых приведены в табл. 7.2.

Таблица 7.2

Характеристики газоочистных аппаратов

| Аппарат                | Начальное содержание пыли в газе, кг/м <sup>3</sup> | Размеры отдельных частиц, мкм | Степень очистки, % | Гидравлическое сопротивление аппарата, кПа |
|------------------------|---|-------------------------------|--------------------|--|
| Пылесадительная камера | –   | > 100                         | 30 – 40            | –  |
| Циклон                 | 0,4   | > 10                          | 70 – 95            | 4 – 7                                      |
| Батарейный циклон      | 0,1   | > 10                          | 85 – 90            | 5 – 8                                      |
| Рукавный фильтр        | 0,02  | > 1                           | 98 – 99            | 5 – 25                                     |
| Центробежный скруббер  | 0,05  | > 2                           | 85 – 95            | 4 – 8                                      |
| Электрофильтр          | 0,01 – 0,05   | > 0,005                       | ≤ 99               | 1 – 2                                      |

Эти аппараты в рамках одной марки отличаются большим количеством типоразмеров, позволяющих учесть производительность, запыленность, температуру, состав газов и другие характеристики процесса. Выбор и расчет установок для очистки газов достаточно подробно описан в специальной литературе.

Следует отметить, что установки обезвреживания дымовых газов до современных санитарных норм довольно дороги. Учитывая это, появились предложения по совместному сжиганию брикетированных твердых бытовых отходов совместно с природным топливом в котлоагрегатах ТЭЦ, что позволяет стабилизировать условия горения и повысить температуру в топке. Это, по мнению авторов, даст возможность снизить содержание диоксинов и фуранов в дымовых газах и избежать больших затрат на газоочистку.



### 7.3. Промышленные установки для сжигания ОТХОДОВ

В настоящее время существуют разнообразные установки для сжигания отходов. Так, для сжигания жидких отходов разработаны циклонный, прямоточный, турбобарботажный и комбинированный реакторы.

Для утилизации твердых и пастообразных отходов применяют словую, шахтную, барабанную вращающуюся печи, реакторы псевдоожиженного слоя, с жидкой ванной расплава минеральных веществ, циклонный, комбинированный.

Выбор типа установки для сжигания отходов необходимо проводить с учетом количества отходов, их агрегатного состояния, химической природы и необходимости соблюдения санитарных норм по защите окружающей среды.

Современные установки отличаются:

утилизацией выделяющегося при сжигании отходов тепла;

наличием воздушного охлаждения боковых стенок топки;

интенсификацией воздушного потока (вторичного, а иногда и третичного);

возможностью сжигать отходы с высокой теплотой сгорания;

автоматизацией и централизацией контроля всего процесса, включая утилизацию тепла;

высокой степенью защиты окружающей среды.

Ниже приведены основные характеристики мусоросжигательных заводов фирмы "Крефельд" (Германия) и московского № 2:

|  | "Крефельд"             | № 2 (Москва)            |
|--|------------------------|-------------------------|
| Количество смен . . . . .  | 3                      | 3                       |
| Количество агрегатов . . . . .   | 2                      | 2 + 1 резерв            |
| Установленная мощность по сжиганию, т/сут . . . . .                    | 2×240                  | 2×200                   |
| Тип решетки . . . . .  | Валковая               | Обратно-переталкивающая |
| Способ утилизации тепла  | Производство пара      | Производство пара       |
| Очистка дымовых газов . . . . .  | Электрический фильтр   | Трехступенчатая         |
| Сжигаемые отходы . . . . .   | Бытовые и промышленные | Бытовые                 |
| Допустимый интервал теплотворной способности отходов, кДж/кг . . . . . | 3760 – 10500           | 4165 – 7513             |
| Объем дымовых газов на выходе, м <sup>3</sup> /ч . . . . .             | 85500                  | 68000                   |
| Производительность котлов, т/ч . . . . .                               | 2×24                   | 2×15,45                 |
| Мощность турбин, МВт . . . . .   | 2×1,4                  | –                       |
| Параметры пара на выходе из котла:                                     |                        |                         |
| температура, °С . . . . .  | 375                    | 240                     |
| давление, МПа . . . . .  | 2,3                    | 1,5                     |

|  |      |      |
|--|------|------|
| Температура питательной воды, °С . . . . .                                   | 140  | 105  |
| Теплопроизводительность растопочной и добавочной горелок, ГДж/ч . . . . .    | 12,6 | 1,32 |
| Полезный объем приемных бункеров, м <sup>3</sup> . . . . .                   | 6000 | 3895 |
| Площадь застройки, включая вспомогательные объекты, м <sup>2</sup> . . . . . | 3520 | 1000 |

Экологические показатели работы этих заводов характеризуются следующими данными:

|   | "Крефельд"        | № 2 (Москва)      |
|---|-------------------|-------------------|
| Содержание в отходящих газах:             |                   |                   |
| пыли, г/м <sup>3</sup> . . . . .          | ≤ 0,03            | ≤ 0,01            |
| оксидов серы, м <sup>3</sup> /ч . . . . . | ≤ 3,0             | ≤ 0,8             |
| хлористого водорода, % . . . . .          | ≤ 0,00001         | ≤ 0,000002        |
| оксидов азота, % . . . . .                | ≤ 0,000015        | ≤ 0,000003        |
| Сточные воды . . . . .                    | Отсутствуют       | Отсутствуют       |
| Уровень шума . . . . .                    | Не превышает фона | Не превышает фона |

Высокая степень очистки дымовых газов на московском мусоросжигательном заводе обеспечивается тремя ступенями. На первой ступени проходит нейтрализация SO<sub>2</sub>, HCl, HF известковым молоком, распыляемым с большой скоростью в реакторе. При этом одновременно происходит охлаждение дымовых газов, сопровождающееся конденсацией оксидов тяжелых металлов и их частичным улавливанием.

На второй ступени очистки работает рукавный фильтр, который улавливает твердые частицы (летучую золу, образовавшиеся на первой ступени кальциевые соли кислот).

Кроме того, еще одна ступень очистки дымовых газов от наиболее токсичных и сложных для отделения веществ – диоксинов и фуранов – осуществляется с помощью активного угля, который подается непосредственно в газоход между котлом и реактором первой ступени очистки газов.

Все это позволяет снизить содержание загрязняющих веществ в дымовых газах до крайне низких значений. Так, суммарное содержание диоксинов и фуранов не превышает 0,1 мг/м<sup>3</sup>, а всех тяжелых металлов 1,1 мг/м<sup>3</sup>.

Большой опыт конструирования, изготовления и эксплуатации установок для сжигания отходов имеется в Чехии, где они выпускаются предприятием "ЧКД Дукла". Это предприятие поставило в СССР в первой половине 80-х годов 55 заводов по сжиганию мусора производительностью 60 т/ч.

Отечественная промышленность производит несколько видов батарейных печей для сжигания мусора. Наиболее эффективна

печь марки СФ-369.01, производство которой освоено заводом "Уралхиммаш". Производительность этой печи по сжигаемым отходам составляет 90 т/сут, внутренний диаметр барабана 3,5 м, длина 16 м. Все печи оснащаются необходимым оборудованием: загрузочным устройством, камерой дожигания, котлом-утилизатором, системами пыле- и газоочистки.

В Москве в настоящее время построены три современных мусоросжигательных завода, которые перерабатывают твердые бытовые и некоторые промышленные отходы. Наряду с уничтожением отходов заводы производят товарную продукцию из продуктов их сгорания.

*Энерготехнологическое использование тепла отходящих газов.* Эффективность работы термических установок по сжиганию отходов зависит от типа применяемого реактора и от принятой энерготехнологической схемы.

Снижение стоимости работы таких установок достигается при глубоком использовании тепла отходящих газов, что позволяет сократить расходы на топливо, а в некоторых случаях и отказаться от него (при создании автотермического процесса). Тепло отходящих газов можно использовать для подогрева дутьевого воздуха, для подогрева и предварительной сушки отходов, для испарения некоторых жидких фракций, содержащихся в отходах.

Однако глубокое использование тепла отходящих газов для улучшения технологического процесса сжигания отходов ограничено рядом причин. При подогреве дутьевого воздуха удается использовать лишь небольшую часть тепла газов. При сушке отходов возможно термическое разложение некоторых веществ, содержащихся в них. Предварительное упаривание жидких отходов также возможно далеко не всегда по ряду технических причин. Поэтому целесообразно внешнее использование тепла отходящих газов для получения горячей воды, технологического или энергетического пара, а также в качестве теплоносителя для других технологических процессов.

При оснащении установок для сжигания отходов котлами-утилизаторами существенно увеличиваются капиталовложения и эксплуатационные расходы. Поэтому их применение целесообразно только в установках с большой теплопроизводительностью – порядка 8 – 10 МВт. В установках с меньшей тепловой мощностью применение котлов-утилизаторов экономически нецелесообразно.

Наиболее успешная эксплуатация котлов-утилизаторов возможна только на отходящих газах, не содержащих пыль и коррозионно-активные вещества. При этом дешевые котлы-утилизаторы конвективного типа с пароперегревателями устанавливаются за огневыми реакторами. За ними могут быть установлены конвективные воздухонагреватели и далее – конвективные теплообменники для получения горячей воды (рис. 7.6).

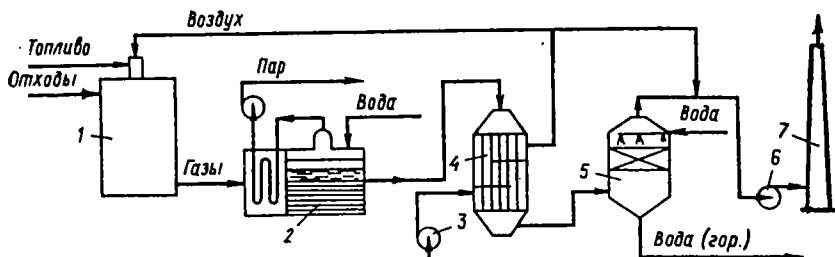


Рис. 7.6. Схема установки для сжигания отходов с утилизацией тепла отходящих газов:

1 – реактор; 2 – конвективный котел-утилизатор; 3 – воздуходувка; 4 – конвективный воздухоподогреватель; 5 – контактный теплообменник; 6 – дымосос; 7 – дымовая труба

В установках с внешним энергетическим теплоиспользованием обеспечивается высокая степень использования теплоты сгорания топлива и отходов. К.п.д таких установок достигает 85 – 90%. Энерготехнологические установки с котлами-утилизаторами и воздухоподогревателями широко применяются при сжигании промышленных отходов.

#### 7.4. Плазменный способ утилизации отходов

Плазмохимическую технологию используют для переработки высокотоксичных жидких и газообразных отходов. При этом не только обезвреживаются опасные отходы, но и получают ценные товарные продукты. Процесс осуществляется в плазмотроне за счет энергии электрической дуги при температуре выше 4000 °С. При такой температуре кислород и любые отходы расщепляются до электронов, ионов и радикалов. Степень разложения токсичных отходов достигает 99,9998%, а в отдельных случаях 99,99995%.

Из-за высоких затрат энергии и сложности оборудования плазмохимическая технология применяется для ликвидации только тех отходов, обезвредить которые другими способами не удастся.

Перспективно применение плазменного метода для переработки отходов в восстановительной среде с целью получения ценных товарных продуктов. В нашей стране разработана технология пиролиза жидких хлорорганических отходов в низкотемпературной восстановительной плазме, позволяющая получать ацетилен, этилен, хлористый водород и продукты на их основе.

Схема плазменного агрегата для переработки жидких хлорорганических отходов представлена на рис. 7.7. Плазмообразующий газ (водород, азотоводородная смесь и др.) нагревается электриче-

ской дугой в плазмотроне 1 до 4000 – 5000 °С. Образующаяся низкотемпературная плазма из сопла плазмотрона поступает в плазмохимический реактор 2, куда форсунками впрыскиваются хлорорганические отходы. При смешивании отходов с плазмой происходит их испарение, термическое разложение (пиролиз) с получением олефиновых углеводородов, хлористого водорода и технического углерода (сажи). Пиролизный газ подвергают скоростной закалке в закалочном устройстве 3, а затем охлаждают и очищают от сажи. Очищенный газ используется

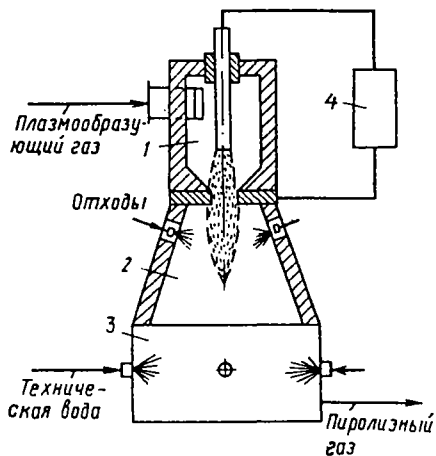


Рис. 7.7. Схема плазменного агрегата:

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

при синтезе хлорорганических продуктов. Процесс является замкнутым, безотходным и рентабельным. Себестоимость получаемых продуктов – сравнительно низкая за счет использования не утилизируемых отходов.

Представляет интерес использование плазменной технологии для утилизации фреонов, являющихся, по некоторым данным, озоноразрушающими веществами и представляющих серьезную опасность для озонового слоя Земли.

Для плазмохимического разрушения фреонов целесообразно в качестве плазмообразующего газа использовать водород. В этом случае в результате взаимодействия плазмы с фреонами будут образовываться кислые газы HCl и HF, а также хлор, фтор и диоксид углерода. Абсорбцию кислых газов необходимо проводить в скруббере с получением товарных продуктов – соляной и плавиковой кислот. Удаление галогенов может быть осуществлено с помощью щелочи.

## Глава 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 захоронения отходов являются природоохранными сооружениями, предназначенными для регулярного централизованного сбора, удаления, обезвреживания и хранения не утилизируемых отходов. Количество и мощность полигонов для каждого региона обосновываются технико-экономическими расчетами.

В странах ЕЭС полигоны для захоронения отходов подразделяются на полигоны для опасных, бытовых и инертных отходов. Данная классификация является в значительной мере условной, так как не всегда можно провести четкую грань между опасными, неопасными и инертными отходами, поскольку эта грань может изменяться во времени под воздействием различных факторов.

Захоронения твердых бытовых отходов в нашей стране должны отвечать санитарным правилам, предусмотренным Гигиеническими требованиями к устройству и содержанию полигонов для твердых бытовых отходов (СП 2.1.7.722 – 98), разработанным НИИ экологии человека и гигиены окружающей среды им. А. Н. Сысина.

При проектировании полигонов необходимо руководствоваться СНиП 2.01.28. – 85 "Полигоны по обезвреживанию и захоронению токсичных отходов. Общие положения по проектированию", согласно которым захоронению на полигонах подлежат не утилизируемые токсичные отходы I, II и III классов, т.е. чрезвычайно опасные, высокоопасные и умеренно опасные.

В соответствии с действующими строительными нормами в составе полигонов должно быть три объекта, которые могут находиться на разных площадках: 1) цех для обеззараживания и первоначальной обработки отходов с целью их полного обезвреживания или снижения класса опасности, а также сокращения объемов отходов, подлежащих захоронению; 2) участок захоронения отходов; 3) гараж специализированной автотехники, предназначенной для перевозки и захоронения 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.

В соответствии с современными требованиями захоронение отходов должно быть оборудовано следующими отдельными инженерными сооружениями:

- \* уплотненным основанием из минеральных слоев в комбинации с искусственными материалами;
- \* проездами;
- \* сооружениями по сбору просачивающейся воды и ее очистке;
- \* сооружениями по сбору и утилизации выделяющегося газа;
- \* сооружениями по защите ландшафта с помощью рекультивации земель.

Полигоны размещают в свободных от застройки, открытых, хорошо проветриваемых незатопляемых местах, на которых возможно выполнение необходимых инженерных работ. Вокруг полигона на расстоянии не менее 3000 м должна быть создана санитарно-защитная зона.

Полигон может располагаться на расстоянии не менее 200 м от сельскохозяйственных угодий и транзитных магистральных дорог и не менее 50 м от лесных массивов.

Место захоронения должно располагаться на незначительном удалении от главных транспортных магистралей и быть связано с ними дорогой хорошего качества.

Дефицит площади для захоронения отходов вблизи крупных городов можно уменьшить путем организации сети перегрузочных станций, где отходы будут сортироваться, измельчаться и накапливаться по видам. Это позволит сократить их объем и использовать для захоронения более удаленные полигоны.

Полигоны размещаются на участках со слабофильтрующими грунтами (глина, суглинок, сланцы и т. д.), имеющими коэффициент фильтрации не более 0,00001 см/с. Уровень грунтовых вод при их наибольшем подъеме должен составлять не менее 2 м от нижнего уровня захороняемых отходов (как правило, заглубленного на 7 – 15 м).

Главными конструктивными элементами участка захоронения отходов являются герметизирующая облицовка, защитный облицо-

вочный слой, дренажный слой для фильтрата и верхнее покрытие. Для обеспечения герметичности применяют минеральные (глиняные) покрытия, полимерные пленочные материалы (например, полиэтилен высокого давления), покрытия из асфальтобетона, а также усиление почвы бентонитом.

Захоронение должно быть оборудовано надежной системой сбора и удаления фильтрата. Для обеспечения хорошего дренажа на все основание хранилища поверх герметизирующего покрытия укладывают высокопористый слой какого-либо материала, например щебня.

Для обеспечения надежного контроля, регулирования и ограничения выделения из хранилища фильтрата важное значение имеет верхнее покрытие, которое также выполняется из минерального сырья (глины) или из полимерной пленки. Дренажные трубы размещают на расстоянии не более 20 м друг от друга.

Перед организацией полигона следует определить состав отходов, так как он влияет на объем инженерных мероприятий, которые необходимо выполнить при создании упорядоченного захоронения, отвечающего требованиям охраны окружающей среды.

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 (рис. 8.1) используют для размещения бытового и строительного мусора, а также промышленных отходов с точно учтенным небольшим содержанием токсичных компонентов.

*Захоронения отвального типа* имеют следующие преимущества:

- \* основание захоронения расположено на земной поверхности;
- \* имеется хорошая возможность контроля за уплотнением размещаемого материала;
- \* отвод вод происходит без использования насосов;
- \* возможность контроля за состоянием дренажных систем.

Недостатки захоронений отвального типа:

- \* сложность оценки устойчивости откосов, особенно при большой высоте захоронения;
- \* высокие сдвиговые напряжения на основании откосов;
- \* необходимость использования специальных строительных конструкций для повышения устойчивости захоронения;
- \* эстетическая нагрузка на ландшафт.



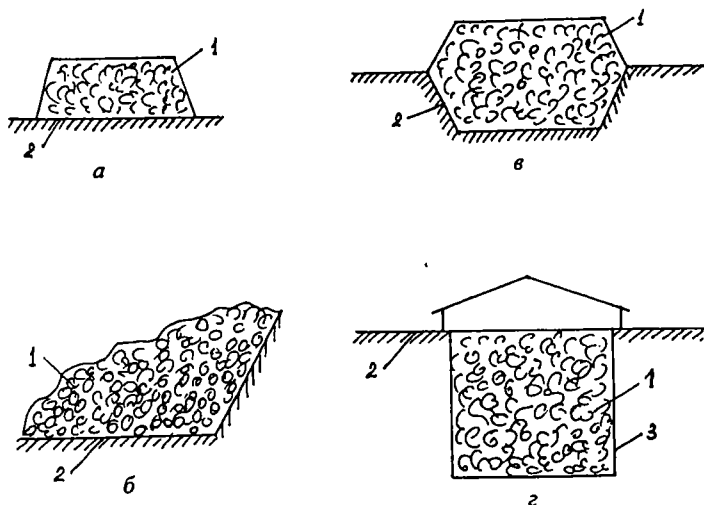


Рис. 8.1. Виды захоронений отходов:

*a* – отвальный тип захоронения; *б* – захоронение на склонах; *в* – захоронение в котлованах; *г* – захоронение в подземном бункере; 1 – отходы; 2 – гидроизоляция; 3 – бетон

Захоронения на склонах в отличие от рассмотренных захоронений отвального типа требуют дополнительной защиты тела захоронения от сползания и от смыва водой, стекающей по склону. Защита осуществляется с помощью строительных конструкций.

Захоронение в котлованах в меньшей степени влияет на ландшафт и не создает опасности, связанной с устойчивостью. Однако оно требует отвода вод с помощью насосов, так как основание расположено ниже поверхности земли. Такое захоронение создает дополнительные трудности для гидроизоляции боковых склонов и основания захоронения отходов, а также требует постоянного контроля за дренажными системами.

Захоронения в подземных бункерах по всем параметрам более удобны и экологически чисты, однако из-за больших капитальных затрат на их сооружение они могут использоваться только для удаления небольших количеств отходов. Подземное захоронение широко используется для изоляции радиоактивных отходов, так как позволяет при определенных условиях обеспечить радиоэкологическую безопасность на весь требуемый период и является наиболее экономически эффективным способом обращения с ними. Не вдаваясь в подробности организации подземных хранилищ радиоактивных отходов, следует заметить, что наиболее сложной является проблема выбора места захоронения с оптимальными геологическими условиями.

Укладка отходов на полигоне должна осуществляться слоями толщиной не более 2 м при обязательном уплотнении, обеспечивающем наибольшую компактность и отсутствие пустот, что особенно важно при захоронении крупногабаритных отходов.

Уплотнение отходов при захоронении необходимо не только для максимального использования свободного пространства, но и для уменьшения последующего оседания тела захоронения. Кроме того, рыхлое тело захоронения, имеющее плотность ниже  $0,6 \text{ т/м}^3$ , усложняет контроль за фильтратом, так как в теле неизбежно возникает множество каналов, затрудняющих его сбор и удаление.

Степень компактности отходов зависит от используемого оборудования, природы отходов и способа их размещения. Для компактирования отходов применяют обычные дорожные машины, такие как бульдозеры на гусеничном ходу мощностью от 50 до 120 кВт, катки КМ-305, а также специальные тяжелые компакторы со стальными зубчатыми колесами. Использование компакторов позволяет уплотнять тело захоронения до  $0,7 - 0,8 \text{ т/м}^3$ .

Послойное перекрытие всего основания небольшими слоями отходов равномерной толщины более целесообразно, чем укладка отходов на всю высоту захоронения, но на отдельных участках.

Однако иногда, прежде всего по экономическим соображениям, заполнение хранилища производят посекционно. Основными причинами секционного заполнения являются необходимость разделения различных типов отходов в пределах одного полигона, а также стремление к уменьшению площадей, на которых образуется фильтрат.

При оценке устойчивости тела захоронения следует различать внешнюю и внутреннюю устойчивость. Под внутренней устойчивостью понимают состояние самого тела захоронения (устойчивость бортов, устойчивость к вспучиванию); под внешней устойчивостью понимают устойчивость основания захоронения (оседание, раздавливание). Недостаточная устойчивость может повредить дренажную систему и гидроизоляцию. Оседание возможно из-за следующих причин:

вытеснения воды из влажных отходов;

увеличения объема пустот вследствие истечения биогазов, образующихся в результате микробиологических процессов;

дробления отходов за счет механических нагрузок.

Некоторые специалисты считают, что уложенный слой отходов после компактирования должен ежедневно пересыпаться грунтом, что позволяет снизить опасность переноса инфекций грызунами и птицами, а также исключить загрязнение местности при ветреной погоде. При больших площадях полигона это не всегда выполняется из-за технических и экономических трудностей. Более выгодно использование для временного укрытия тела захоронения полимерных пленок, синтетических разбухающих пен и других материалов.

После завершения захоронения его необходимо гидроизолировать сверху и провести рекультивацию земель. Такие захоронения должны быть защищены от дальнейшего проникновения осадков и вод просачивания. Делается это не сразу после завершения захоронения, а после окончания биологических процессов в его теле и полного прекращения выделения газов. В противном случае закрытое захоронение может превратиться в бомбу замедленного действия.

Поскольку при захоронении отходов на неорганизованных свалках не выполняются современные требования по гидроизоляции, то эти свалки являются источником загрязнения грунтовых вод и почвы. Для гидроизоляции существующих свалок разработана технология создания боковых и горизонтальных барьеров вокруг старой свалки. Боковая изоляция создается путем бурения вертикальных скважин, в которые нагнетаются специальные материалы, блокирующие боковую миграцию вредных веществ из тела хранилища отходов.

Если загрязненные воды соединяются с глубоколежащими водоносными пластами, то требуется дополнительная изоляция основания свалки с помощью горизонтальных скважин, которая осуществляется бурением с открытой стороны (если она имеется) котлована либо бурением наклонных скважин. В качестве гидроизолирующих материалов применяются озокерит (продукт экстракции бурого угля) либо жидкое стекло и другие силикатные материалы.

Важным элементом управления полигоном захоронения отходов является мониторинг окружающей среды, целью которого является определение любых нежелательных видов воздействия на нее для принятия необходимых корректирующих действий. Объектами мониторинга являются воздух и биогаз, грунтовые воды и фильтрат, почва и тело захоронения. Объем мониторинга зависит от вида отходов и устройства полигона.

В связи с катастрофической нехваткой в нашей стране полигонов промышленных отходов, оборудованных с учетом правил, практикуется захоронение промышленных отходов совместно с твердыми бытовыми отходами. Предельное количество промышленных отходов, допускаемое для складирования на полигонах бытовых отходов, нормируется документом, утвержденным Главным санитарным врачом.

В Московской области промышленные отходы принимают для захоронения совместно с твердыми бытовыми отходами такие крупные полигоны, как "Тимохово" площадью 64 га, "Саларьево" (50 га), "Щербинка" (50 га), "Икша" (40 га), "Хметьево" (25 га).

Основное условие приема промышленных отходов на эти полигоны – соблюдение санитарно-гигиенических требований по охране атмосферного воздуха, почвы, грунтовых и поверхностных вод.

Главным критерием приема промышленных отходов являются состав фильтрата при pH 5 – 10 и температуре 10 – 40 °С, неспособность отходов к взрыву, самовозгоранию, выделению ядовитых газов, интенсивному пылению. Их влажность должна быть не более 85%. Предельные количества промышленных отходов, которые можно складировать на полигонах ТБО, зависят от их класса опасности. Так, отходы, относящиеся к IV классу опасности, принимаются без ограничений и могут использоваться как изолирующие материалы. Перечень таких отходов приведен в табл. 8.1.

Таблица 8.1

Перечень промышленных отходов IV класса опасности, принимаемых на полигонах твердых бытовых отходов без ограничения

| Код группы и вида отходов | Вид отхода   |
|---------------------------|--|
| 1.24.01                   | Алюмосиликатный шлам СБ-г-43-6   |
| 1.36.02.1                 | Асбестоцементный лом   |
| 1.36.02.2                 | Асброкрошка  |
| 1.39.01                   | Бентонита отходы   |
| 1.31.01                   | Графит отработанный производства карбида кальция                           |
| 1.39.02                   | Гипсосодержащие отходы производства витамина В-6                           |
| 1.39.03                   | Известь-кипелка, известняк, шламы после гашения извести                    |
| 1.39.04                   | Мела химически осажденного твердые отходы                                  |
| 1.39.05                   | Оксид алюминия в виде отработанных брикетов (при производстве $AlCl_3$ )   |
| 1.39.06                   | Оксид кремния (при производстве ПВХ и $AlCl_3$ )                           |
| 1.39.07                   | Паронита отходы  |
| 1.39.08                   | Плав солей сульфата натрия   |
| 1.39.09                   | Силикагель (из адсорберов осушки нетоксичных газов)                        |
| 1.24.02                   | Силикагеля производства шлам с фильтр-прессов (содержит глину и кремнезем) |
| 1.24.03                   | Соды гранулированный шлам  |
| 1.24.04                   | Содово-цементного производства отходы дистилляции в виде $CaSO_4$          |
| 1.29.00                   | Формовочные стержневые смеси, не содержащие тяжелых металлов               |
| 1.24.05                   | Химводоочистки и умягчения воды шлам                                       |
| 1.27.01                   | Хлориднатриевые осадки сточных вод производства лаковых эпоксидных смол    |
| 1.39.10                   | Хлорная известь нестандартная  |
| 1.36.02.3                 | Шиферного производства твердые отходы                                      |
| 1.39.1                    | Шлаки ТЭЦ, котельных, работающих на угле, торфе, сланцах или ТБО           |
| 1.39.12                   | Шлифовальные материалы отработанные  |

Водная вытяжка токсичных веществ из этих отходов соответствует фильтрату ТБО, а биохимическая и химическая потребность в кислороде не превышает 300 мг/л.

Промышленные отходы III и IV классов опасности, водная вытяжка которых по содержанию токсичных веществ также соответствует ТБО, но имеет значения биохимической и химической потребности в кислороде 3400 – 5000 мг/л, принимаются к совместному с ТБО захоронению с ограничением. Их масса не должна превышать 30% от массы ТБО. Перечень таких отходов и предельные объемы их захоронения на 1000 м<sup>3</sup> ТБО приведены в табл. 8.2.

Таблица 8.2

Предельные нормы совместного захоронения на полигонах ТБО промышленных отходов IV и III классов опасности, принимаемых с ограничениями (на 1000 м<sup>3</sup> ТБО)

| Код группы и вида отхода | Вид отхода  | Предельное количество промышленных отходов, т |
|--------------------------|---|---|
| 1.24.06                  | Кубовые остатки производства уксусного ангидрида                    | 3   |
| 1.39.13                  | Резита отходы (отвержденная формальдегидная смола)                  | 3   |
| 1.39.14                  | Твердые отходы производства вспенивающихся полистирольных пластиков | 10  |
| 1.39.15                  | Гетинакс электротехнический листовой Ш-8,0                          | 10  |
| 1.39.16                  | Липкая лента ЛСНПЛ-0,17   | 3   |
| 1.39.17                  | Полиэтиленовая трубка ПНП   | 10  |
| 1.39.18                  | Стеклолакоткань ЛСЭ-0,15  | 3   |
| 1.39.19                  | Стеклоянная ткань Э2-62   | 3   |
| 1.39.20                  | Текстолит электротехнический листовой Б-16,0                        | 10  |
| 1.39.21                  | Фенопласт 03-010-02   | 10  |
| 1.39.22                  | Сополимеры стирола с акрилонитрилом или метилметакрилатом           | 3   |
| 1.39.23                  | Полистирольный пластик  | 3   |
| 1.39.24                  | Акрилонитрилбутадиенстирольный пластик АБС                          | 10  |

Некоторые виды промышленных отходов, относящихся к III – IV классам опасности, также ограниченно принимаемые к захоро-

нению на полигонах ТБО, требуют специальных условий захоронения или предварительной подготовки в месте образования (табл. 8.3)

Таблица 8.3

Предельные нормы захоронения промышленных отходов IV и III классов опасности (на 1000 м<sup>3</sup> ТБО), требующих соблюдения особых условий

| Код группы и вида отхода | Вид отхода                                     | Предельное количество, т | Особые условия складирования или подготовки   |
|--------------------------|--|--------------------------|---|
| 1.39.26                  | Активированный уголь производства витамина В-6 | 3                        | Укладка слоем не более 0,2 м  |
| 1.39.27                  | Ацетобутират целлюлозы отходы                  | 3                        | Прессование в кипы размером не более 0,3×0,3 м в увлажненном состоянии                    |
| 1.39.28                  | Древесные и опилочно-стружечные отходы         | 10                       | Не должны содержать опилки, использованные для посыпания полов производственных помещений |
| 1.21.06                  | Лоскут хромовый                                | 3                        | Укладка слоем не более 0,2 м  |
| 1.39.29                  | Невозвратная деревянная и бумажная тара        | 10                       | Не должны включать промасленную бумагу  |
| 1.39.30                  | Обрезь кожзаменителей                          | 3                        | Укладка слоем не более 0,2 м  |
| 1.39.31                  | Отбельная земля                                | 3                        | Затаривание в мешки в увлажненном состоянии   |

При этом суммарное количество всех промышленных отходов IV и III классов опасности, принимаемых к захоронению на полигоне ТБО, не должно превышать 100 т на 1000 м<sup>3</sup> ТБО. Не допускаются к захоронению на полигонах бытовых отходов такие промышленные отходы, которые способны к самовозгоранию за счет химических реакций в толще складированной массы или выделяют пары и газы, образующие с воздухом или газами полигона взрывоопасные или ядовитые смеси.

Одним из самых современных у нас в стране до недавнего времени был полигон для захоронения и обработки промышленных отходов "Красный Бор" под Санкт-Петербургом. Полигон окружен кольцевым каналом, отводящим подземные и поверхностные воды с окружающей территории в реку Большая Ижора. На полигон принимаются осадки очистных сооружений и все промышленные отходы, за исключением радиоактивных и подлежащих регенерации.

Все отходы, принимаемые к захоронению на полигоне, должны иметь паспорт с технической характеристикой отходов, кратким описанием мер безопасного обращения с ними при сжигании и захоронении.

Горючие отходы сжигаются на полигоне в специальных печах при температуре около 1000 °С. Схема полигона показана на рис. 8.2.

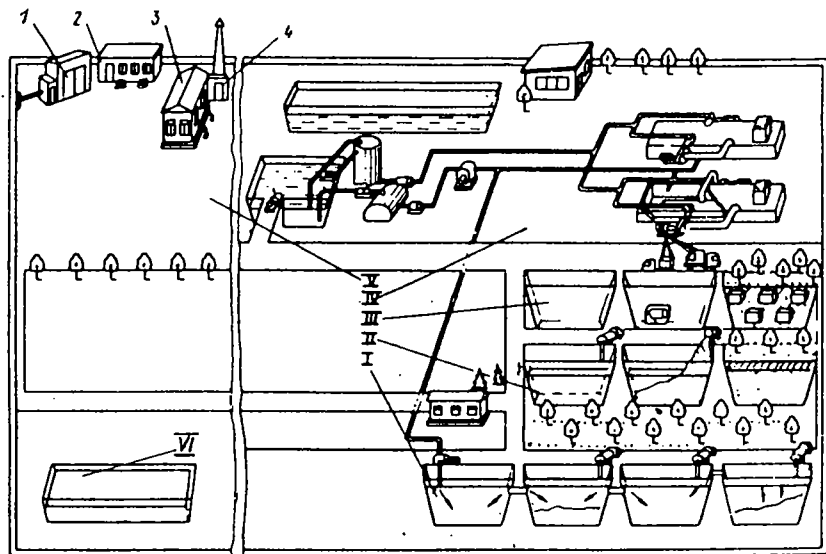


Рис. 8.2. Схема полигона "Красный Бор" для обработки и захоронения промышленных отходов:

*I* – участок обезвреживания неорганических отходов; *II* – участок захоронения негорючих органических отходов; *III* – участок захоронения особо вредных отходов; *IV* – участок термического обезвреживания отходов; *V* – административный участок; *VI* – гараж; 1 – КПП и весовая; 2 – химическая лаборатория; 3 – административное здание; 4 – котельная

Полигон площадью 58 га был создан в 1969 г. и рассчитан на эксплуатацию в течение 10 – 15 лет, но работает до сих пор. В настоящее время на полигоне "Красный Бор" уже захоронено 1,5 млн. т токсичных отходов, что привело к его переполнению и тяжелой экологической ситуации вокруг него.

Более усовершенствованные полигоны для обработки и захоронения промышленных отходов планировалось построить во всех крупных промышленных регионах страны в начале 90-х годов.

Захоронение отходов в Москве связано с очень большими недостатками и трудностями. Основные из них: отсутствие вблизи города свободных земельных участков, постоянное увеличение дальности

сти вывоза отходов, недостаток транспорта, техники и топлива на вывоз и обработку отходов, а также на подготовку полигона и контроль за ним. Средняя дальность вывоза отходов из Москвы к местам захоронения составляет 80 км, а из городов Московской области 40 км.

Такая удаленность мест захоронения отходов от источников их образования приводит к многочисленным неорганизованным свалкам мусора и промышленных отходов, которые не имеют никакой подготовки и последующего контроля. Только в 1997 г. в стране на несанкционированных свалках было захоронено 140,5 тыс. т токсичных отходов, а из учтенных мест организованного захоронения отходов общей площадью 14 тыс. га 15% не отвечали действующим требованиям к полигонам.

## 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. Энергетический потенциал биогаза составляет 21 МДж/м<sup>3</sup>. 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.

Методы контроля и отвода биогаза в настоящее время достаточно разработаны и за рубежом широко используются. 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.



На количество образующегося биогаза влияют:

- \* состав, возраст, плотность, температура и влажность отходов;
- \* площадь, глубина, способы эксплуатации и рекультивации хранилища отходов;
- \* водный баланс хранилища.

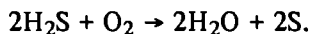
В наиболее простом случае газы могут собираться и направляться по трубопроводам потребителю в качестве топлива.

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.

Газовые турбины эффективны при мощности более 2 МВт; к.п.д. их составляет 32%. Более дорогостоящим является получение высококачественного газа. Это требует удаления неметановых компонентов, что достигается химическими или физическими методами сепарации.

Поскольку биогаз может содержать сероводород и галогенпроизводные углеводороды, то для использования в качестве топлива для газовых двигателей необходима его очистка. По методу фирмы "Карбо-Тех" (Германия) очистка биогаза производится в две стадии. На первой стадии извлекается сероводород, а на второй производится удаление галогенсодержащих углеводородов.

В обеих стадиях в качестве очищающего вещества используется активный уголь. В первой он играет роль катализатора при превращении сероводорода в элементарную серу. Процесс протекает по реакции:



Остаточное содержание сероводорода после прохождения газом первой стадии очистки равно  $5 \text{ мг/м}^3$ .

Активный уголь, на котором осаждается элементарная сера, периодически заменяется на свежий. На второй стадии активный уголь играет роль адсорбента.

По достижении емкости насыщения активный уголь со второй стадии восстанавливается путем десорбции адсорбированных галогенсодержащих углеводородов. Десорбция производится с помощью пара, нагретого до  $130^\circ\text{C}$ , паро-газовая смесь конденсируется, а конденсат утилизируется.

Для выработки 1 МВт энергии необходима подача биогаза в количестве  $525 \text{ м}^3/\text{ч}$ . Считают, что одна скважина дает  $80 \text{ м}^3/\text{ч}$  газа.

Высокая плотность мусора позволяет извлекать газ с большой скоростью. Обычная свалка может выдавать газ в течение 10 – 12 лет. Максимум производительности приходится на четвертый год, затем происходит медленное ее снижение.

После окончания эксплуатации скважины, т.е. когда сбор образовавшегося биогаза становится экономически неэффективным (так как концентрация метана становится слишком низкой), необходим контроль за его образованием и обезвреживанием. Один из способов обезвреживания заключается в окислении метана воздухом в поверхностных слоях почвы в присутствии бактерий. В результате образуется углекислый газ, который диффундирует из почвы в атмосферу.

Одно из первых в США захоронений отходов с выработкой биогаза площадью 14 га функционировало с 1978 по 1985 г. В нем находились вперемешку 1 млн. т мусора и 0,5 млн. т промышленных отходов. Свалка давала 60 млн. м<sup>3</sup> газа в год, или 6868 м<sup>3</sup>/ч. Полный ресурс мощности такой свалки составил 13,1 МВт.

С 1983 г. фирма "Блю Серкл" (США) применяла газ из хранилищ отходов для обжига цемента. Другое хранилище, "Стоун" (США), имеет площадь 40 га, объем полости 10 млн. м<sup>3</sup>, глубину от 25 до 45 м. Продуктивность хранилища 7500 м<sup>3</sup> газа в 1 ч при содержании метана 50%, что позволяет получить электроэнергию в количестве 5 – 7 МВт с применением двигателей электроискрового зажигания и газовых турбин, а также тепловую энергию от отработанных газов.

Установка состоит из 20 скважин, соединенных трубопроводом длиной 2200 м, газокompрессорной станции, включающей три поршневых компрессора, водяного холодильника, градирни и КИП. Газ транспортируется потребителю по трубопроводу на расстояние 5000 м.

В 1985 г. в США работало более 30 установок, использовавших биогаз, вырабатываемый на полигонах отходов.

В Германии имеется в частной коммерческой эксплуатации ряд установок малой мощности, вырабатывающих электроэнергию путем сжигания биогаза из хранилищ отходов. В Великобритании имеются установки по обжигу цемента и кирпича, использующие биогаз из хранилищ мусора.

К настоящему времени накоплен значительный практический опыт по использованию биогаза из хранилищ мусора и отходов. В нашей стране таких установок нет (если не считать одну установку, появившуюся недавно в Подмоскowie), что помимо упускаемой экономической выгоды приводит к загрязнению газом окружающей среды.

### 8.3. Захоронение отходов в море

Одним из методов захоронения промышленных отходов является сброс их в море. Захоронение отходов в море снижает нагрузку на литосферу, поэтому является вполне перспективным для ряда отходов, которые не оказывают отрицательного влияния на флору и фауну моря. Следует сразу отметить, что такому захоронению подлежат отходы, которые не могут нанести ущерб окружающей среде. Захоронение таких отходов производится различными способами: путем сброса из резервуаров барж, перевозимых буксирами, с помощью трубопроводов, удаленных в море на десятки километров, или же с помощью упаковки и сброса отходов в герметичных контейнерах.

Одним из наиболее распространенных способов захоронения отходов в море является использование барж для транспортировки отходов к месту захоронения. Стоимость названных способов захоронения отличается в десятки раз. Наиболее высока стоимость трубопроводной технологии сброса отходов в море, но даже она вдвое ниже стоимости утилизации отходов путем сжигания.

Захоронение отходов в море является экономически нецелесообразным в случае значительного удаления (более 1000 км) источника образования отходов от морского побережья. При сбросе жидких и илообразных отходов в море происходит многократное разбавление их водой, приводящее практически к полному рассеиванию отходов в водной среде. Скорость рассеивания зависит от плотности отходов, скорости движения баржи и скорости сброса отходов.

Интересен предложенный за рубежом способ захоронения в море отходов в пластиковых контейнерах, которые затапливаются в прибрежных водах на участках, предназначенных для создания земель с насыпным грунтом для последующей рекультивации и строительства. По этому способу отходы сбрасываются в специальные пластиковые контейнеры большой емкости, временно размещенные в бассейнах-накопителях, и промываются водой для очистки от водорастворимых фракций (после чего вода подается в общую систему очистных сооружений). Заполненные контейнеры транспортируются в места захоронения, где засыпаются землей с целью создания участков рекультивированной земли.

Заслуживает внимания технология захоронения отходов в море, предложенная одной из американских фирм, по которой твердые отходы измельчаются, сортируются с целью извлечения полезных компонентов, брикетируются, упаковываются в герметичную полимерную тару и транспортируются баржей к месту захоронения.

Окисляющая и динамическая способность вод мирового океана позволяет рассеивать и перерабатывать большое количество орга-

нических и минеральных отходов. Однако способность океана к переработке отходов не бесконечна, а потому может применяться для захоронения отходов лишь весьма ограниченно.

Сбрасываемые в море материалы можно подразделить на три основные группы: 1) промышленные отходы; 2) бытовые отходы (включая осадки сточных вод) и 3) грунт, вынутый при дноуглубительных работах, который может содержать различные промышленные отходы, сбрасываемые вместе со сточными водами. В мировой практике объем сбрасываемых грунтов составляет 80% от всех захоронений в море.

Основной опасностью, вызываемой сбросом отходов в море, является ухудшение качества морской воды, возможное негативное воздействие на жизнь в море. Наиболее нежелательным фактором захоронения отходов в море является их токсическое влияние на морские организмы и накопление в них.

Наиболее безопасно сбрасывать отходы в глубоководные морские впадины, которые можно рассматривать как созданные природой геофизические места свалки. Время прохождения через толщу воды частиц отходов на глубину до 1000 м очень мало (от нескольких минут до нескольких десятков минут), так что влияние течения на перенос сбрасываемых в море отходов невелико. Однако очень мелкие частицы (диаметром 0,001 мм) могут находиться во взвешенном состоянии бесконечно долго, что объясняется поднятием глубинных вод на поверхность со скоростью 1 см в день. Если даже сбрасываемые отходы инертны, то сброс таких мелких частиц может привести к помутнению морской воды на больших площадях.

Согласно разработанным у нас в стране правилам запрещен сброс в море следующих веществ и материалов: галогенорганических веществ, ртути и ее соединений, кадмия и его соединений, пластмасс, рыболовных сетей, тросов, сырой нефти и продуктов ее очистки, токсичных и патогенных материалов. Правилами также установлено, что захоронение мышьяка, свинца, меди, цинка и их соединений, кремнийорганических соединений, цианидов, фторидов и некоторых других требует специального разрешения санитарных органов.

# Глава 9. 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.

## 9.1. 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<sup>3</sup> газа. При этом экономится более половины энергии, необходимой на выплавку металлов из руды. Экономия энергии при использовании металлолома вместо выплавки металла из руды характеризуется следующими данными, %:

|                    |    |
|--------------------|----|
| Алюминий . . . . . | 95 |
| Медь . . . . .     | 83 |
| Сталь . . . . .    | 74 |
| Свинец . . . . .   | 64 |
| Цинк . . . . .     | 60 |

При использовании металлолома для выплавки металлов значительно снижается нагрузка на окружающую среду (табл. 9.1).

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.

Таблица 9.1

Сравнительное воздействие на окружающую среду производства 1000 т стали

| Факторы, влияющие на окружающую среду         | Выплавка стали из |         | Экономия,<br>% |
|---|-------------------|---------|----------------|
|   | руды              | отходов |                |
| Использование первичного сырья, т             | 2278              | 250     | 90             |
| Расход воды, м <sup>3</sup>                   | 62750             | 32600   | 40             |
| Количество веществ, загрязняющих атмосферу, т | 121               | 17      | 86             |
| Отходы горнопромышленных разработок, т        | 2828              | 63      | 97             |

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 чугуном. 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. Объем применения скрапа при различных способах производства стали приведен ниже, %:

|                                    |         |
|------------------------------------|---------|
| Мартеновская печь . . . . .        | 70 – 80 |
| Бesseмеровский конвертер . . . . . | 20      |
| Кислородный конвертер . . . . .    | 50 – 60 |
| Электродпечь . . . . .             | 98      |

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, %:

|                                    |    |
|------------------------------------|----|
| Производство металла . . . . .     | 45 |
| Амортизация оборудования . . . . . | 33 |
| Металлообработка . . . . .         | 20 |
| Шлаковые отходы . . . . .          | 2  |

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.

Степень использования металла при изготовлении изделий, возведении сооружений и других объектов называется коэффициентом использования металла (КИМ). Этот коэффициент  $K$  определяют по уравнению:

$$K = Q_1 / Q, \quad (9.1)$$

где  $Q$  – количество использованного металла;  $Q_1$  – количество металла, перешедшего в состав нового изделия.

Средний КИМ в российской экономике оставляет 0,7. Самый высокий КИМ – в строительстве, что объясняется использованием подавляющей части металла в этой отрасли без обработки (арматура, балки, швеллеры и т.п.). Отходы в строительстве образуются в основном при раскroe металла. Самый низкий КИМ – в авиации, что связано с малой серийностью производства в этой отрасли. В отдельных производствах в отходы уходит до 70 – 80% металла.

До недавнего времени значения КИМ жестко регламентировались и спускались сверху Госпланом СССР, поскольку от его величины зависели фонды на металл, выделявшиеся той или иной отрасли (предприятию). В настоящее время снабжение предприятий идет по прямым поставкам, величина КИМ никем не устанавливается, хотя само предприятие заинтересовано в его повышении, так как от этого зависит его прибыль.

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.

Лом и отходы цветных металлов образуются на многочисленных предприятиях практически всех отраслей народного хозяйства, которые используют первичные цветные металлы и сплавы. Общее число организаций, сдававших лом цветных металлов в СССР, достигало 130 тысяч, а наиболее крупных, поставлявших свыше 200 т отходов и лома цветных металлов в год, – 1500. Наибольшее коли-

чество лома и отходов цветных металлов образуется на предприятиях электротехнической, металлургической, автомобильной и судостроительной отраслей промышленности.

Получение цветных металлов из отходов является важнейшим источником их производства. Однако у нас в стране доля вторичных цветных металлов в общем объеме их производства значительно ниже, чем в технически развитых странах. Доля вторичных цветных металлов в общем балансе составляет, %:

|                  | Россия | Страны ЭС |
|------------------|--------|-----------|
| Алюминий         | 20     | 35        |
| Медь . . . . .   | 30     | 35        |
| Свинец . . . . . | 23     | 50        |
| Цинк . . . . .   | 18     | 37        |

Объясняется это тем, что большое количество отходов цветных металлов, особенно содержащихся в бытовых отходах, теряется на местах их образования, засоряя окружающую среду. Между тем цветные металлы, содержащиеся в бытовых отходах, являются ценнейшим сырьем, и население должно участвовать в его сборе.

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

Сухие батарейки содержат значительное количество цветных металлов, в том числе до 50% отходов ртути, содержащихся во всех бытовых и промышленных отходах. В странах ЕЭС, США, Японии и ряде других разработаны системы сбора отработанных батареек (в Австрии, например, собирается до 80% от проданных батареек; в Японии установлено по всей стране более 200 тысяч контейнеров для сбора отработанных гальванических элементов).

Аналогично обстоит дело со сбором алюминиевых банок из-под различных напитков, в результате чего баночный алюминиевый лом составляет до 40% используемого лома этого металла. В США работает более 10000 пунктов сбора банок, в 3000 крупных магазинов и кафе установлены автоматы по сбору и первичной обработке банок. В Англии ежегодно собирают около 2 млрд. консервных банок. Эксплуатация действующих систем сбора отходов в странах Европы, США и Японии показывает высокую готовность населения этих стран проводить раздельный сбор бытовых отходов, т. е. высокую экологическую культуру.

Преимущества получения цветных металлов из отходов по сравнению с их получением из рудного сырья характеризуются данными, приведенными в табл. 9.2.



Таблица 9.2

Основные показатели производства цветных металлов из рудного (числитель) и вторичного (знаменатель) сырья

| Показатели  | Алюминий | Медь    | Свинец  |
|---|----------|---------|---------|
| Среднее содержание в сырье, %   | 39,6/80  | 0,76/75 | 1,39/50 |
| Извлечение в готовую продукцию, %   | 87/92,4  | 80/90   | 80/95   |
| Расход условного топлива на 1 т готовой продукции, т                        | 9/0,27   | 1,3/0,2 | 0,7/0,5 |
| Количество отходящих газов на 1 т готовой продукции, тыс. м <sup>3</sup> /т | 30/5     | 40/4    | 20/5    |

## 9.2. 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 в нашей стране 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 *легируемые*.

По показателям качества отходы черных металлов подразделяются на 25 видов. Наконец, по содержанию легирующих элементов отходы делятся на 67 групп, в том числе 61 группа лома и отходов легированных сталей (группы Б1 – Б61) и 6 групп лома и отходов легированных чугунов (группы Б62 – Б67). Помимо этого есть группа легированных сталей, которые по своему химическому составу не относятся ни к одной из упомянутых 67 групп.

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. Низкокачественный лом используется только в доменном производстве.

Металлолом для сталеплавильного производства должен иметь насыпную плотность не менее  $1300 - 1500 \text{ кг/м}^3$ . Тяжеловесный металлолом в зависимости от интенсивности продувки печи должен иметь толщину кусков не более  $250 - 350 \text{ мм}$ , размеры пакетов не должны превышать  $1050 \times 750 \times 2000 \text{ мм}$ , а масса их не должна быть менее  $40 \text{ кг}$ . Конвертерный способ не допускает переплава стружки из-за ее высокого угара.

В дуговых электропечах может переплавляться металлолом в виде пакетов размерами не более  $500 \times 500 \times 600 \text{ мм}$  с насыпной плотностью не менее  $2500 \text{ кг/м}^3$ . Дробленый лом должен иметь насыпную плотность не менее  $800 - 900 \text{ кг/м}^3$ .

Независимо от способа переплава лом черных металлов не должен содержать цветных металлов. Даже небольшое количество примесей может сделать металлолом непригодным для дальнейшего использования. Так, при содержании меди  $0,02\%$  ценность стального лома в США ниже стоимости транспортировки (рис. 9.1). Рост цены на металлолом при увеличении содержания меди более  $9\%$  связан уже с более высокой ценой на медь по сравнению с железом и экономической целесообразностью ее извлечения при таком содержании.

Классификация отходов цветных металлов производится по физическим, химическим свойствам и качеству. 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.

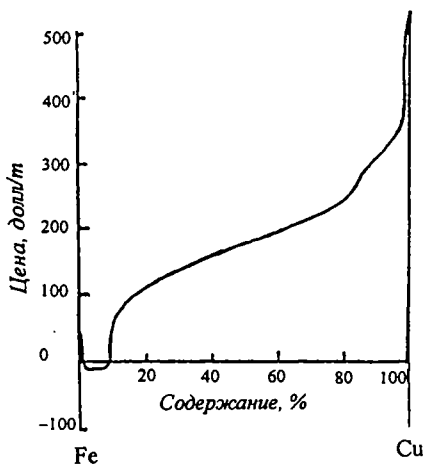


Рис. 9.1. Влияние меди на ценность отходов черных металлов

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 600×600×1500 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 1000×1000×2000 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 раз-

мерам. К сожалению, уровень подготовки сдаваемого металлолома далек от предъявляемых требований, в результате чего, например, свыше 60% заготавливаемых лома и отходов цветных металлов сдается как низкокачественное сырье.

### 9.3. 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. Наиболее часто применяют стилоскоп СЛ-12 "Спектр" и другие приборы спектрального анализа. Стилоскоп СЛ-12 позволяет провести качественный анализ цветных сплавов в видимой части спектра, поскольку каждому химическому элементу соответствуют известные линии спектра излучения. Наличие тех или иных линий в спектре, полученном при анализе данного образца, позволяет сделать заключение о присутствии химического элемента в нем, а интенсивность линий свидетельствует о содержании соответствующих химических элементов в образце материала.

Технические характеристики стилоскопа СЛ-12 приведены ниже:

|   |             |
|---|-------------|
| Диапазон спектра, нм . . . . .                                | 390 – 700   |
| Фокусное расстояние, мм . . . . .                             | 275         |
| Увеличение окуляров . . . . .                                 | 13,5; 20    |
| Угол преломления призм диспергирующей системы, град . . . . . | 63          |
| Потребляемая мощность, кВт . . . . .                          | 2,2         |
| Габариты, мм . . . . .  | 670×380×385 |

Более удобна в работе полуавтоматическая установка анализа сплавов. Она проста в обслуживании и показывает содержание металла в образце.

Помимо приборов спектрального анализа для видовой классификации отходов металлов используют рентгеновские анализаторы КРАБ-ЗУМ и БАРС-3.

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

Механизированный стол (рис. 9.2) применяется для сортировки лома и отходов крупностью до 250 мм. Исходные отходы краном загружаются в приемный бункер 1 стола и цепями, укрепленными в нижней части бункера, равномерно опускаются на вращающийся на опорных роликах 2 стол 3. По окружности стола укреплены лотки 7, в которые сбрасываются рассортированные отходы. Перемещение отходов из бункера на стол происходит под давлением лома, находящегося в бункере, и вследствие вращения стола. При попадании крупногабаритного лома бункер поднимается винтом,

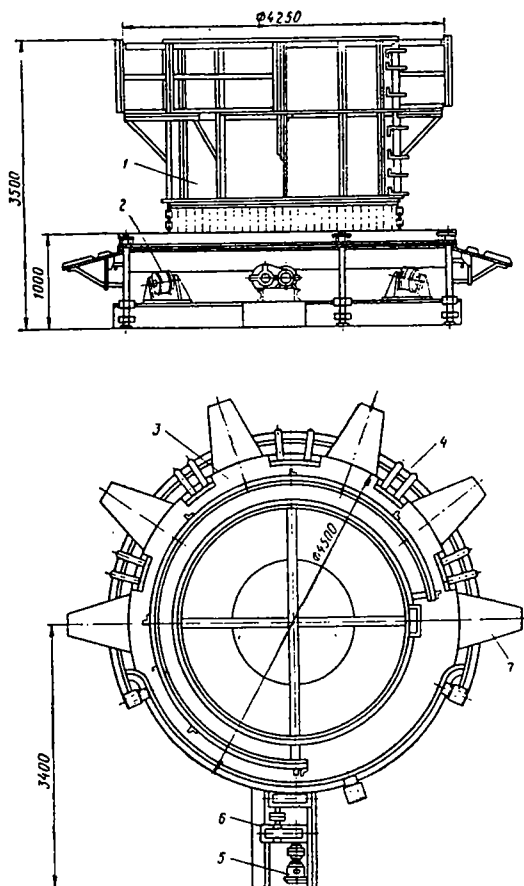


Рис. 9.2. Механизированный стол для сортировки лома

приводимым во вращение электроприводом 5 через редуктор 6. Установка снабжена подвижными ограждениями 4.

Обработка крупнокускового лома цветных металлов с выделением железных включений производится на сортировочной линии, показанной на рис. 9.3.

Исходные металлоотходы из бункера 1 пластинчатым питательным конвейером 2 подаются на сортировочный конвейер 4. При этом они проходят через электромагнитный железотделитель 3, который отделяет железные включения и сбрасывает их в короб 5. Питательный и сортировочный конвейеры имеют автономные приводы 6.

*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.

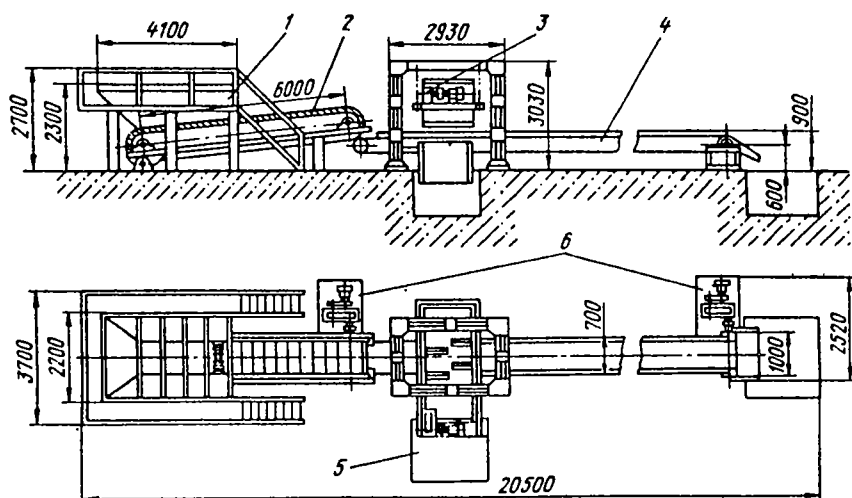


Рис. 9.3. Сортировочная линия лома и отходов

Модель пресса 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. Отечественная промышленность выпускает гидравлические прессы мощностью от 1 до 31,5 МН. Характеристики некоторых из них приведены ниже:

|   | Б 1642 | Б 1638 | Б 1334 |
|---|--------|--------|--------|
| Максимальная толщина прессуемого металлолома (сталь с $\sigma_b = 450$ МПа), мм | 12     | 8      | 4      |
| Усилие прессования, МН  | 16     | 6,3    | 2,5    |
| Габариты пакета, м, не более:   |        |        |        |
| длина   | 2      | 1      | 0,5    |
| ширина  | 1      | 0,5    | 0,36   |
| высота  | 0,71   | 0,5    | 0,36   |
| Производительность, пакетов/ч   | 20     | 36     | 35     |
| Давление рабочей жидкости, МПа  | 32     | 32     | 20     |
| Мощность электродвигателя, кВт  | 750    | 250    | 133    |
| Габариты пресса, мм:  |        |        |        |
| длина   | 18700  | 15100  | 9000   |
| ширина  | 18600  | 11930  | 5350   |
| высота  | 5870   | 4675   | 2780   |
| Масса пресса, т   | 598    | 230    | 71,5   |

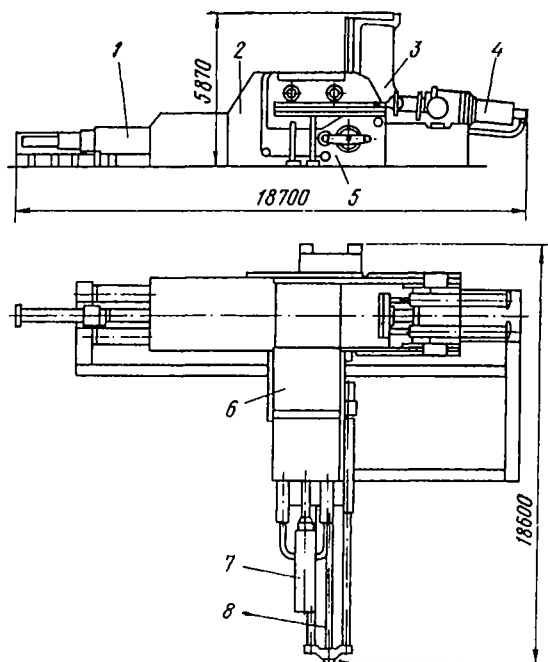


Рис. 9.4. Пакетировочный гидравлический пресс Б 1642

На рис. 9.4 показана схема пресса Б 1642, применяемого для пакетирования металлолома.

Процесс прессования осуществляется следующим образом. Металлолом краном загружается в загрузочную камеру 6 пресса, откуда поступает в пресс-камеру 2. Крышка 3 закрывается с помощью механизма прижима 4, и лом прессуется. При этом формируется окончательная высота пакета. Затем с помощью механизма поперечного прессования 1 формируется ширина пакета. И, наконец, механизм продольного прессования 7 формирует длину пакета. В это время давление в гидросистеме максимально. По окончании прессования включается механизм загрузочного устройства 8, и пакет с помощью механизма 5 выталкивается из камеры. После этого окно выдачи пакета закрывается, и пресс готов к очередному циклу работы.

Для уплотнения крупногабаритного металлолома широко применяются гидравлические пресс-ножницы (рис. 9.5), которые могут работать как в режиме прессования, так и в режиме резания.

Характеристики пресс-ножниц разных моделей для переработки металлолома приведены ниже:

|                                      | НО838 | К10.3.36.01 |
|--------------------------------------|-------|-------------|
| Усилие, МН:                          |       |             |
| окончательного прессования . . . . . | 6,3   | 4,0         |
| резания . . . . .                    | 6,3   | 4,0         |
| Размеры загрузочной камеры, мм:      |       |             |
| длина . . . . .                      | 6000  | 4800        |
| ширина . . . . .                     | 3650  | 2500        |
| высота . . . . .                     | 1800  | 1300        |



|  |         |        |
|--|---------|--------|
| Толщина пакетируемого лома, мм   | < 8     | < 6    |
| Размеры пакета (не более) мм:  |         |        |
| длина  | 1000    | 760    |
| ширина   | 500     | 500    |
| высота   | 500     | 500    |
| Масса пакета, кг   | < 625   | < 600  |
| Максимальное сечение лома, разрезаемого за один ход ножа (при $\sigma_b$ 450 МПа), мм: |         |        |
| диаметр круга  | 150     | 110    |
| лист   | 70×1300 | 55×750 |
| Установленная мощность электродвигателей, кВт  | 405     | 189    |
| Масса пресс-ножниц, т  | 345     | 136    |
| Габаритные размеры пресс-ножниц, мм:   |         |        |
| длина  | 17800   | 12600  |
| ширина   | 13000   | 3200   |
| высота   | 7800    | 4700   |

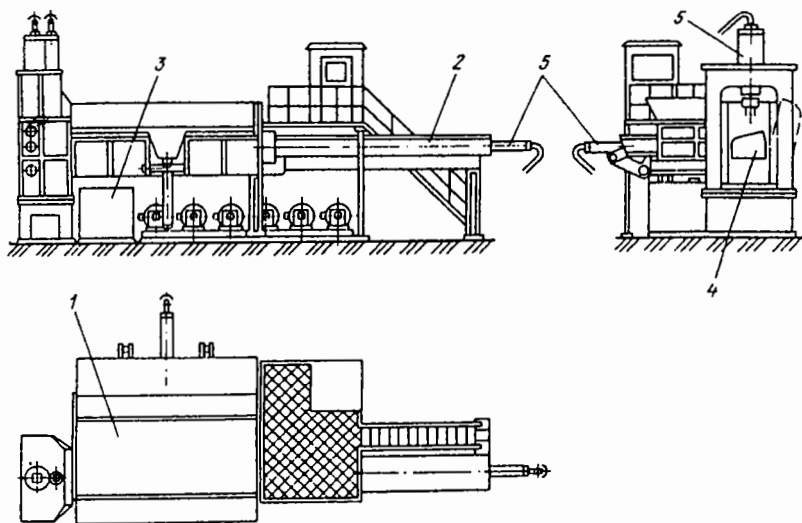


Рис. 9.5. Пресс-ножницы гидравлические:

1 – загрузочная камера; 2 – узел подачи материала; 3 – маслостанция; 4 – нож; 5 – гидроцилиндры

При пакетировании лом с помощью механизма подачи 2 подается в загрузочную камеру 1, где пакет формируется по ширине. Затем металлолом прессуется по вертикали. После формирования пакет с помощью механизма окончательного прессования выталкивается из камеры штемпелем.

При работе пресс-ножниц в режиме резания поперечная стенка камеры, являющаяся ножевой балкой, поднимается, и металлолом

с помощью механизма подачи перемещается под нож 4. Резка осуществляется механизмом реза, работающим от гидропривода.

Для окускования металлической стружки применяется *брикетирование* с помощью брикетировочных прессов, характеристики которых приведены в табл. 9.3.

Таблица 9.3

## Характеристика брикетировочных прессов

| Показатели                                   | Б 6241 | Б 6238 | Б 653 | Б 234 |
|--|--------|--------|-------|-------|
| Усилие пресса, МН                            | 12,5   | 6,3    | 4,0   | 2,5   |
| Максимальные размеры брикета, мм:            |        |        |       |       |
| диаметр                                      | 230    | 170    | 120   | 120   |
| высота                                       | 150    | 120    | 70    | 60    |
| Максимальная масса брикета, кг               | 31     | 13     | 5,0   | 2,5   |
| Установленная мощность электродвигателя, кВт | 285    | 120    | 110   | 30,8  |
| Масса пресса, т                              | 93,5   | 28     | 27,3  | 8,7   |
| Габариты пресса, мм:                         |        |        |       |       |
| длина  | 12500  | 5150   | 6260  | 3780  |
| ширина                                       | 3500   | 3300   | 3640  | 1720  |
| высота                                       | 4000   | 2800   | 3113  | 1930  |

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.

Пресс модели Б 6238 для брикетирования стружки показан на рис. 9.6.

*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.

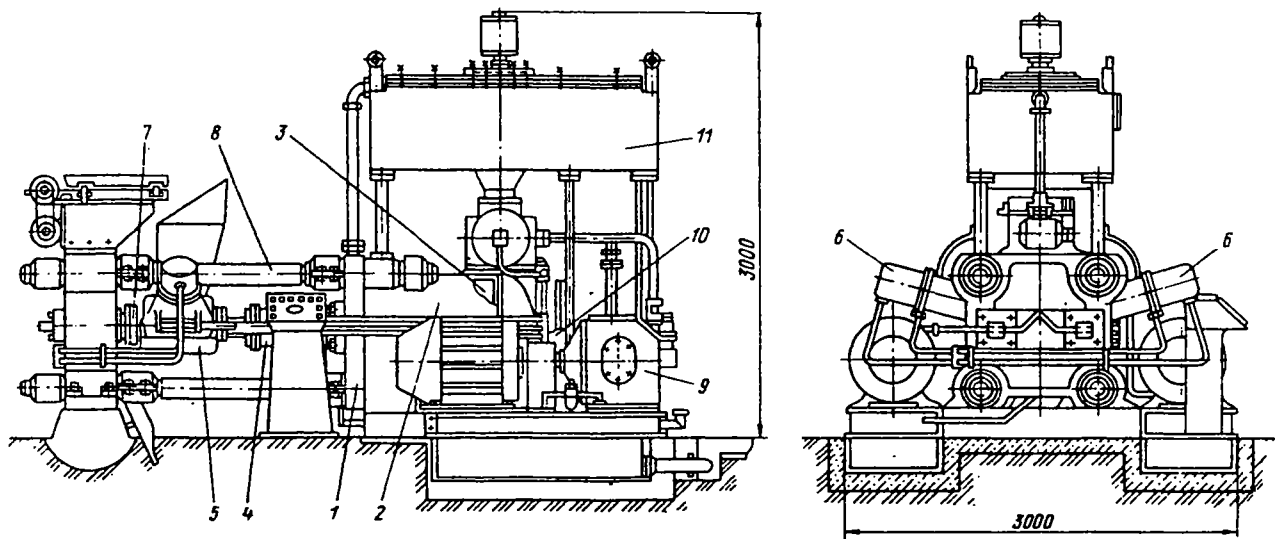


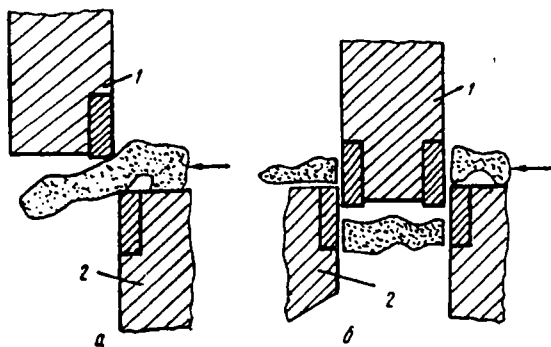
Рис. 9.6. Пресс модели Б 6238 для брикетирования стружки:

1 – станина; 2 – главный цилиндр; 3 – поршень; 4 – штемпель; 5 – контейнер; 6 – трамбовка; 7 – матрица; 8 – стяжные шпильки; 9 – масляный насос; 10 – вспомогательный цилиндр; 11 – масляный бак

В различных конструкциях гильотинных ножниц применяются схемы режущей части, приведенные на рис. 9.7.

Рис. 9.7. Конструктивные схемы режущей части гильотинных ножниц:

*а* — с одним резом; *б* — с двумя резами; 1 — подвижный нож; 2 — неподвижный нож



При использовании конструкции с одним режущим ножом в процессе резки возникает крутящий момент, стремящийся развернуть изделие. Поворот разрезаемого изделия можно предотвратить путем его прижима к станине (к неподвижному ножу 2). При конструктивном решении по типу рис. 9.7, *б* за одно движение подвижного ножа 1 получаются два реза, а необходимость в прижатии разрезаемого лома к станине отпадает.

Гидравлические ножницы (рис. 9.8) 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: подготов-

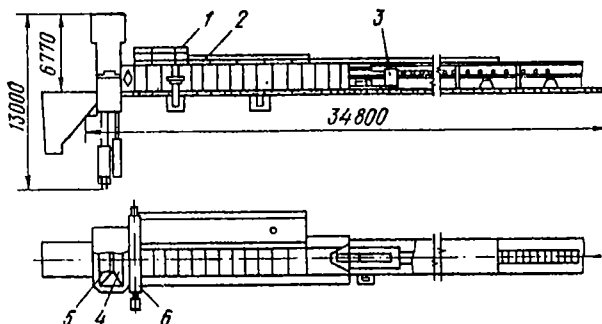


Рис. 9.8. Гидравлические (гильотинные) ножницы модели Н0340

ки лома (отбора кусков, не подлежащих резке); загрузки лома в нижницы; резки лома; сортировки нарезанных кусков по габаритам. Ножницы работают совместно с мостовым краном, оборудованным полип-грейфером или электромагнитом.

ция ножниц позволяет резать металлолом порциями, объем которых определяется емкостью загрузочного устройства. Процесс переработки металлолома на гидравлических ножницах состоит из следующих операций: подготов-

Принцип работы ножниц состоит в следующем. Лом загружается в загрузочный короб 1, который после заполнения поворачивается с помощью гидропривода. Из него лом высыпается в загрузочный желоб 2. Затем механизмом подачи 3 металлолом передвигается по желобу в ножницы. Ход ползуна механизма подачи регулируется с пульта управления. Перед срабатыванием режущих ножниц лом уплотняется с помощью механизма прижатия 4, который удерживает лом во время резки. После срабатывания механизма резки 5 нарезанный металлолом падает в приемный бункер, откуда убирается краном. В это время загрузочный короб заполняется следующей порцией металлолома. Для облегчения процесса резки загрузочный желоб гидравлических ножниц оборудован крышкой, кроме того, ножницы снабжены механизмом предварительного смятия металлолома 6.

Технические характеристики некоторых различных моделей гидравлических (гилютинных) ножниц представлены ниже:

|   | НБ0340  | Н0340   | Н2335  |
|---|---------|---------|--------|
| Максимальное сечение разрезаемого лома за 1 ход (сталь с $\sigma_{в} = 450$ МПа): |         |         |        |
| квадрат (сторона), мм . . . . .   | 160     | 160     | 80     |
| круг (диаметр), мм . . . . .  | 180     | 180     | 90     |
| лист, мм . . . . .  | 90×1300 | 70×1850 | 50×750 |
| балка, швеллер (номер) . . . . .  | 30      | 40      | 27     |
| Усилие, МН:   |         |         |        |
| резания . . . . .   | 10      | 10      | 3,15   |
| прижима . . . . .   | 2,5     | 4,01    | 1,2    |
| подпрессовки . . . . .  | 2,4     | 2,0     | —      |
| Длина ножей, мм . . . . .   | 1540    | 2100    | 800    |
| Число рабочих ходов, мин <sup>-1</sup> . . . . .                                  | 2       | 2       | 5      |
| Размеры желоба, мм:   |         |         |        |
| длина . . . . .   | 8060    | 12000   | 4800   |
| ширина . . . . .  | 3650    | 2000    | 750    |
| высота . . . . .  | 1000    | 1000    | 500    |
| Давление рабочей жидкости, МПа . . . . .  | 32      | 32      | 32     |
| Установленная мощность электродвигателей, кВт                                     | .998    | 670     | 166    |
| Габариты ножниц, мм:  |         |         |        |
| длина . . . . .   | 23150   | 34800   | 13000  |
| ширина . . . . .  | 12000   | 8600    | 3300   |
| высота . . . . .  | 8800    | 13000   | 5810   |
| Масса ножниц, т . . . . .   | .400    | 459     | 80     |

Для резки стального трубопроката, армированных сталью кабелей и другого аналогичного металлолома применяются аллигаторные (рычажные) ножницы с усилием резания от 3,15 до 10 МН. Ниже приведены характеристики некоторых аллигаторных ножниц:

|   | H2228 | H2230 | H2231 |
|---|-------|-------|-------|
| Максимальное сечение разрезаемого лома за один ход: |       |       |       |
| квадрат (сторона), мм                               | 56    | 90    | 110   |
| круг (диаметр), мм                                  | 63    | 100   | 125   |
| швеллер (номер)                                     | 24    | 40    | 40    |
| балка (номер)                                       | 22    | 40    | 50    |
| Длина ножей, мм                                     | 630   | 800   | 800   |
| Максимальный зев ножниц, мм                         | 200   | 250   | 300   |
| Габариты ножниц, мм:                                |       |       |       |
| длина   | 4680  | 4000  | 4985  |
| ширина  | 3525  | 4600  | 2325  |
| высота  | 1645  | 2000  | 2425  |
| Масса ножниц, т                                     | 8,9   | 17    | 24,8  |

Резка металлолома на аллигаторных ножницах производится поштучно, а потому они малопроизводительны. Схематическое устройство аллигаторных ножниц приведено на рис. 9.9.

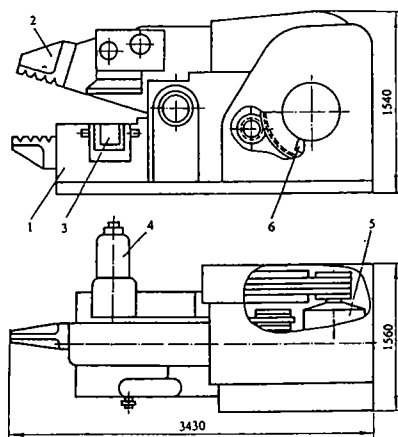


Рис. 9.9. Схематическое устройство аллигаторных (рычажных) ножниц модели H2230:

1 - станина; 2 - челюсть; 3 - ролик; 4 - опора; 5 - привод; 6 - предохранительное устройство

Ролик служит для подачи металлолома на резку под нож.

Представляют интерес передвижные (на колесном шасси) аллигаторные ножницы с гидравлическим приводом.

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 подвиж-

Аллигаторные ножницы состоят из подвижной и неподвижной челюстей, на которых крепятся ножи, механизма регулирования зазора, опоры, кривошипно-шатунного механизма, прижимного устройства, привода и предохранительного устройства.

Механический привод состоит из маховика, клиноременной и зубчатой передач. Кривошипно-шатунный механизм преобразует вращательное движение коленвала в качательное движение подвижной челюсти. Прижимное устройство предназначено для удержания разрезаемого металлолома в процессе резки.

ным (салазковые и маятниковые) и стационарно установленным вращающимся диском (рис. 9.10).

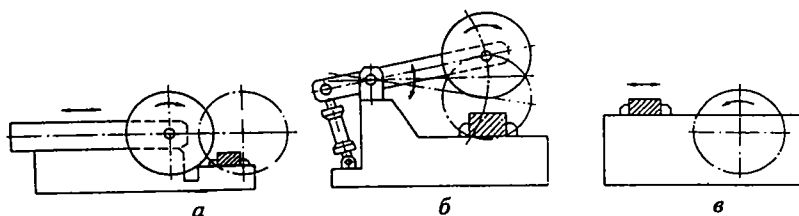


Рис. 9.10. Дисковые пилы:

*a* – салазковые; *b* – маятниковые; *в* – стационарные

У салазковых пил привод диска расположен на подвижной раме с направляющими салазками. Жесткость станины и самих салазок исключает боковое биение диска, что является основным достоинством этих пил.

У маятниковых дисковых пил привод диска расположен на раме-маятнике, совершающей возвратно-качательные движения. В салазковых и маятниковых пилах отходы неподвижно крепятся на столе, а вращающаяся пила подается на разрезаемые отходы. У пил со стационарно установленным диском отходы при резке подаются под вращающийся диск.

Дробление вьюнообразной стальной стружки осуществляется на стружкодробильном агрегате (рис. 9.11). Стружка загружается с помощью крана порциями по 200 – 300 кг в разрывное устройство, где происходит ее разрыхление и предварительное дробление.

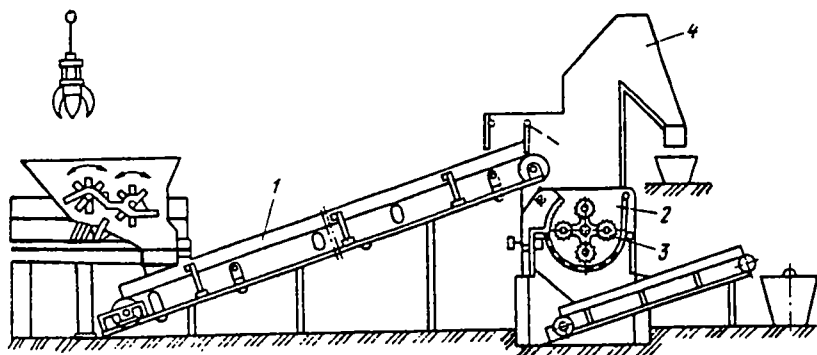


Рис. 9.11. Стружкодробильный агрегат модели СДА-7:

*1* – ленточный транспортер; *2* – молотковая дробилка; *3* – молоток; *4* – ловушка

Затем стружка с помощью ленточного транспортера 1 подается в молотковую дробилку 2, откуда дробленая стружка с помощью другого транспортера подается в сборочный контейнер. Недробимые предметы удаляются из дробилки через специальную ловушку. Дробилка агрегата СДА-7 имеет ротор диаметром 830 мм и длиной 800 мм; частота вращения ротора  $12,5 \text{ с}^{-1}$ . Установочная мощность электропривода 75 кВт, производительность агрегата 1 т/ч.

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. При этом способе используются мощные копровые установки, характеристики которых приведены в табл. 9.4. Схематически копровые установки различных типов показаны на рис. 9.12, 9.13.



Характеристики копровых установок для дробления металлолома

| Параметр                              | Копры малой мощности, энергия удара $(0,5 - 2)10^5$ Дж |              |            | Копры средней мощности, энергия удара $(2 - 10)10^5$ Дж |              |            | Копры большой мощности, энергия удара $> 10^6$ Дж |              |            |
|---------------------------------------|--|--------------|------------|---|--------------|------------|---|--------------|------------|
|                                       | башенные   |              | эстакадные | башенные  |              | эстакадные | башенные  |              | эстакадные |
|                                       | передвижные  | стационарные |            | передвижные   | стационарные |            | передвижные                                       | стационарные |            |
| Масса копровой бабы, т                | 0,5 - 2,5  | -            | -          | 2 - 7   | -            | -          | 5 - 15  | -            | -          |
| Максимальная высота падения, м        | 2,5 - 10   | -            | -          | 10 - 18   | -            | -          | 18 - 35   | -            | -          |
| Скорость подъема, м/мин               | 20 - 40  | -            | -          | 15 - 40   | -            | -          | 10 - 40   | -            | -          |
| Площадь шабота, м <sup>2</sup>        | -  | 5 - 20       | -          | -   | 10 - 30      | -          | 8   | 5 - 20       | 15 - 50    |
| Скорость передвижения копра, м/мин    | 8 - 15   | -            | -          | 20  | -            | -          | 4 - 20  | -            | -          |
| Бойная яма или траншея, м:            |  |              |            |   |              |            |   |              |            |
| длина                                 | 16 - 30  | -            | 0 - 3      | 8   | -            | 0 - 7      | 8   | -            | -          |
| ширина                                | 0,6 - 2  | -            | 0 - 3      | 3 - 6   | -            | 0 - 7      | 6   | -            | -          |
| глубина                               | 0,6 - 1,4  | -            | 0 - 1,3    | 1 - 5   | -            | 0 - 4      | 2,5 - 5   | -            | -          |
| Защитное устройство, м:               |  |              |            |   |              |            |   |              |            |
| высота обшивки                        | 3*   | -            | -          | 7*  | -            | -          | -   | -            | -          |
| толщина стальных защитных листов, мм: |  |              |            |   |              |            |   |              |            |
| внизу                                 | 5 - 15   | -            | -          | 10 - 100  | -            | -          | -   | -            | -          |
| вверху                                | 5 - 15   | -            | -          | 5 - 40  | -            | -          | -   | -            | -          |
| радиус с защитной зоны, м             | 25 - 100   | -            | -          | 50 - 200  | -            | -          | 100 - 200   | -            | -          |

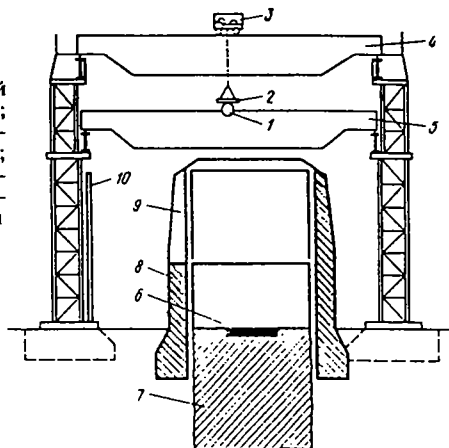
Продолжение табл. 9.4

| Параметр  | Копры малой мощности, энергия удара $(0,5 - 2)10^3$ Дж |              |                                  | Копры средней мощности, энергия удара $(2 - 10)10^3$ Дж |              |                                 | Копры большой мощности, энергия удара $> 10^6$ Дж |              |                    |
|---|--|--------------|----------------------------------|---|--------------|---------------------------------|---|--------------|--------------------|
|   | башенные   |              | эстакадные                       | башенные  |              | эстакадные                      | башенные  |              | эстакадные         |
|   | передвижные  | стационарные |                                  | передвижные   | стационарные |                                 | передвижные                                       | стационарные |                    |
| Подкрановые пути, м:<br>длина пролет                                    | -  | -            | До 40<br>10 - 15                 | До 90<br>20 - 30  | -            | До 60<br>20 - 30                | До 90<br>25 - 30                                  | 50 - 75<br>7 | 50 - 90<br>10 - 30 |
| Грузоподъемность крана, Н:<br>бойного уборочного                        | -  | -            | $3 \cdot 10^4$<br>$3 \cdot 10^4$ | $1 \cdot 10^5$<br>$(1 - 5)10^5$                         | -            | $1 \cdot 10^5$<br>$(1 - 5)10^5$ | $(1 - 1,5)10^5$<br>$(1 - 5)10^5$                  | -            | -                  |
| Приводная мощность, кВт:<br>механизма подъема<br>механизма передвижения | 5 - 15<br>5  | -            | -                                | 10 - 30<br>5 - 10                                       | -            | -                               | 30 - 135<br>15 - 30                               | -            | -                  |
| Толщина разбиваемого металлолома, мм                                    | До 50  | -            | -                                | 100 - 200   | -            | -                               | 200 - 600   | -            | -                  |
| Производительность, т/ч   | 1 - 2,5  | -            | -                                | 2 - 6   | -            | -                               | 2 - 8   | -            | -                  |

\*До высоты подъема бабы.

Рис. 9.12. Эстакадный копер:

1 – копровая баба; 2 – грузоподъемный электромагнит; 3 – крановая тележка; 4 – бойный мостовой кран; 5 – мостовой кран для подачи и уборки лома; 6 – шабот; 7 – фундамент; 8 – железобетонная защитная стенка; 9 – загрузочное окно; 10 – стальная защитная стенка



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).

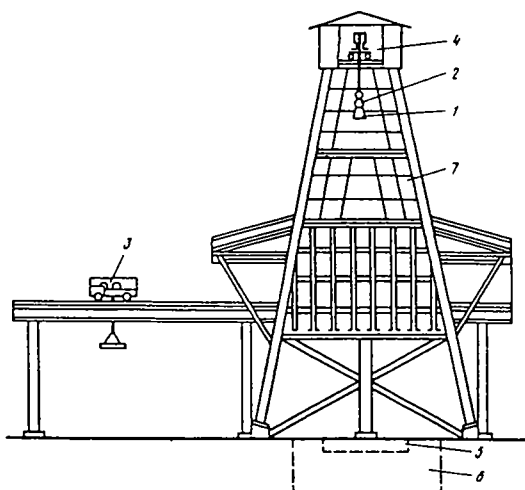


Рис. 9.13. Стационарный башенный копер:

1 – копровая баба; 2 – захват для копровой бабы; 3 – мостовой кран; 4 – подъемный механизм; 5 – шабот; 6 – фундамент; 7 – защитное ограждение

Энергия, расходуемая на дробление на копровой установке, зависит от массы и формы копровой бабы, а также высоты ее падения. Существенное влияние на эффективность измельчения оказы-

вает 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.

Помимо копровых установок для дробления чугунного лома используются гидравлические прессы (УРИСК), снабженные манипулятором (рис. 9.14).

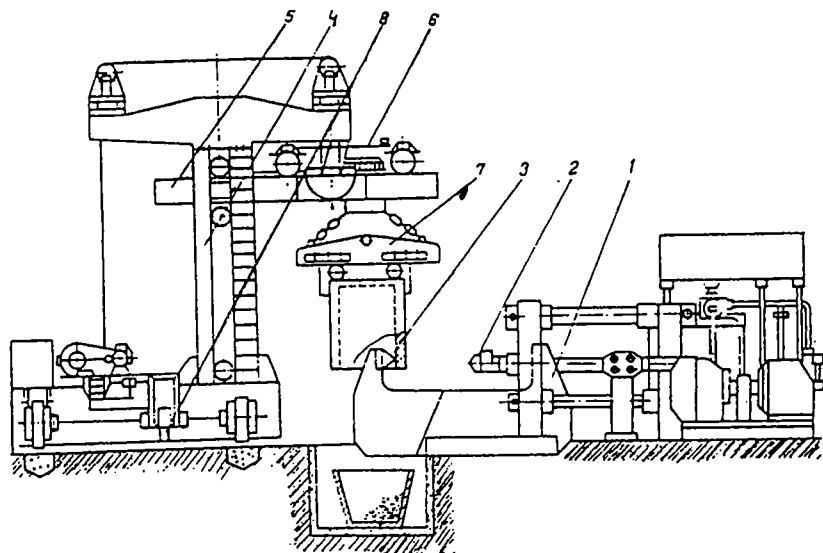


Рис. 9.14. Установка для разделки изложниц соосными клиньями (УРИСК):

1 – пресс П0138; 2 – подвижный клин; 3 – упор; 4 – манипулятор; 5 – каретка; 6 – грузовая тележка; 7 – траверса; 8 – механизм передвижения манипулятора

Манипулятор перемещается по рельсовым путям и захватывает изложницу, транспортирует ее к прессу, устанавливает и фиксирует изложницу в рабочем положении, осуществляет вращение ее вокруг вертикальной оси и перемещение вдоль и поперек продольной оси прессы. Изложница помещается грузоподъемным механизмом в зону действия манипулятора 4 и захватывается им. После этого манипулятор, установленный на грузовой тележке 6, захватывает изложницу и перемещает ее к прессу 1. Подвижный клин 2 перемещается по направлению к изложнице, движение которой ограничивается упором 3. В результате от изложницы откалывается кусок стенки. Манипулятор поворачивает изложницу и подводит к

упору другую ее стенку. Подвижный клин вновь перемещается до упора в изложницу и отламывает от нее кусок другой стенки. Процесс повторяется несколько раз. Оставшаяся неразломанной часть изложницы транспортируется на разламывание на копровую установку.

Использование гидравлических прессов для разделки чугунных изложниц позволяет исключить тяжелый ручной труд и повысить производительность оборудования.

Для переработки крупных стальных и чугунных 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.

При дроблении с помощью взрыва важнейшую роль играют природа ВВ, мощность заряда, его форма и расположение на взрываемой конструкции, технология проведения взрыва. Для изготовления зарядов используют бризантные ВВ, такие, как тринитротолуол, тэн, гексоген, композиты на основе аммиачной селитры и нитроглицерина.

При определении мощности заряда учитывают форму и размеры взрываемой конструкции и прочность материала, из которого она изготовлена. В общем виде количество ВВ, необходимое для взрывного дробления, определяется произведением удельного расхода ВВ, которое берется из таблиц, на площадь поперечного сечения взрываемого изделия. Средний удельный расход ВВ при дроблении металлолома  $0,005 \text{ кг/см}^2$  для чугуна и  $0,025 \text{ кг/см}^2$  для стали, однако он может возрастать в несколько раз при разделке особо сложных конструкций, например валков. Как правило, величина заряда не превышает 40 кг. Следует отметить, что определение оптимальной мощности заряда требует больших практических навыков, так как она является функцией многих факторов.

Не последнюю роль при определении мощности заряда играют его форма и расположение на взрываемой конструкции. Заряд может быть вытянутым или компактным, находиться внутри изделия

и на его поверхности. Энергия заряда, расположенного на поверхности изделия, расходуется неэффективно. Вытянутые заряды, у которых длина равна пяти и более диаметрам, позволяют осуществлять дробление наиболее эффективно, так как при такой форме заряда наиболее полно используется выделяющаяся энергия.

Большое влияние на полноту использования энергии взрыва оказывает качество контакта между зарядом и поверхностью взрываваемой конструкции. Заполнение пустот между зарядом и конструкцией различными инертными материалами способствует повышению эффективности дробления взрывом.

Технология проведения взрыва зависит от формы изделия, подлежащего дроблению. Массивный лом, например валки, взрывают шпуровыми зарядами. Относительно тонкостенный лом (маховики, станины) взрывают накладными зарядами.

Пустотелый лом (изложницы) взрывают вложенными или подвесными зарядами с использованием воды (гидровзрыв). Этот процесс осуществляется следующим образом. Изложницу помещают внутри специального металлического резервуара, который заполняется водой. Таким образом, вода находится не только внутри изложницы, но и снаружи ее; при этом вода в резервуаре служит упругой средой, воспринимающей давление ударной волны. Это позволяет: увеличить выход габаритных кусков отходов; уменьшить расход взрывчатых веществ; снизить сейсмичность процесса; устранить опасный разлет кусков отходов.

Способ фрагментирования с применением энергии взрыва в водной среде используют также для переработки отходов с резко отличающимися пластическими и прочностными свойствами компонентов, например сростков металл – стекло.

Для дробления крупногабаритного металлолома с помощью взрыва используют взрывные ямы. В таких конструкциях можно измельчать изделия массой 50 т и более.

На рис. 9.15 показана схема устройства взрывной ямы для подрыва изложниц в воде.

Стены и основание 1 взрывной ямы изготовлены из железобетона и имеют толщину 0,8 – 1,4 м. Стальные плиты (3, 5, 6), имеющие толщину 10 – 30 см, крепятся болтами 4. Гашение ударной волны осуществляется деревянными балками 2, вместо которых можно применять резиновые прокладки (резиновую крошку) или песчаную засыпку. Для откачки воды по трубе 10 предназначен насос 9. Заряд подвешен в изложнице 11.

Важную роль играет съемная крышка 8, так как, с одной стороны, она должна легко сниматься или отодвигаться, освобождая проем ямы для загрузки металлоломом, а с другой – гасить ударную волну и выдерживать непосредственные удары разлетающихся продуктов дробления. Для этого крышку делают составной из нескольких секций, общая масса крышки – до 550 т, и перемеща-

ется она с помощью мостового крана, грузоподъемность которого доходит до 100 т.

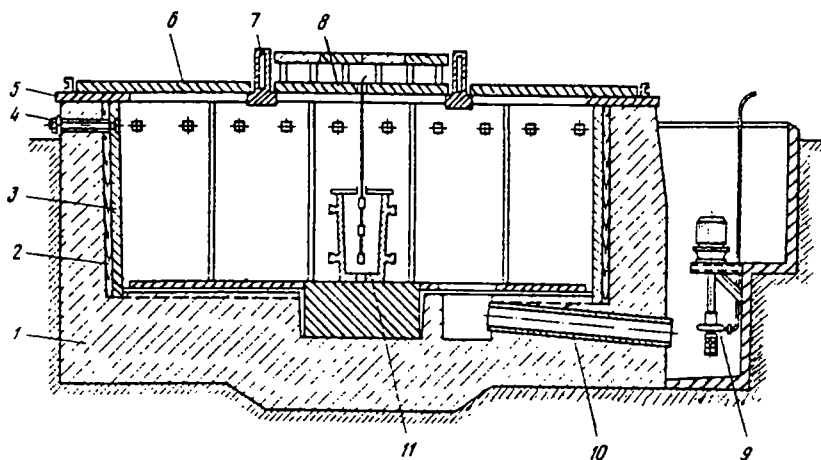


Рис. 9.15. Устройство взрывной ямы для подрыва изложниц в воде:

1 – основание и стены; 2 – деревянные балки; 3, 5, 6 – стальные плиты; 4 – болты; 7 – несущая балка; 8 – крышка; 9 – водяной насос; 10 – труба для стока воды; 11 – измельчаемая изложница

Глубина ямы составляет 4 – 5 м, длина доходит до 9, а ширина до 6 м, что позволяет довести внутренний объем ямы до 270 м<sup>3</sup>.

Способ измельчения металлолома взрывом применяется достаточно широко, но связан с особо высокой опасностью, и потому организация таких работ требует тщательного выполнения мер безопасности. Расход взрывчатых веществ, форма и размеры заряда, технология выполнения работ и меры безопасного их проведения детально описаны в специальной литературе.

*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 мундштук 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).

Представляет интерес мобильная установка для газопламенной резки металлов, разработанная в МГТУ им. Н. Э. Баумана (терморезак ТР-3). Установка работает на керосине, имеет низкую массу (не более 1,7 кг) и способна разрезать отходы углеродных, высоколегированных сталей, чугуна, композитов, железобетона и других материалов. Максимальная толщина разрезаемых кусков металла составляет для низкоуглеродистой стали 300 и для броневого стали 250 мм.

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  $30000\text{ }^{\circ}\text{C}$ , что приводит к мгновенному расширению газа, выходящего вследствие этого из мундштука плазменного резака с очень высокой скоростью.

К плазмотронам предъявляются следующие основные требования: создание плазмы с большой тепловой энергией, длительная непрерывная работа, надежность и простота конструкции, стабильность параметров плазменного потока и др.

Наибольшее распространение для резки металлов получили однодуговые плазмотроны, обладающие следующими преимуществами: высокой долговечностью, возможностью создания высокого давления газа и регулирования в широком диапазоне объема создаваемой плазмы.

Важнейшими элементами конструкции дугового плазмотрона являются электроды, разрядная камера, система стабилизации дуги. Схема установки для плазменной резки показана на рис. 9.16.

Вольфрамовый электрод *1* присоединен к отрицательному полюсу, а кусок измельчаемого лома *8* — к положительному полюсу источника постоянного тока *7*. При приближении резака к металлу возникает электрическая дуга, которая ионизирует выходя-

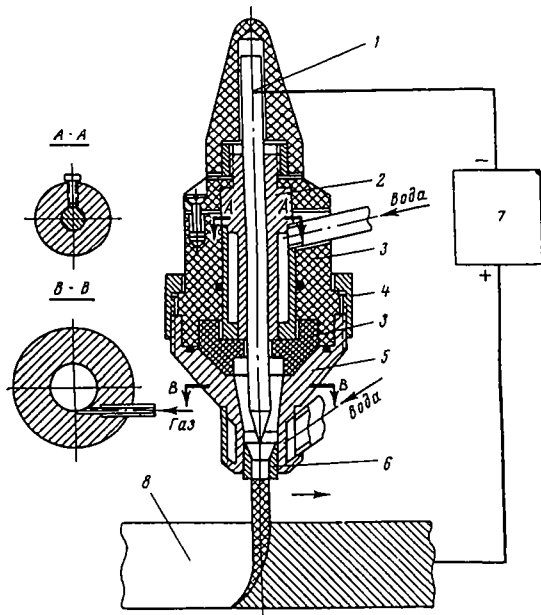


Рис. 9.16. Общий вид плазмотрона и схема процесса плазменной резки металла:

*1* — катод; *2* — втулка; *3* — изоляторы; *4* — накидная гайка; *5* — кожух; *6* — сопло; *7* — источник питания; *8* — металл (анод)

щий из сопла *б* газ, образуя плазменную струю. Сопло предохраняется от расплавления потоком охлаждающей воды, подаваемой в его рубашку.

Ассортимент выпускаемых промышленностью плазмотронов достаточно разнообразен благодаря различному конструктивному оформлению их элементов. Промышленные автоматизированные установки для плазменной резки металлов обеспечивают скорость резки до 10 м/мин, работают при напряжении 350 В и силе тока до 1000 А. Ручные плазменные резаки могут резать металл со скоростью 2 – 4 м/мин, потребляют ток силой до 400 А при напряжении до 200 В.

*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 металлолом.

Сущность процесса *шпурения кислородным копьем* (рис. 9.17) 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.

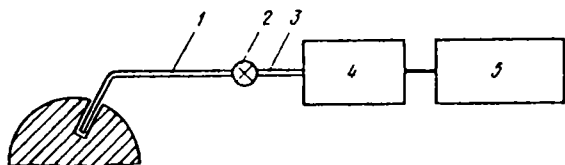


Рис. 9.17. Схема установки для шпурения кислородным копьем:

1 – копье; 2 – вентиль регулировки подачи кислорода; 3 – кислородный шланг; 4 – редуктор; 5 – кислородная установка

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.

#### 9.4. Сепарация лома и отходов цветных металлов

При переработке лома и отходов цветных металлов особое значение для их рационального использования имеет процесс сепарации, который может осуществляться в воздушной среде (сухие способы) или в различных жидкостях (мокрые способы).

К сухим способам сепарации относятся: магнитные, электродинамические, электрические и пневматические. К мокрым способам

сепарации относятся: тяжелосредные, магнетогидростатические и гидравлические. Эти способы рассмотрены в гл. 4.

Такие способы сепарации относятся к силовым. Они имеют существенные недостатки: низкую эффективность процессов, большой расход энергии и высокие капитальные затраты. В последнее время разрабатываются и внедряются более эффективные, так называемые информационные способы сепарации. Одним из перспективных информационных способов сепарации является радиометрический.

Радиометрическая сепарация лома и отходов цветных металлов основана на эффектах взаимодействия излучений с кусками отходов. Сущность процесса заключается в следующем. Если на кусок или порцию исходного сортируемого материала направить поток излучения, то вещество, из которого состоит анализируемый кусок или порция материала, взаимодействуя с излучением, будет менять интенсивность или состав излучения. Регистрируя параметры этого излучения с помощью приемника, получают информацию о свойствах анализируемого сырья. Для согласования приемника излучений с устройством, которое осуществляет вывод куска или порции материала из потока сепарируемого отхода, в установку включают узел переработки информации (блок-анализатор). Между всеми основными блоками сепарационной установки для сортировки лома и отходов цветных металлов могут устанавливаться фильтрующие элементы, уменьшающие погрешности измерения.

При автоматической сортировке электронная схема осуществляет прием информации, обработку ее по заранее заданному алгоритму и выработку управляющего сигнала на удаление кусков или порции сортируемого материала с заданными свойствами (элементным составом).

Для обогащения и сортировки лома и отходов цветных металлов наиболее перспективны рентгенорадиометрический, радиорезонансный, фотометрический и нейтронно-активационный методы.

К основным конструктивным узлам радиометрических сепараторов относятся: механизм, подающий куски цветного металла или порции исходного сырья в зону анализа, блок-анализатор и исполнительные механизмы. В сепараторах, рассчитанных на сортировку лома и отходов цветных металлов по нескольким классам крупности, имеются приспособления, обеспечивающие учет массы.

Питающее устройство предназначено для подачи исходного сырья на сепарацию. В качестве питающего устройства используют электровибрационные, конусные и тарельчатые питатели. Транспортирующие устройства сепараторов предназначены для создания покускового режима питания и подачи кусков отходов в зону облучения и последующего разделения их на фракции. По типу транспортирующего устройства сепараторы могут подразделяться на ленточные, вибрационные, ковшовые и карусельные. Устройства

вибрационного типа обеспечивают скорость перемещения материала до 0,8 – 1,2 м/с, ленточного типа – 2 – 4 м/с и более. Транспортирующее устройство может быть одно- или многоканальным. Оно позволяет увеличить скорость движения материала по сравнению с питателем, поэтому при сходе с питателя кусок отрывается от идущего за ним следом, что позволяет получить необходимый интервал.

В качестве источников первичного излучения в радиометрическом сепараторе применяются ампульные радиоизотопные источники:  $Fe^{55}$ ,  $Co^{57}$ ,  $Cd^{109}$ ,  $Am^{241}$  и рентгеновские трубки. Узел излучения или вся зона обмера снабжаются защитными экранами, обеспечивающими безопасность обслуживающего персонала.

Детекторные системы сепараторов состоят из измерителя спектрального состава и интенсивности вторичного излучения кусков исходного сырья и блока оценки их геометрических размеров или массы. Для регистрации вторичного характеристического излучения применяют сцинтилляционные, пропорциональные счетчики и полупроводниковые детекторы.

Исполнительные механизмы по команде блока-анализатора выводят из потока разделяемой смеси те или иные куски цветных металлов в соответствующие приемные бункеры. В радиометрических сепараторах чаще применяют электропневматические и шибберные исполнительные механизмы с приводом от тяговых электромагнитов.

На рис. 9.18 приведена схема работы радиометрического сепаратора с электродинамическими сбрасывателями. Последние создают бегущее электромагнитное поле, обеспечивающее силовое воздействие на немагнитные электропроводящие тела (куски цветных металлов и их сплавов).

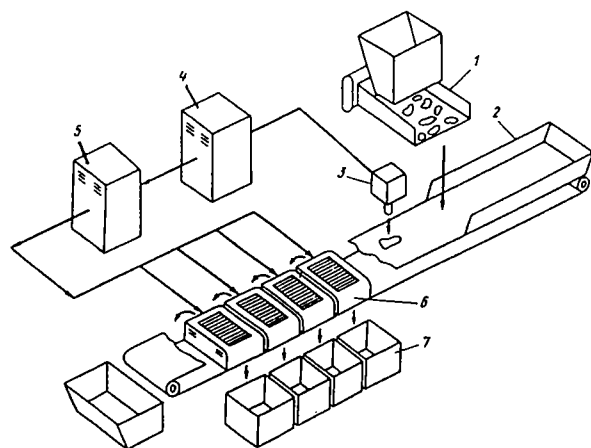


Рис. 9.18. Схема рентгенорадиометрического сепаратора с электродинамическими сбрасывателями:

1 - устройство формирования покусковой подачи; 2 - конвейер; 3 - детектор; 4 - блок анализатора; 5 - блок управления исполнительными механизмами; 6 - ЭД-сбрасыватель; 7 - коробка

Для реализации процесса радиометрической сепарации в технологических схемах переработки лома и отходов цветных металлов создан ряд конструкций сепараторов, различающихся применяемыми источниками первичного излучения, детекторными системами, исполнительными механизмами, количеством сепарационных каналов и получаемых фракций.

На рис. 9.19 показана линия переработки низкокачественных отходов цветных металлов с использованием комплекса радиометрической сортировки.

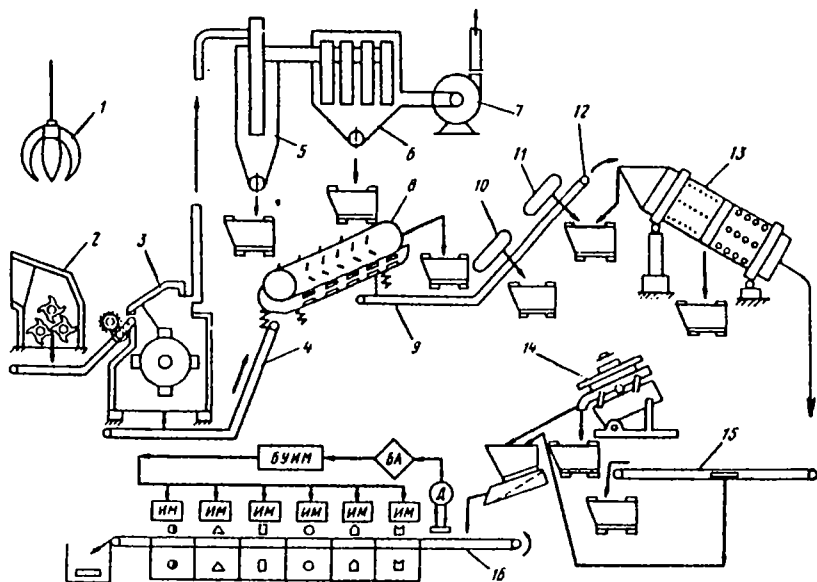


Рис. 9.19. Линия переработки низкокачественных отходов цветных металлов

Исходное сырье грейфером 1 подают на фрагментатор 2, откуда фрагментированный лом поступает в молотковую дробилку 3. Из дробленого продукта воздушным потоком от вентилятора 7 удаляется пылевидная фракция (пыль, бумага, текстиль, мелкие частицы металла и др.), которая накапливается в циклоне 5 и рукавном фильтре 6. Куски металла пластинчатым питателем 4 подаются на сепаратор-пучковыведатель 8, с помощью которого из дробленого лома выделяются пучки проволоки, текстиля и т. п. Далее сырье поступает на ленточный конвейер 9, над которым установлены два подвесных саморазгружающихся магнитных сепаратора 10 и 11. Первый сепаратор со слабым магнитным полем предназначен для выделения из смеси только кусков свободного железа, второй

сепаратор с сильным магнитным полем – для выделения механических сростков ферромагнитных материалов и цветных металлов. Для выделения этих сростков используется также электромагнитный шкив 12 с сильным магнитным полем. Оставшийся на ленточном конвейере немагнитный продукт подается в барабанный грохот 13. Здесь дробленый продукт разделяется по классам крупности – 10, +10 – 40 и +40 – 150 мм. Фракции крупностью +10 – 40 и +40 – 150 мм подаются соответственно на вибрационный 14 и ленточный 15 электродинамические сепараторы. С помощью этих сепараторов получают два продукта: первый – концентрат цветных металлов, который преимущественно содержит куски алюминиевых сплавов, второй – неметаллические материалы, нержавеющую сталь, титан.

Концентраты цветных металлов после дробления, магнитной и электродинамической сепарации поступают на комплекс автоматизированной сортировки 16 отходов цветных металлов по группам и маркам сплавов.

Комплекс состоит из бункера-накопителя, устройства формирования покусковой подачи исходного сырья, транспортирующих устройств, узла облучения кускового сырья, блока детекторов Д, блока-анализатора БА, блока управления исполнительными механизмами БУИМ, системы исполнительных механизмов ИМ, приемников продуктов сепарации.

Комплекс работает следующим образом. Исходное сырье поступает через бункер-накопитель на вибропитатель и далее на устройства покусковой подачи дробленого материала, где обеспечивается заданная скорость транспортировки и необходимый интервал между кусками дробленого лома, которые подаются в зону облучения, создаваемую рентгеновскими трубками. Регистрация вторичного характеристического излучения каждого сепарируемого куска осуществляется с помощью спектрометрического детектора. Сигнал с детектора поступает в блок-анализатор, который определяет элементный состав кусков. Выделение кусков в соответствующий корб осуществляется исполнительными механизмами блока управления. Технические характеристики комплекса представлены ниже:

Производительность при сортировке, т/ч:

|  |       |
|--|-------|
| низкокачественного алюминиевого лома . . . . . | 5 – 7 |
| сплавов медной группы . . . . .                | 2 – 3 |

Крупность исходного сырья при сортировке, мм:

|   |           |
|---|-----------|
| низкокачественного дробленого алюминиевого лома . | +10 – 150 |
| сплавов медной группы . . . . .                   | +40 – 300 |

Установленная мощность электрооборудования, кВт

15

## 9.5. Технологические схемы переработки лома и отходов металлов

*Переработка старых автомобилей.* Одной из сложных проблем при переработке вторичных металлов является переработка легковесного, в частности автомобильного лома, поскольку такой лом содержит большое количество неметаллических материалов, а также цветных металлов. Принципиальная схема утилизации изношенных автомобилей показана на рис. 9.20.



Рис. 9.20. Принципиальная схема утилизации изношенных автомобилей

Для дробления и сортировки легковесного металлолома применяют комплексные установки. Ниже приведены характеристики некоторых комплексных установок для дробления легковесного металлолома, выпускаемых фирмой "Lindemann" (Германия):

|   | K175-100Nanur | Nabri     | Nadus     |
|---|---------------|-----------|-----------|
| Мощность двигателя, кВт . . . . .                                     | 370           | 1200      | 3000      |
| Производительность, т/ч . . . . .                                     | 5 – 10        | 19 – 25   | 40 – 65   |
| Число оборотов ротора, мин <sup>-1</sup> . . . . .                    | 600           | –         | –         |
| Насыпная плотность дробленого металлолома, т/м <sup>3</sup> . . . . . | 0,9 – 1,1     | 1,0 – 1,3 | 1,0 – 1,3 |
| Размер кусков, мм . . . . .   | –             | 50 – 150  | 50 – 150  |

Схема работы одной из них показана на рис. 9.21. Установка состоит из: загрузочного устройства; дробилки; комплекса оборудования для сортировки, включая воздушный и магнитный сепараторы; системы конвейеров; электро- и гидропривода; системы пылеулавливания; пульта управления.

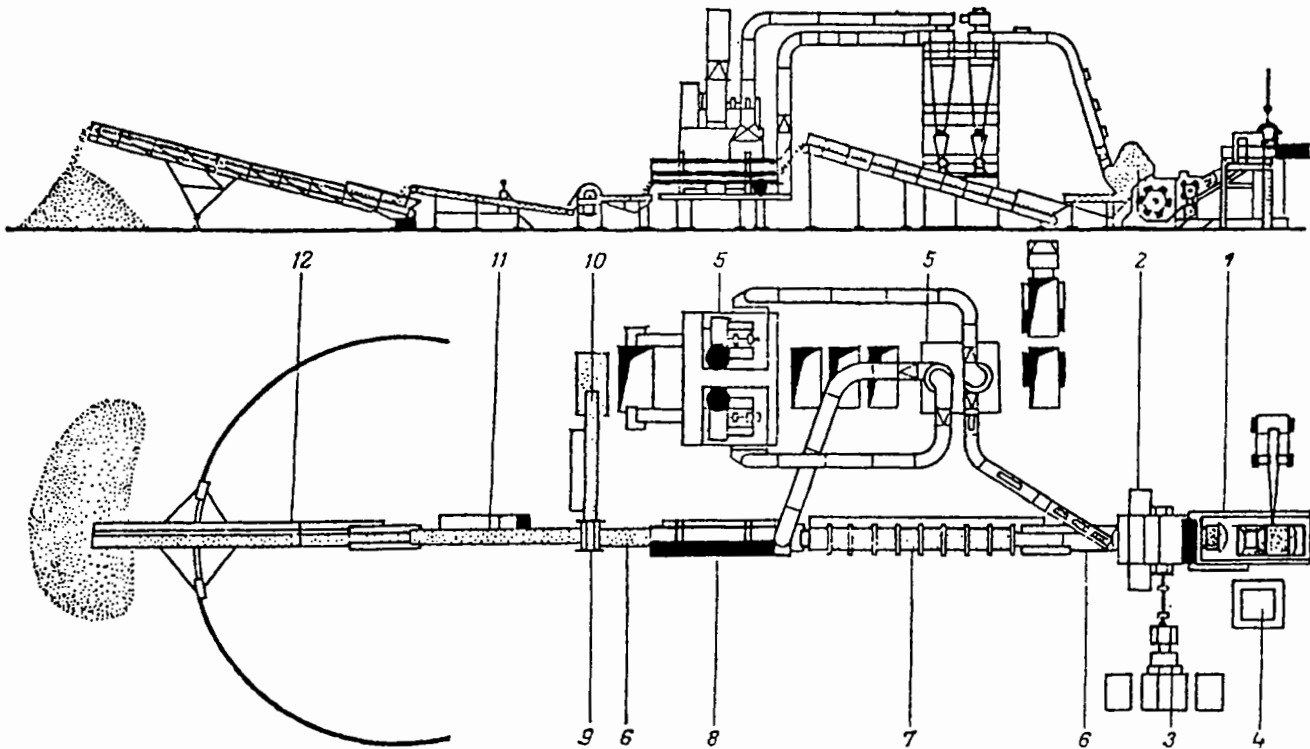


Рис. 9.21. Установка для дробления легковесного металлолома:

1 – опрокидывающийся лоток; 2 – дробилка; 3 – привод дробилки; 4 – пульт управления; 5 – обеспыливающая установка; 6 – виброконвейер; 7 – конвейер; 8 – обеспыливающий барабан; 9 – магнитная сепарационная установка; 10 – конвейер для цветных металлов; 11 – сортировочный конвейер; 12 – конвейер готовой продукции



Технологический процесс переработки легковесного металлолома на установке включает следующие операции: подготовку автомобиля; загрузку кузова автомобиля в дробилку; дробление кузова; очистку и сортировку дробленого металлолома; удаление и складирование готовой продукции.

Загрузочное устройство состоит из опрокидывающего лотка и двух подающих валков. Автомобиль загружается с помощью крана в опрокидывающийся лоток, откуда после переворачивания последнего поступает на вход дробилки. На входе приводные валки захватывают кузов, сминают его и подают на дробление.

Расход энергии при дроблении кузовов зависит от комплектности автомобиля, в частности наличия шин, двигателя и др. Поэтому с автомобиля перед дроблением снимаются шины, топливный бак, аккумулятор, радиатор.

Расход энергии при дроблении автомобилей характеризуется следующими данными, кВт·ч/т:

|  |         |
|--|---------|
| Вместе с двигателем, шинами, сиденьями . . . . . | 25 – 28 |
| Без двигателя, шин и сидений . . . . .           | 20 – 23 |
| Сплюснутый кузов . . . . .                       | 15 – 18 |

После дробления автомобиля получают три фракции: магнитную (черные металлы), воздушную (неметаллические материалы с низкой плотностью) и фракцию, в которую входят все цветные металлы – алюминий, цинк, медь, а также нержавеющая сталь.

Для измельчения автомобильных кузовов применяют в основном дробилки молоткового типа, состоящие из разъемного стального корпуса, облицованного износоустойчивыми плитами, дискового ротора и дробящей плиты. Ротор дробилки имеет 12 – 20 молотков на шести осях и обладает большой инерционностью, что препятствует созданию пиковых нагрузок на двигатель.

Молотковые дробилки для измельчения автомобильных кузовов могут различаться расположением ротора и колосниковой решетки для удаления измельченного продукта. По этому признаку различают дробилки с вертикальным и горизонтальным расположением ротора. Последние бывают с верхним и нижним расположением ротора. Колосниковые решетки у таких дробилок расположены сверху. Преимущества дробилок с верхним расположением решетки – в сравнительно небольшом расходе электроэнергии и более высокой устойчивости при попадании неизмельчаемых предметов.

Молотковые дробилки с горизонтальным расположением ротора для измельчения автомобильных кузовов без предварительной подготовки имеют, как правило, ротор шириной 2,5 м с диаметром окружности по молоткам до 2,5 м. Для дробления предварительно разрезанных автомобильных кузовов применяют молотковые дро-

билки с меньшей шириной ротора. Число оборотов ротора дробилок с горизонтальным расположением ротора, используемых для дробления автомобилей, составляет от 500 до 1000 мин<sup>-1</sup>, а окружная скорость молотков 55 – 65 м/с.

У дробилок с вертикально расположенным ротором, используемых для измельчения неподготовленных автомобильных кузовов, диаметр зоны загрузки должен быть не менее 3 м. При дроблении кузовов, прошедших специальную подготовку, диаметр загрузочного бункера может быть снижен до 1,5 – 2 м. Окружная скорость ударных элементов у таких дробилок составляет 35 м/с.

Производительность молотковой дробилки зависит от мощности приводного двигателя, размеров ротора, способа загрузки металлолома, состояния лома, конфигурации колосниковой решетки (размера отверстий) и достигает 300 тыс. автомобилей в год.

Недробимые предметы выталкиваются из дробилки с помощью гидравлического выталкивателя через специальный клапан.

Утилизируемые автомобили тщательно контролируются на отсутствие рабочих жидкостей (бензина, масла и других, в первую очередь пожароопасных).

При измельчении автомобиля образуются пожароопасная пыль полимерных и текстильных материалов, присутствующих в автомобиле, а также взрывоопасные смеси распыленных масел и остатков топлива, имеющих в автомобиле даже после их удаления при подготовке кузова к утилизации. Такие пожаро- и взрывоопасные смеси необходимо удалять из дробилки как можно полнее и скорее. Чтобы уменьшить опасность, применяют следующие защитные меры: смятие и уплотнение автомобиля; подачу инертных газов в дробилку; предварительное охлаждение лома; впрыскивание воды в рабочее пространство дробилки; создание в дробилке предохранительных клапанов и отсасывающих устройств.

Измельченные материалы кузова отводятся из дробилки вибрационным конвейером в шахту воздушного сепаратора для разделения металлической и неметаллической фракций.

Очистка стального лома от неметаллических примесей и небольших частиц цветных металлов производится в барабанном сепараторе с помощью воздушного потока. Кроме того, используется ручная сортировка для отбора крупных фрагментов из цветных металлов.

После отделения более легких фракций в воздушном сепараторе тяжелые частицы вибропитателем подаются на ленточный конвейер, где частицы черных металлов с помощью подвижного магнитного сепаратора выделяются из потока.

Система конвейеров включает конвейер для передачи дробленого лома на сортировку, конвейер для удаления пыли, конвейер для транспортировки готовой продукции, сортировочные конвейеры.

Очистка воздуха осуществляется сухим и мокрым способами. Сначала воздух очищается с помощью циклонов и мультициклонов со спиральными отводами воздуха. Дальнейшая очистка осуществляется в скрубберах. Пыль из циклона и шлам из скруббера затариваются в контейнеры для дальнейшей переработки либо захоронения.

Первичная очистка металлолома от пыли и большей части неметаллических загрязнений осуществляется в процессе измельчения в дробилке 2 с помощью отсасывающего устройства 5. Дальнейшая очистка происходит в барабанном сепараторе 8, где неметаллические частицы отделяются от металла за счет трения кусочков лома друг о друга при их движении по барабану.

Готовая продукция, представляющая собой сыпучий продукт с высокой степенью чистоты, с сортировочного конвейера поступает на конвейер готовой продукции, с которого отгружается на склад.

Отобранные неметаллические материалы и цветные металлы складываются отдельно и вывозятся из цеха на другие участки либо для дальнейшей утилизации на заводе, либо для продажи специализированным предприятиям.

Линия переработки моторного лома (рис. 9.22). Исходным сырьем являются двигатели внутреннего сгорания, карбюраторы и корпуса коробок передач из литейных алюминиевых сплавов. Содержание в отходах железных включений до 20%, масла и влаги — до 10%. Максимальные размеры лома при переработке не должны превышать 300×150×50 мм. Плотность лома может быть от 100 до 3500 кг/м<sup>3</sup>.

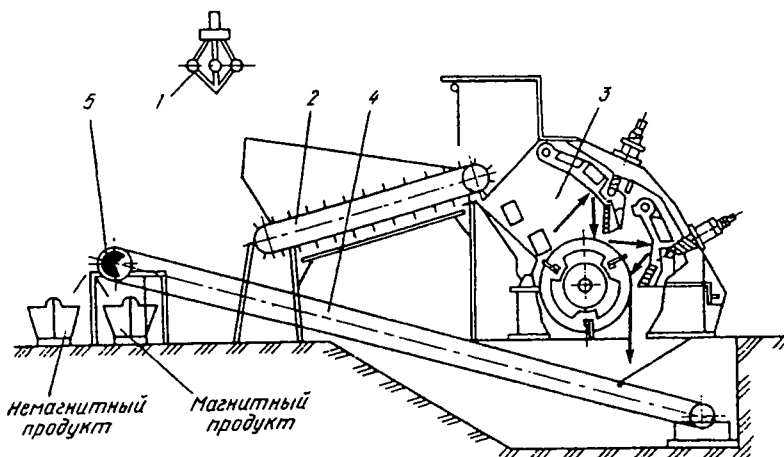


Рис. 9.22. Линия переработки моторного лома

Отходы литейного лома гидравлическим многочелюстным грейфером 1 (см. рис. 9.22) загружаются в приемный бункер пластинчатого питателя 2. В роторной дробилке 3 лом попадает под удары бил и отбрасывается на отбойные плиты. Дробленый продукт через щели между ротором и отбойными плитами разгружается на ленточный транспортер 4 и затем попадает в сепаратор 5. Здесь он подвергается магнитной сепарации.

В результате переработки получают два продукта: немагнитный с размером кусков менее 150 мм, состоящий из алюминиевых сплавов с содержанием железа до 0,2% (выход составляет 83 – 90%, плотность продукта от 650 – 750 кг/м<sup>3</sup>), и магнитный крупностью +3 – 100 мм с содержанием алюминия до 2%. В зависимости от вида исходного сырья производительность линии составляет 3 – 5 т/ч.

*Линия переработки отходов деформируемых и литейных сплавов цветных металлов.* Исходным сырьем являются отходы содержащие алюминиевые сплавы, черные металлы (до 30%), масло и влагу (до 5%). Максимальные размеры перерабатываемого сырья не должны превышать: для листового материала 1400×1400×10 мм (максимальная доля листовых отходов толщины до 10 мм может составлять 10% от общего количества исходного сырья); для самолетного лома 1000×1100×500 мм; для пакетированных отходов 400×500×600 мм (плотность пакета – не ниже 800 кг/м<sup>3</sup>); для моторного лома 600×1100×600 мм (максимальная толщина стенки 50 мм).

Отходы алюминиевых сплавов гидравлическим грейфером 1 (рис. 9.23) подают в загрузочное устройство 2. Под действием гравитационных сил отходы скользят по днищу к приводным валкам, которые установлены на нижнем конце тетки перед загрузочным отверстием дробилки 3. Валки захватывают сырье, сминают его и с контролируемой скоростью подают в дробилку.

Для обеспечения равномерной нагрузки электродвигателя дробилки предусмотрено автоматическое и ручное включение приводов валков. Если собственной массы верхнего валка недостаточно для сжатия сырья, оператор увеличивает усилие с помощью двух гидравлических цилиндров.

В молотковой дробилке отходы ударяются об отбойный брус и разрушаются частыми ударами молотков. Дробленый продукт разгружается на вибрационный конвейер через нижнюю под ротором и верхнюю над ротором решетки грохота 4. Из дробленой смеси воздушным потоком от вентилятора 8 удаляется легкая фракция, которая предварительно очищается в циклоне 6 и фильтре 7. Легкая фракция содержит пыль, бумагу, текстиль и пластмассу. Тяжелая фракция разделяется с помощью магнитных сепараторов 5 на магнитные и немагнитные продукты.

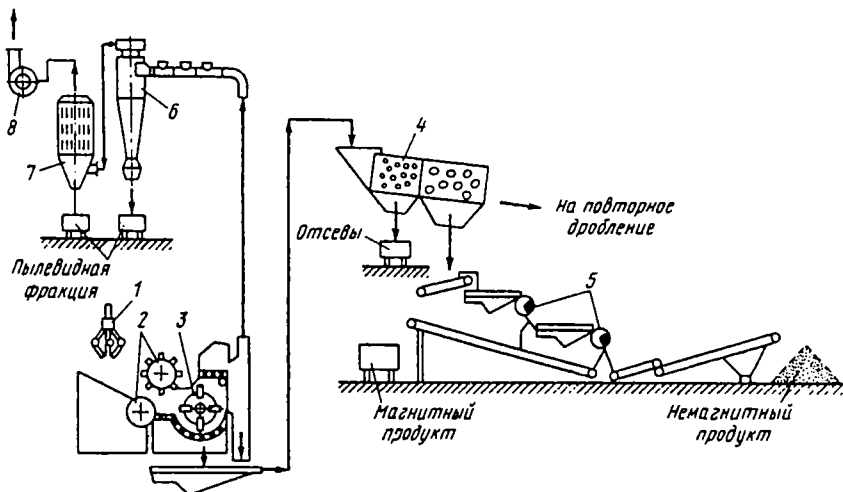


Рис. 9.23. Линия переработки отходов деформируемых и литейных сплавов

**Переработка лома радиаторов.** Применяемые в настоящее время типы и конструкции радиаторов можно разделить на четыре группы по видам основных конструкционных материалов: медные, алюминиевые, стальные и комбинированные.

Лом радиаторов подвергают разделке для отделения стальных деталей от цветных металлов ручным, механическим или огневым способами. Радиаторы разделяют ручным способом с помощью инструментов, отделяя железный кожух от корпуса радиатора, затем отделяют патрубки и мелкие железные детали от бачков. Отделенные куски с остатками латуни и припоя сортируют с предварительной визуальной оценкой остатков цветных металлов на кусках железа на две группы: низкокачественные отходы лома меди; лом черных металлов с видимыми незначительными остатками припоя, латуни или без них. Время разделки одного радиатора составляет 3 – 4 мин, выработка на одного работающего 1,8 – 2,3 т в смену.

Иногда стальной кожух отделяют аллигаторными ножницами. Производительность этого способа разделки по сравнению с ручным ниже, так как отделение железных деталей при этом способе также ведется вручную и затраты времени на эту операцию остаются такими же, как при ручном способе. Использование же аллигаторных ножниц связано с дополнительными внутрицеховыми перевозками, увеличением себестоимости передела и повышенным переходом продукции в низкокачественную группу.

При огневой резке лом радиаторов разделяют следующим образом. Места крепления кожуха к остову прогревают пламенем резака. Припой плавится и стекает с радиатора. Последовательно прогревая все места пайки, радиатор освобождают от кожуха. На кожухе остается незначительное количество наплывов припоя. Так же отделяются остальные детали из черных металлов.

Радиаторы, у которых кожух крепится с помощью болтов, разделяют путем срезания всех болтов. На месте разделки сортируют полученные продукты. Железные детали, освобожденные от припоя, направляют предприятиям, перерабатывающим вторичные черные металлы. Латунный корпус радиатора поступает на пакетирование. Железные детали с каплями и наплывами припоя, остатками латуни накапливают и отгружают как низкокачественный лом в зависимости от содержания меди. Сердцевину и бабки подвергают пакетированию. Припой, который стекает при оплавлении на площадку, накапливают и переплавляют в слитки, которые реализуют как оловянносвинцовые сплавы в зависимости от содержания олова, сурьмы, свинца, кобальта, никеля.

Общие потери цветных металлов при этом способе разделки радиаторов составляют немного более 4% и представлены потерями с ломом черных металлов, угаром при резке и потерями при переплавке припоя.

Огневая резка радиаторного лома сопровождается значительными выделениями вредных веществ. Запыленность воздуха, удаляемого от места разделки, составляет в среднем  $87 \text{ мг/м}^3$ . В пыли содержатся свинец, олово, цинк, медь, т. е. металлы, концентрация которых в воздухе рабочей зоны и в атмосфере населенных пунктов лимитируется санитарными нормами. Поэтому участок, где выполняются эти работы, должен быть обеспечен приточно-вытяжной вентиляцией, а аспирационные газы должны перед выбросом в атмосферу подвергаться очистке.

На металлургических заводах разделанный радиаторный лом в пакетированном виде подвергают металлургическому переделу для выпуска оловянных бронз в чушках. Часть неразделанного лома радиаторов в пакетированном виде используют для производства подготовительных сплавов.

Процесс подготовки радиаторного лома малопроизводителен и требует большого числа разделщиков. Поэтому разработана технология механизированной подготовки лома радиаторов к металлургическому переделу, которая включает следующие операции: дробление, грохочение, магнитную сепарацию и пылеулавливание. Широкого применения эта технология пока не нашла.

**Переработка лома аккумуляторов.** Переработка отработанных аккумуляторов является основной статьей получения свинца из свинцосодержащего лома и отходов. Основными операциями при подготовке лома аккумуляторов к металлургическому переделу являются дробление, классификация и сепарация. При этом различают следующие способы сепарации: сухие, гидравлические и с использованием тяжелых сред.

Переработка аккумуляторов с применением гидравлических способов сепарации по технологическим операциям аналогична сухим методам. Отличие состоит в замене процесса воздушной сепарации на гидравлическую. В качестве тяжелой среды применяют смеси, искусственно создаваемые или образующиеся в процессе работы установки.

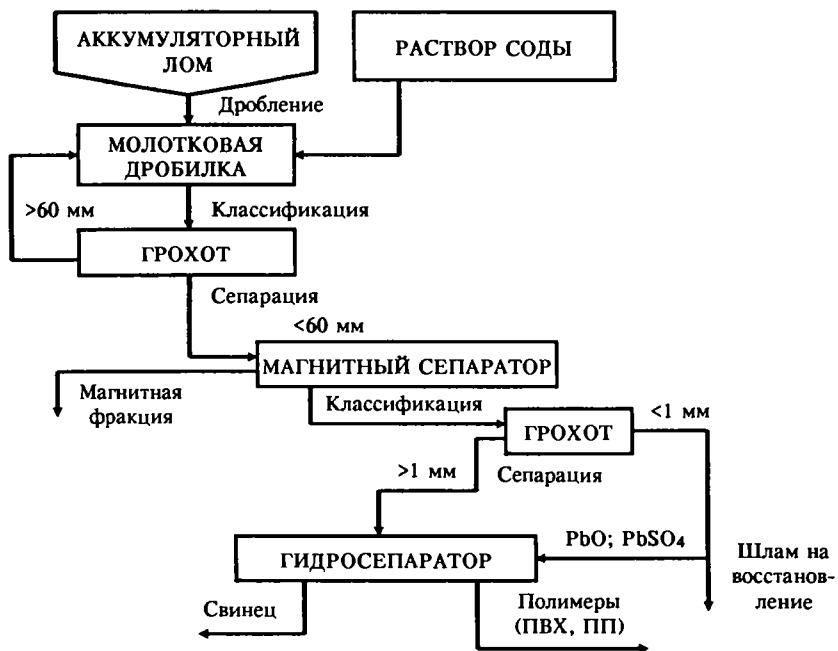


Рис. 9.24. Технологическая схема переработки аккумуляторного лома

Технологическая схема переработки аккумуляторного лома приведена на рис. 9.24. Исходное сырье – лом аккумуляторов – из бункера поступает в молотковую дробилку, в которую подается раствор соды для нейтрализации остатков кислоты. Дробленый материал подвергают контрольной классификации на грохоте с ячейкой 60 мм. Надрешетный продукт возвращается на дробление, под-

решетный проходит магнитную сепарацию и направляется для обесшламливания. Более целесообразно дробление аккумуляторов осуществлять в две стадии: первичное дробление – на зубчатой одно- или двухвалковой дробилке, а вторичное измельчение – в молотковой дробилке. Измельченный аккумуляторный лом обесшламливают на грохоте с ситами, имеющими размер ячеек 4 и 1 мм. Шламовый продукт класса крупности –1 мм поступает на сгущение и обезвоживание, классы крупности –4+1 и +4 мм подвергают гидросепарации с получением в качестве конечных продуктов металлического свинца и органических материалов. Готовые продукты отмывают на грохотах для удаления остаточных шламовых продуктов.

Схемы тяжелосредной сепарации при разделке аккумуляторного лома получили распространение в зарубежной практике. Различают два способа деления: в искусственных и самообразующихся суспензиях.

Более совершенной технологией с применением сепарации в тяжелых средах являются схемы деления в образующихся суспензиях, в которых как утяжелитель используется тонкодисперсный оксидно-сульфатный свинец, выделяющийся из перерабатываемых аккумуляторов. Технология позволяет извлекать до 99,4% свинца, содержащегося в ломе.

Другой способ утилизации отработанных аккумуляторов заключается в механизированной разделке и сепарации аккумуляторного лома, плавке и рафинировании черного свинца. При разделке амортизированных аккумуляторов получают пять фракций: металлическую, оксидно-сульфатную, полипропиленовую, поливинилхлоридную и эбонитовую.

Плавка свинца проводится в электротермической печи без образования штейна и с получением незначительных количеств шлака (не более 5%), объем которого зависит главным образом от качества разделки аккумуляторного лома. Безвозвратные потери свинца при таком переплаве не превышают 1,5%, а потребление электроэнергии на плавку – менее 520 кВт·ч на тонну выплавленного свинца.

Выплавка свинца в электропечах позволяет снизить выбросы в атмосферу пыли и токсичного сернистого ангидрида в 3 – 5 раз, сократить объемы образования шлаков и расход кокса в несколько раз.

Эбонитовая фракция как кокс участвует в процессе восстановления металла, а пластиковые фракции (полипропилен и поливинилхлорид) утилизируются известными способами путем дробления и гранулирования.



**Комплексная линия переработки отходов металлов** (рис. 9.25). Эта линия включает следующие технологические операции: классификацию по крупности и видам исходного сырья, фрагментирование (резка на части), дробление с удалением недробимых предметов, аспирацию продуктов дробления с системой пылеулавливания, магнитную сепарацию в слабом магнитном поле, грохочение, магнитную сепарацию в сильном магнитном поле и электродинамическую сепарацию продуктов дробления. Классификация предназначена для предварительной рассортировки лома и отходов по крупности и видам сырья с помощью погрузочно-разгрузочных средств. При этом лом классифицируют на литейный (по внешнему виду изделий), габаритный (по размерам), деформируемый (по габаритным размерам и светлой окраске металла) и бытовой.

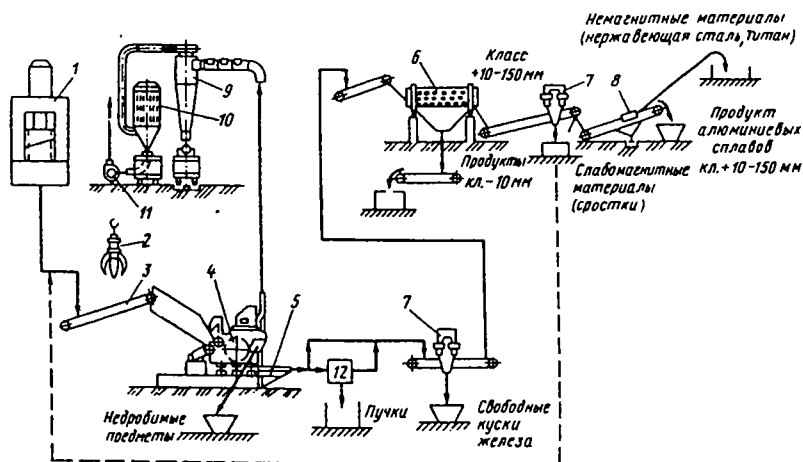


Рис. 9.25. Комплексная линия переработки отходов алюминиевых сплавов:

- 1 – фрагментатор; 2 – грейфер; 3 – конвейер; 4 – дробилка; 5 – питатель; 6 – грохот; 7 – магнитные сепараторы; 8 – ЭД-сепаратор; 9 – циклон; 10 – фильтр; 11 – вентилятор; 12 – устройство для удаления пучков

В процессе дробления алюминиевого лома получают смесь кусков из цветного и черного металлов и неметаллических материалов крупностью до 150 мм.

При попадании в дробилку недробимых предметов автоматически включается привод заслонки поворотного устройства и открывается окно (ловушка) для удаления материалов из дробилки в специальный короб. При появлении в продуктах дробления пучков из проволоки включается специальное устройство для их удаления из общей массы дробленого продукта.

Из дробленого продукта мощным воздушным потоком системы пылеулавливания удаляются мелкие неметаллические фракции (пыль, бумага, текстиль и т. п.).

Магнитная сепарация в слабом магнитном поле предназначена для удаления из дробленой смеси кусков черного металла класса +10 – 150 мм. Немагнитный продукт подвергается грохочению в барабанном грохоте. Надрешетный продукт подвергают сначала магнитной сепарации в сильном поле для удаления из смеси сростков ферромагнитных включений класса +10 – 150 мм, а затем электродинамической сепарации для выделения из концентрата неметаллических материалов, нержавеющей стали, титана и медных сплавов. Продукты дробления вибрационным питателем и ленточным конвейером подают в барабанный грохот, для классификации по крупности.

# Глава 10. УТИЛИЗАЦИЯ ШЛАКОВ, ЗОЛЫ, ОГНЕУПОРОВ И ГОРЕЛОЙ ЗЕМЛИ

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.

## 10.1. 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. На предприятиях черной металлургии России ежегодно образуется около 79 млн. т шлаков, а общее количество металлургических шлаков, накопленных в отвалах, достигает 500 млн. т. Поскольку площади, отводимые для захоронения отходов, ограничены, утилизация такого количества отходов представляет важную и очень перспективную с точки зрения экономики задачу.

Шлак представляет собой отвердевшее камневидное или стекловидное вещество, образующееся при выплавке металлов или сжигании 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*  $M_0$ . Величину  $M_k = 1/M_0$  называют *степенью кислотности*. При  $M_0 < 1$  шлаки кислые, а при  $M_0 > 1$  — 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. Они содержат, %: 35 – 47 оксида кремния, 9 – 16 оксида алюминия, 30 – 50 оксида кальция, 2 – 14 оксида магния, до 3 оксида марганца и до 0,7 оксида железа. Шлаки цветной металлургии помимо этих веществ содержат оксиды меди, кобальта, никеля, цинка, свинца, кадмия и редких металлов.

В промышленности накоплен большой опыт использования шлаков. Направления утилизации шлаков черной металлургии представлены на рис. 10.1.

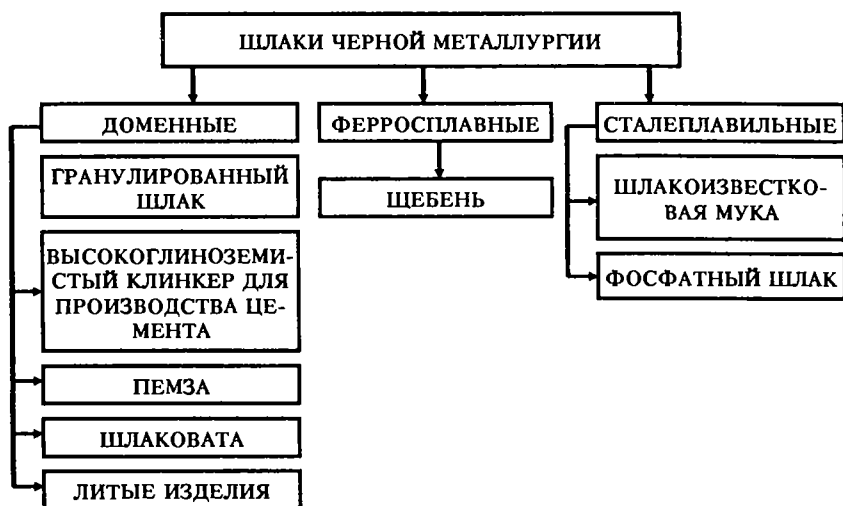


Рис. 10.1. Основные направления использования шлаков черной металлургии

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.

## 10.2. 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 ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ).

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. Установки потребляют большое количество воды, которая после использования нуждается в очистке.

В технологическом процессе в результате контакта воды с расплавленным шлаком образуется большое количество паро-газовой смеси, оказывающей неблагоприятное влияние на окружающую среду.

При бассейновом способе гранулирования шлака на качество гранул влияют режим охлаждения расплава, объем и температура воды в бассейне и даже погодные условия.

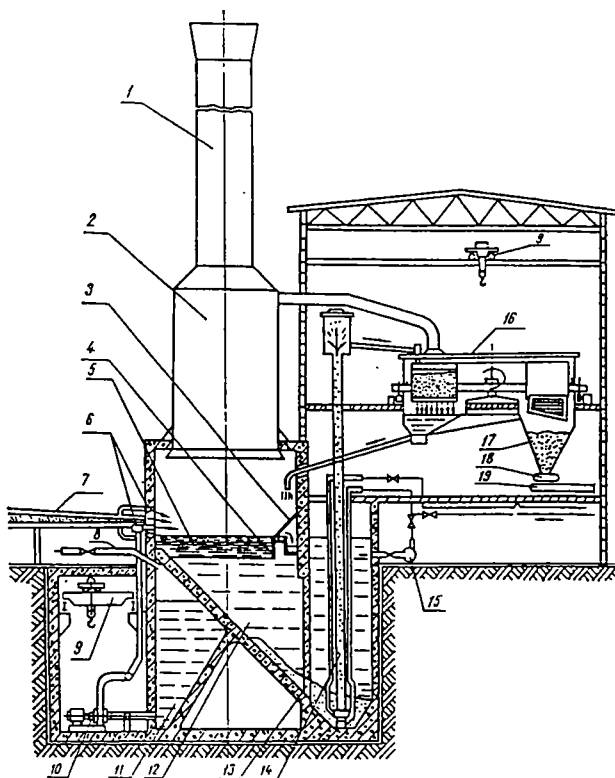


Рис. 10.2. Схема припечной гранулирующей установки шлака:

1 – вытяжная труба; 2 – скруббер; 3 – защитный экран; 4 – скиммерная доска; 5 – решетка; 6 – гранулятор; 7 – шлаковый желоб; 8 – водовод подпиточной воды; 9 – мостовой кран; 10 – насос; 11 – камера оборотной воды; 12 – бункер-отстойник; 13 – окно; 14 – эрлифт; 15 – насос подачи воды на взмучивание; 16 – карусельный фильтр; 17 – промежуточный бункер; 18 – питатель; 19 – конвейер

Более прогрессивна припечная бесковшовая технология гранулирования шлака (рис. 10.2). При этом способе жидкий шлак из доменной печи по желобу 7 стекает в гранулятор 6, состоящий из короткого лотка и гидронасадки, где струями воды дробится на частицы. Гранулы поступают в бункер-отстойник 12, откуда насосами (эрлифтом 14) перекачиваются в обезвоживатели. Обезвоживание осуществляется в специальных бункерах, оборудованных

фильтрующими решетками 5, или в карусельных фильтрах 16, снабженных коробками с перфорированными откидными крышками. При вращении обезвоживателя каждая коробка проходит стадии заполнения пульпой, фильтрации воды через отверстия в днище и разгрузки обезвоженного шлака в бункер 17. Установка герметична, паро-газовая смесь улавливается, очищается в скруббере 2 и удаляется в вытяжную трубу 1, а вода возвращается для повторного использования.

Технологические параметры процесса припечной грануляции шлака приведены ниже:

|   |             |
|---|-------------|
| Температура шлака, °С . . . . .                   | 1480 – 1620 |
| Расход, т/мин:                                    |             |
| шлака . . . . .                                   | 8 – 13      |
| воды . . . . .                                    | 30 – 60     |
| Давление воды, МПа . . . . .                      | 0,3 – 0,4   |
| Влажность гранул, % . . . . .                     | 12 – 17     |
| Насыпная масса гранул, т/м <sup>3</sup> . . . . . | 0,9 – 1,2   |

Описанные способы грануляции шлака создают ряд экологических проблем в связи с содержанием в газовых выбросах токсичных газов и пыли, а в оборотной воде – извести, тиосульфатов и аммиака. Сброс такой воды в водоемы недопустим. Поэтому все установки гранулирования шлаков должны иметь в своем составе системы очистки воды и газов, что, естественно, удорожает стоимость готовой продукции.

В этом смысле более экологически чистой является контактная технология грануляции шлака (рис. 10.3). По этой технологии расплавленный шлак из шлакоприемника 1 по летке 2 перетекает в ванну 3, где налипает на барабан 4, наружная поверхность которого выполнена из змеевика 5, охлаждаемого водой. В зависимости от скорости вращения барабана толщина корки налипшего шлака составляет 2 – 15 мм. Шлак в ванне поддерживается в расплавленном состоянии за счет подогрева нагревателем 6, а налипшая отвержденная корка срезается шлакоснимателем 7, и полученные гранулы сбрасываются в бункер. Вода в змеевике превращается в пар, тепло которого может быть утилизировано.

Одним из способов утилизации шлаков является производство шлакобетона – легкого бетона, в котором в качестве облегченного заполнителя исполь-

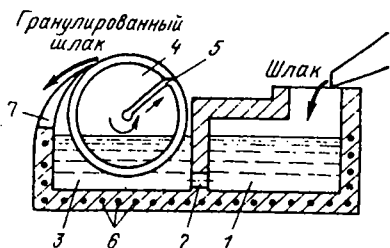


Рис. 10.3. Схема контактной грануляции шлака

зован 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.

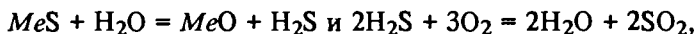
Объемная плотность шлакобетона составляет 1400 – 1600 кг/м<sup>3</sup>, прочность при сжатии – до 10 МПа. Его используют в строительстве для изготовления легких перекрытий, строительных блоков и камня, используемых для кладки стен.

*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. Химическая реакция протекает в два этапа:



где  $Me$  – Ca, Mg, Mn, Fe.

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. Пористость шлака определяется по формуле:



$$V_{\text{п}} = (1 - \rho_{\text{к}}/\rho_{\text{ш}})100, \quad (10.1)$$

где  $V_{\text{п}}$  — пористость шлака, %;  $\rho_{\text{к}}$  — плотность пемзы в куске, г/см<sup>3</sup>;  $\rho_{\text{ш}}$  — плотность исходного шлака в куске, см<sup>3</sup>.

Зависимость между плотностью пемзы в куске и насыпной плотностью выражается уравнением:

$$\rho_{\text{к}} = K/\rho_{\text{н}}, \quad (10.2)$$

где  $K$  — коэффициент, обычно составляющий 1,6 — 2,5;  $\rho_{\text{н}}$  — насыпная плотность пемзы.

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 продолжаютс 6 — 8 мин.

Расход воды составляет 0,2 — 0,4 м<sup>3</sup>/т шлака. 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.

Более прогрессивным является барабанный припечной способ получения пемзы (рис. 10.4).

Шлак из ковша 1 сливается по наклонному желобу 2 в приемную ванну 3, где предварительно вспучивается под действием струй воды, выходящей из гидронасадки под давлением до 0,8 МПа. Затем вспучившаяся пластичная масса по направляющему лотку 5 подается на лопастной барабан 6, на наружной поверхности которого имеются перфорированные полые ребра. Вода, подаваемая внутрь барабана, за счет его вращения отбрасывается на цилиндрическую поверхность и через отверстия в ребрах разбивает шлак на гранулы. Получаемая гранулированная пемза имеет размеры 8 — 16 мм и насыпную плотность 650 — 850 кг/м<sup>3</sup>.

Несмотря на более высокий расход воды по сравнению с бассейновым способом, эта технология более экологична и эффективна, так как этот способ отличается небольшим выделением сернистых газов благодаря сравнительно короткому контакту горячих шлаков с водой.

*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.

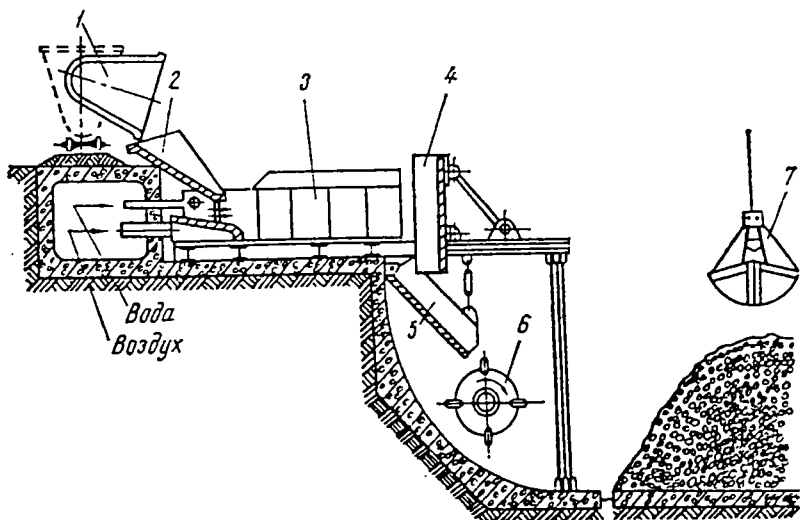


Рис. 10.4. Технологическая схема получения пемзы с применением лопастного барабана:

- 1 — ковш со шлаком; 2 — наклонный желоб; 3 — приемная ванна; 4 — экран;  
5 — направляющий лоток; 6 — лопастной барабан; 7 — грейферный кран

Требования, предъявляемые к щебню, определяются областями его применения. Одним из важных показателей является морозостойкость щебня, за которую принимается количество циклов заморозания 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 ( $M_{з.р}$ ), равное номеру марки. Для производства бетонов используют щебень с  $M_{з.р} = 300$ . 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. Технологическая схема производства щебня из доменного шлака показана на рис. 10.5.

Оптимальная толщина слоя шлака при сливе его в траншею составляет 100 – 200 мм. Обычно площадь траншей составляет на отечественных металлургических заводах 3 – 10 тыс. м<sup>2</sup>.

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 вы-

возится на дробление. Толщина слоя остывшего шлака составляет 4 – 5 м (высота реза экскаватора).

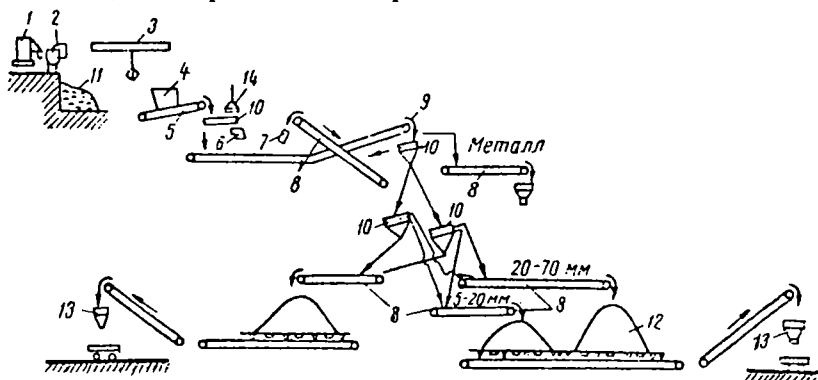


Рис. 10.5. Технологическая схема производства щебня из доменного шлака:

1 – самоходный копер; 2 – шлаковозный ковш; 3 – грейферный кран; 4 – приемный бункер; 5 – пластинчатый питатель; 6 – щековая дробилка; 7 – роторная дробилка; 8 – ленточный конвейер; 9 – электромагнитный шкив; 10 – грохот; 11 – промежуточный склад; 12 – склад готовой продукции; 13 – погрузочный бункер; 14 – подвесной электромагнит

Для дробления шлака используют щековые, конусные, валковые, роторные и другие дробилки. Наиболее широко применяются щековые дробилки производительностью 300 – 400 кг/ч. Степень дробления определяется отношением максимального размера куска до и после дробления, а эффективность дробления – массой дробленого шлака на единицу мощности дробилки (кг/кВт).

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 переplava, который требу-

ет дополнительного расхода энергии. Схема производства минеральной ваты из расплава шлака показана на рис. 10.6.

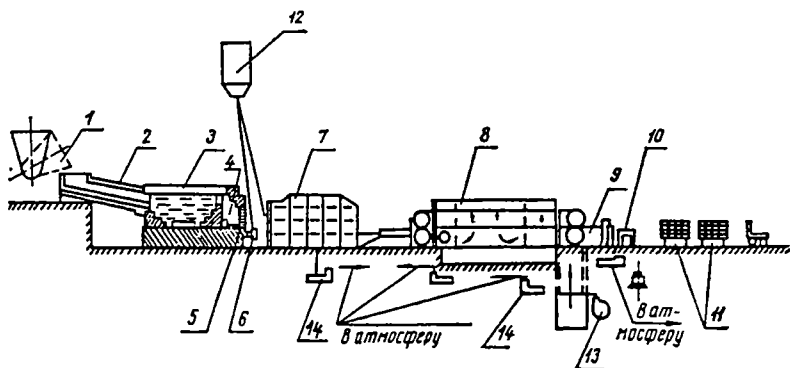


Рис. 10.6. Схема производства минеральной ваты:

1 - шлаковоз; 2 - сливной желоб; 3 - ванна-печь; 4 - печь-питатель; 5 - летка; 6 - центрифуга; 7 - камера волокноосаждения; 8 - камера полимеризации; 9 - камера охлаждения; 10 - ножи поперечной и продольной резки; 11 - поддоны для упаковок; 12 - емкость для полимерного связующего; 13 - эксгаустер подачи теплоносителя; 14 - вентилятор

Расплавленный шлак из ковша 1 по сливному желобу 2 стекает в ванну-печь 3, где подогревается до  $1400 - 1450\text{ }^{\circ}\text{C}$ , перетекает в печь-питатель 4 и через летку 5 подается в центрифугу 6 для распыления и перемешивания со связующим, поступающим из емкости 12. Далее в камере 7 происходит образование сырого минераловатного ковра, который подается в камеру полимеризации 8 и далее на охлаждение в камеру 9. Высушенное и охлажденное полотно нарезается на необходимые габариты с помощью ножей 10. Полученные минераловатные плиты укладываются на поддоны 11.

В зависимости от свойств шлака в печь 3 могут добавляться подкисляющие добавки для достижения необходимого соотношения кремнезема и глинозема с оксидами кальция и магния, которое должно составлять  $1,2 - 1,5$  (степень кислотности). В качестве добавок используют бой стекла, базальт, горелую землю и др.

Образование волокон происходит за счет воздействия центробежных сил на струю расплава шлака. Наибольшая скорость распыления струи достигается при одновременном действии центробежных сил и потока перегретого до  $400\text{ }^{\circ}\text{C}$  пара при его расходе  $1,2 - 1,4$  т/т ваты.

В камере волокноосаждения, представляющей собой закрытый металлический короб, волокна осаждаются на сетчатый транспортер и уплотняются с помощью прижимного барабана для придания полотну равномерной толщины и плотности.

В качестве связующего используется термореактивная фенол-формальдегидная смола, которая полимеризуется при  $160 - 200\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Эта смола является токсичным продуктом вследствие содержания в ней свободного фенола, поэтому целесообразна замена ее другими материалами.

Промышленность выпускает плиты с различными плотностью укладки волокна и содержанием фенолформальдегидной смолы (табл. 10.1).

Таблица 10.1

Характеристики минераловатных плит различных типов

| Тип плиты   | Плотность $\rho$ , кг/м <sup>3</sup> | Расход смолы, кг/м <sup>3</sup> | Продолжительность полимеризации $\tau_p$ , мин |
|-------------|--------------------------------------|---------------------------------|--|
| Мягкая      | 75                                   | 7 – 9                           | 7 – 9  |
| Полужесткая | 125                                  | 9 – 11                          | 9 – 12   |
| Жесткая     | 150                                  | 11 – 13                         | 12 – 15  |

Помимо изготовления из шлаков упомянутых материалов их используют в качестве наполнителя при производстве стеновых панелей для малоэтажного строительства, промышленных конструкций и плит дорожного покрытия. Технологическая схема цеха переработки 150 тыс. м<sup>3</sup>/год шлаков, боя кирпича, других минеральных отходов с получением строительных деталей приведена на рис. 10.7. Типовой проект, основанный на модульной конструкции размером 30×62×12,5, собираемой в течение 7 – 10 дней, обеспечивает производство таких деталей в количестве 50 тыс. т/год. Оборудование, включая классификаторы, дробилки, мельницы и т. д., монтируется на рамных конструкциях.

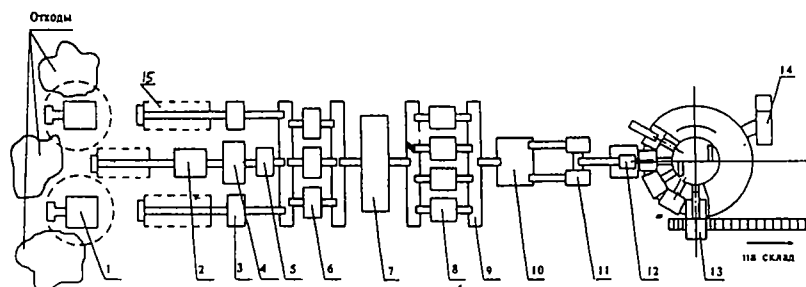


Рис. 10.7. Технологическая схема производства строительных деталей из шлаков: 1 – экскаватор; 2 – дробилка молотковая; 3 – мельница с сепаратором; 4 – мельница; 5 – сепаратор магнитный; 6 – весы; 7 – смеситель лопастной; 8 – барабан сушильный; 9 – транспортеры; 10 – накопитель; 11 – шнековый питатель; 12 – дозатор весовой; 13 – роторная линия; 14 – установка для очистки газа; 15 – паровая сушилка

*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.

Перечисленные свойства шлакоситаллов определяют области их применения: из них делают листовые панели и трубы для различного химического оборудования, электроизоляторы, электровакuumные и оптические приборы, подшипники и фильтры, мелющие тела и т. д.

*Особенности переработки сталеплавильных и ферросплавных шлаков.* Переработка сталеплавильных и ферросплавных шлаков имеет некоторые особенности по сравнению с переработкой доменных шлаков, что связано со значительным содержанием в них металла как в свободном виде, так и в виде сплавов.

Основными видами продукции, получаемой из ферросплавных шлаков, являются щебень, песок, клинкер, гранулированный шлак и металлический сплав, содержание которого в исходном шлаке достигает 2%.

Использование металла, содержащегося в шлаке, очень эффективно, так как он на 30 – 40% дешевле металлического лома.

Ежегодно около 2 млн. т металла в виде шлакового скрапа возвращается в переплав.

Способы извлечения стали из жидких шлаков пока не разработаны из-за опасности взрыва при контакте жидкого металла, содержащегося в шлаке, с водой. Поэтому металл извлекается из шлака после его отверждения и многократного дробления и сепарации. Первичная переработка проводится в шлаковых отделениях, а вторичная – в дробильно-сортировочных установках. При первичной переработке из шлака извлекается крупный стальной скрап. Содержание шлака в нем составляет 5 – 7%, поэтому после разделки на более мелкие куски он не нуждается в очистке и сразу поступает на переплав. При первичной обработке с помощью магнитов из шлака извлекается до 65% содержащегося в нем металла. Остальной металл сильно зашлакован, он может быть отделен только после дополнительного измельчения шлака и использован в качестве добавки к шихте.

Дробление шлака осуществляется на щековых дробилках, сортировка – в грохотах, транспортировка – ленточными конвейерами. Перед каждой стадией дробления и после нее металл отбирается подвесными магнитными сепараторами.

Переработка шлаков может осуществляться на дооборудованных магнитными сепараторами мобильных дробильно-сортировочных установках, используемых в горных работах.

*Особенности утилизации шлаков цветной металлургии.* Металлургические шлаки, образующиеся при выплавке цветных металлов, отличаются по химическому составу и свойствам. Объем их образования в десятки раз превышает объем образования шлаков при производстве такого же количества чугуна. Так, если при выплавке 1 т чугуна образуется до 1 т шлака, то при выплавке 1 т меди и никеля образуется до 30 и до 150 т шлака на 1 т металла соответственно.

Ежегодно в цветной металлургии образуется до 10 млн. т шлаков, уровень использования которых не превышает 15%. В значительной мере это объясняется тем, что в шлаках цветной металлургии содержится ценное металлургическое сырье и переработка их на строительные материалы менее эффективна, чем потенциальное его извлечение. Поскольку рациональная технология извлечения ценных металлов из этих шлаков пока не создана, значительная их часть временно сбрасывается в отвал на хранение. Это относится, в частности, к шлакам свинцового и медного производств, которые частично используются для изготовления медистого чугуна и медноцинкового сплава.

В шлаках медной промышленности содержится 0,3 – 1,1% меди, около 5% цинка, свинец, золото, серебро и другие ценные металлы.

Для переработки шлаков цветной металлургии в строительные материалы необходимо вначале извлечь из них цветные и редкие металлы, т.е. переработка шлаков цветной металлургии должна быть комплексной и производиться в три стадии:

- \* извлечение цветных металлов;
- \* извлечение железа;
- \* использование силикатного остатка для производства строительных материалов.

Шлаки медной промышленности, содержащие менее 0,3% меди, считаются отвальными. Все остальные шлаки идут на дополнительную переработку с целью извлечения меди и других цветных металлов.

Конвертерные шлаки на всех никелевых заводах подлежат дополнительному обеднению, после чего используются для строительных целей.

Значительное обеднение шлаков кислородно-факельной плавки по меди достигается использованием в качестве восстановителя алюминийсодержащих отсеков из алюминиевых литейных шлаков и пиритного концентрата. Переработка шлаков осуществляется в электропечах, в которые заливается жидкий шлак и загружается углеродистый восстановитель в количестве 6 – 8% от массы шлака, кварцевый флюс и медноникелевая руда.

Шлаки свинцовоцинкового производства также дополнительно перерабатываются.

Восстановление цинксодержащих шлаков позволяет доизвлекать тяжелые цветные металлы. В результате вельцевания (окислительно-восстановительного процесса) шлаков свинцовой плавки доизвлекают цинк и свинец. Отвальный клинкер можно использовать как сырье для производства стройматериалов.

Температура в разгрузочной части вельц-печи поддерживается в интервале 1150 – 1250°C, на выходе газов из печи 580 – 650°C. При этом процессе возгоняются в виде оксидов цинк до 95% и свинец до 92%. Клинкер, составляющий 75 – 85% от массы шлака, измельчается и подвергается магнитной сепарации в несколько стадий. Магнитный концентрат используют в свинцовом производстве, а немагнитную составляющую – для получения строительных материалов и асфальтобетонов.

Пирометаллургические способы извлечения цветных металлов из шлаков основаны на восстановлении оксидов углем, коксом, карбидом кальция, чугуном, природным газом и другими материалами. При этом расходуется значительное количество энергоресурсов, а аппаратное оформление процесса сложно и дорого, в результате чего эти способы не всегда эффективны.

По теплофизическим и прочностным свойствам, износостойкости, кислотостойкости шлаки цветной металлургии значительно



превосходят доменные шлаки. Из них получают те же строительные материалы (песок, щебень, цемент), что и из доменных шлаков.

### 10.3. Утилизация золы и топливных шлаков

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

|                          |            |
|--------------------------|------------|
| Буроуголь . . . . .      | 10 – 15    |
| Каменного угля . . . . . | 3 – 40     |
| Антрацита . . . . .      | 2 – 30     |
| Торфа . . . . .          | 2 – 30     |
| Дров . . . . .           | 0,5 – 1,5  |
| Мазута . . . . .         | 0,15 – 0,2 |
| Сланцев . . . . .        | 50 – 80    |

Использование отходов теплостанций (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.

По заключению ряда специализированных организаций (Московского НИИ им. Ф. Ф. Эрисмана, Санкт-Петербургского Института токсикологии и др.), проводивших в 1996 – 1998 гг. исследования на животных, золошлаковые отходы являются нетоксичными. Это открывает более широкие перспективы для их экономически выгодного и экологически безопасного использования в промышленном, гражданском и дорожном строительстве.

Принятая в 1994 г. Федеральная программа по переработке золошлаковых отходов ТЭС предусматривает строительство в различных регионах предприятий по переработке их в стройматериалы с последующей рекультивацией земель.

Известны более 100 технологий производства бетона с использованием золошлаковых отходов. Так же как и шлаки металлургического производства, топливные шлаки можно использовать для производства керамзита и шлакоблоков. Имеется опыт применения золошлаковых отходов в сельском хозяйстве для раскисления и удобрения почв.

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.

Количественное соотношение между золой-уносом и шлаком зависит от сорта топлива и конструкции топки. Для одного и того же топлива из минеральной части в шлак переходит: в топках с твердым шлакоудалением 10 – 20%, в топках с жидким шлакоудалением 20 – 40%, в циклонных топках – до 85 – 90%.

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, имеющим формулу  $n\text{Na}_2\text{O} \cdot m\text{SiO}_2 \cdot k\text{Al}_2\text{O}_3$ . 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. Емкость золы как адсорбента составляет, мг/г: 3 – 10 по меди, 2 – 5 по цинку, 4 – 6,5 по свинцу. Степень очистки сточных вод определяется количеством использованной для этих целей золы и кислотностью раствора (табл. 10.2).

Таблица 10.2

Изменение содержания ионов тяжелых металлов в растворе  
в зависимости от количества введенной золы

| Количество золы, г/л | рН   | Содержание ионов, мг/л |        |       |         |
|----------------------|------|------------------------|--------|-------|---------|
|                      |      | меди                   | свинца | цинка | мышьяка |
| 0                    | 6,5  | 0,25                   | 6,6    | 0,47  | 0,18    |
| 0,5                  | 7,0  | 0,20                   | 0,6    | 0,35  | 0,10    |
| 1,0                  | 10,4 | 0,10                   | 0,6    | 0,28  | 0,06    |
| 2,0                  | 10,8 | 0,05                   | 0,2    | 0,25  | 0,06    |
| 3,0                  | 10,9 | < 0,01                 | 0,01   | –     | –       |

Из приведенных данных видно, что при содержании золы 3,0 г/л раствора (или сточной воды) очищенная вода практически не содержит ионы меди, свинца, цинка и мышьяка.

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. Такой опыт накоплен при строительстве Братской ГЭС, когда была использована зола Иркутской ТЭС-1.

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

На рис. 10.8 приведена схема производства фосфат-шлакового удобрения из остеклованного кускового шлака размером 150 – 200 мм.

Первичное дробление производится в шаровой мельнице с периферийной разгрузкой. Фракция размером 25 мм сепарируется и тарельчатым питателем подается в мельницу тонкого помола, работающую в замкнутом цикле с воздушным сепаратором. Мелкие

частицы (до 2 мм) попадают в циклон, из которого ковшовым элеватором подаются в силосный склад, а оттуда – в бункер упаковочных машин. Вся линия подключена к обеспыливающим фильтрам и работает под небольшим вакуумом.

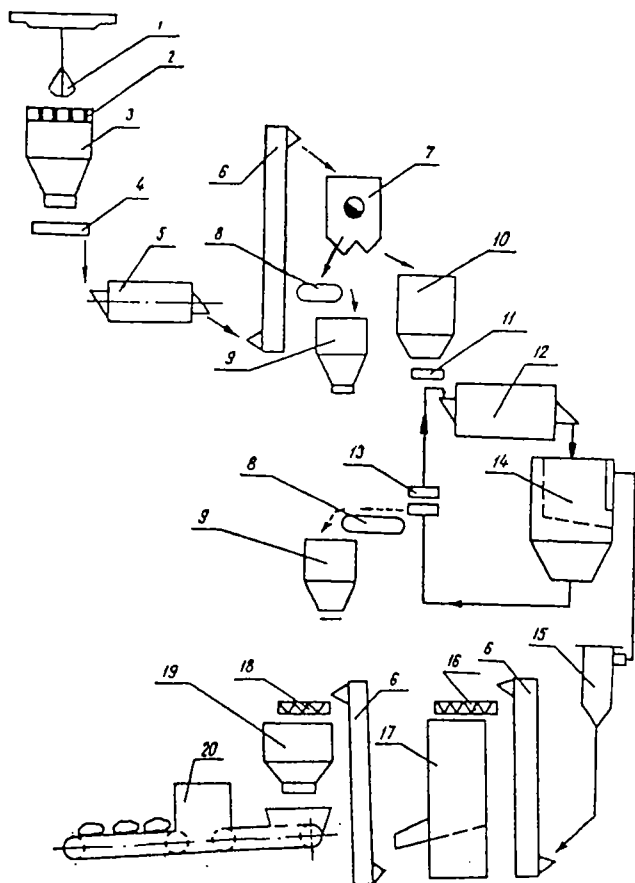


Рис. 10.8. Технологическая схема производства фосфат-шлакового удобрения:

1 - грейферный кран; 2 - приемная решетка; 3 - приемный бункер; 4 - каретковый питатель; 5 - шаровая мельница грубого помола; 6 - элеватор; 7 - магнитный сепаратор; 8 - ленточный конвейер; 9 - бункер металла; 10 - загрузочный бункер; 11 - тарельчатый питатель; 12 - шаровая мельница тонкого помола; 13 - магнитный сепаратор; 14 - воздушный сепаратор; 15 - циклон; 16 - шнек; 17 - силос; 18 - просеивающий шнек; 19 - промежуточный бункер; 20 - упаковочная машина

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.

Однако объемы утилизации золы и топливных шлаков в России пока незначительны. В отличие от передовых стран, где объемы использования топливных минеральных отходов достигают 62% во Франции и 76% в Германии, в России в 1998 г. было утилизировано менее 5% образовавшихся золошлаковых отходов ТЭС: из 40 млн. т утилизировано только 1,9 млн. т.

#### 10.4. 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 разлива стали, и прежде всего в сталеразливочных ковшах, которые футеруются в основном алюмосиликатными огнеупорами. При ремонтах воздухонагревателей доменных и коксовых печей образуется лом муллитокремнеземистых, муллитовых, муллитокорундовых и корундовых изделий.

На предприятиях фарфоро-фаянсовой, электрокерамической, абразивной промышленности образуется лом карбидкремниевых изделий. Химический состав и физические свойства образующегося огнеупорного лома не контролируются.

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.

Начальная стадия сортировки изношенной кладки мартеновских печей происходит непосредственно на рабочих площадках у самих агрегатов, 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, имеющих 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. Общая схема магнитной сепарации огнеупорного магнезиального лома представлена на рис. 10.9.

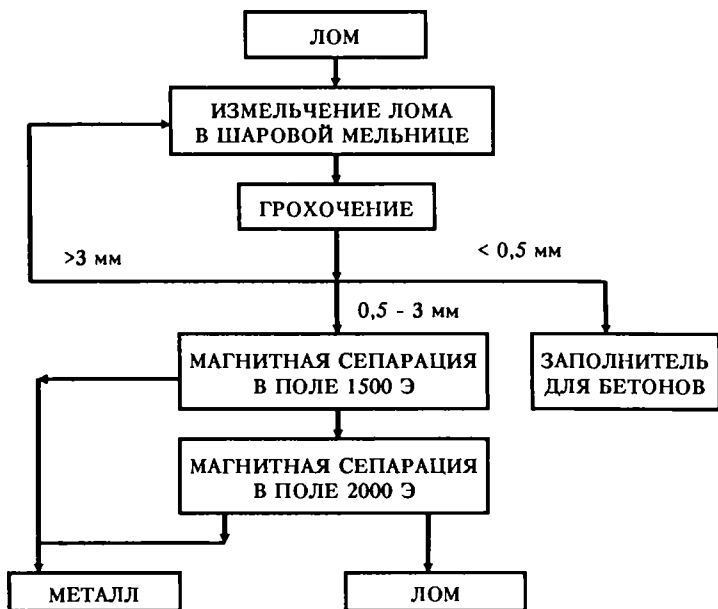


Рис. 10.9. Схема магнитной сепарации магнезиального лома

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 периклазохромитовых и хромитопериклазовых изделий и порошков. Лом динасовых изделий применяют в огнеупорной промышленности при изготовлении бетонных и динасовых 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 и заводах цветной металлургии. 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.

## 10.5. Регенерация горелой земли

В литейном производстве металлургических и машиностроительных предприятий при изготовлении формованных литых металлических деталей используют формовочную землю для изготовления литейных форм и стержней. При этом образуется горелая земля, утилизация которой имеет важное экономическое значение. Формовочная земля состоит на 90 – 95% из высококачественного кварцевого песка и небольших количеств различных добавок: бентонита, молотого угля, едкого натра, жидкого стекла, асбеста и др.

Регенерация горелой земли состоит в удалении пыли, мелких фракций и глины, потерявшей связующие свойства под воздействием расплавленного металла, имеющего высокую температуру. Существуют три способа регенерации горелой земли: мокрый, сухой и электроронный.

При мокром способе регенерации горелая земля поступает в систему последовательных отстойников с проточной водой. При прохождении отстойников песок оседает на дне бассейна, а мелкие фракции уносятся водой. Песок затем просушивается и возвращается в производство для изготовления литейных форм. Вода поступает на фильтрацию и очистку и также возвращается в производство.

Сухой способ регенерации горелой земли состоит из двух последовательных операций: отделения песка от связующих добавок; что достигается продувкой воздуха в барабан с землей, и удаления пыли и мелких частиц путем отсоса их из барабана вместе с воздухом. Выходящий из барабана воздух, содержащий пылевидные частицы, очищается с помощью фильтров.

Электрокоронный метод регенерации основан на пропускании горелой земли через поле коронного разряда напряжением 100 кВ. При этом мелкие частицы отделяются от песка, ионизируются и оседают на осадительных электродах.

Помимо регенерации горелой земли возможно также ее использование при изготовлении кирпичей. С этой целью формующие элементы предварительно разрушаются, и земля пропускается через магнитный сепаратор, где от нее отделяются частицы металла. Очищенная от металлических включений земля полностью заменяет кварцевый песок. Использование горелой земли повышает степень спекания кирпичной массы, так как в ней содержатся жидкие стекло и щелочь.



# Глава 11. ПЕРЕРАБОТКА ОТХОДОВ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Широкое использование полимеров в народном хозяйстве обусловлено в первую очередь комплексом механических свойств самих полимеров и материалов, полученных на их основе.

Утилизация отходов пластмасс вследствие быстрого роста объемов их применения приобрела важное экономическое и экологическое значение. Использование отходов полимерных материалов помогает решить сырьевые проблемы, позволяя сократить потребление первичных материальных ресурсов.

Вторичные полимерные материалы должны играть в промышленности по переработке пластмасс такую же роль, какую играет металлолом в металлургии.

## 11.1. Классификация отходов пластмасс

Отходы термопластичных пластмасс можно классифицировать следующим образом:

- \* технологические отходы производства, образующиеся при синтезе и переработке пластмасс и составляющие от 5 до 35% (масс.). По свойствам они мало отличаются от исходного сырья и могут повторно перерабатываться в смеси с исходным материалом;
- \* отходы производственного потребления, накапливающиеся в результате выхода из строя изделий из полимерных материалов, используемых в различных отраслях экономики. Эти отходы достаточно однородны и также могут быть повторно переработаны в изделия. К ним относятся детали машин, тара, отходы пленочных материалов сельскохозяйственного назначения и др.;
- \* отходы общественного потребления, накапливающиеся на свалках в результате морального или физического износа полимерных деталей или изделий, в которых они использовались (пластмассовая посуда, мебель, детали автомобилей и другой бытовой техники). Хотя они и представляют ценное вторичное сырье, но вследствие перемешивания с другими видами отходов их переработка в изделия затруднена. Доля отходов общественного потребления составляет 50% всех полимерных отходов.

К технологическим отходам относятся остатки исходного сырья, образовавшиеся в процессе производства и частично или полностью утратившие показатели качества. Часть из них (возвратные отходы) – литники, отходы, образующиеся при выходе на

режим, бракованные детали – используются после предварительной подготовки в том же или другом процессе. Технологические отходы, безвозвратно утратившие свои основные свойства, не могут быть переработаны в изделия и подлежат сжиганию либо захоронению.

Сокращению технологических отходов, образующихся при изготовлении деталей из пластмасс, способствуют следующие мероприятия:

1. Правильное распределение имеющейся номенклатуры изделий по оборудованию таким образом, чтобы суммарные отходы были минимальны, учитывая, что потери сырья при переходах с одного изделия на другое на машинах с большой производительностью максимальны.

2. Усовершенствование конструкции оснастки, выбор оптимального формующего инструмента (пресс-форм, дорнов, матриц и т. д.).

3. Оптимизация режимов переработки полимера с целью исключения его термодеструкции и получения бракованных изделий.

4. Уменьшение числа переходов с одного цвета на другой как при изготовлении деталей, так и при переработке отходов.

5. Установка на вентиляционных отсосах дробильных отделений циклонов для улавливания полимерной пыли, образующейся при дроблении отходов.

6. Организация безостановочного цикла работы оборудования.

Для облегчения разделения пластмассовых отходов потребления во многих странах изделия при их производстве маркируют, что позволяет идентифицировать вид полимера, из которого оно изготовлено.

Раздельный сбор отходов потребления пластмассовых деталей с учетом вида полимера (а еще лучше цвета) у нас в стране пока не осуществляется. Поэтому значительная часть отходов пластмасс не перерабатывается.

## 11.2. Способы утилизации и обезвреживания отходов пластмасс

В промышленности применяют следующие основные направления утилизации и ликвидации отходов пластмасс:

- \* переработка отходов в полимерное сырье и повторное его использование для получения изделий;
- \* сжигание вместе с бытовыми отходами;
- \* пиролиз и получение жидкого и газообразного топлива;
- \* захоронение на полигонах и свалках.

Несмотря на значительные преимущества повторного использования полимерных материалов, таким способом утилизируется лишь незначительное их количество, что связано с трудоемкостью

сбора, разделения, сортировки, очистки отходов (прежде всего отходов бытового потребления). Поэтому наряду с вторичной переработкой отходов пластмасс в изделия в промышленности используются и другие способы утилизации.

Сжигание отходов пластмасс – наименее эффективный способ их удаления и обезвреживания, так как при этом полностью разрушается дорогостоящий полимер и другие компоненты пластика. Оно применяется при переработке отходов пластмасс только в тех случаях, когда другие способы по техническим или экономическим причинам не могут быть использованы. В частности, сжигание отходов пластмасс используют, когда их выделение из смеси других отходов невозможно или слишком дорого.

Конструкции печей, используемых для сжигания отходов пластмасс, могут быть самыми разными, но должны учитывать особенности горения этих материалов. Во время горения отходов пластмасс в печи создается высокая температура, что требует специальных мер защиты. Кроме того, необходимо оснащение печей системами дожига, очистки и обработки дымовых газов, так как при горении пластмасс образуются такие токсичные газы, как аммиак, оксиды азота, хлористый водород, диоксины и др.

Весьма перспективна переработка отходов пластмасс пиролизом, в результате которой из пластмассовых отходов при 425 °С получают топливо, на 95% состоящее из жидких углеводородов и на 5% из горючего газа. Применение этой технологии для переработки пластмассовых отходов экономически выгодно. Установка, перерабатывающая 11,3 тыс. т/год отходов, окупается за три года. Использование этих установок целесообразно лишь в районах с ресурсами отходов не менее 465 тыс. т/год.

Захоронение отходов пластмасс – наименее целесообразный способ их удаления, так как наносит прямой ущерб окружающей среде и приводит к нерациональному использованию природных ресурсов. В отличие от сжигания захоронение отходов пластмасс не позволяет использовать потенциальные энергетические ресурсы, содержащиеся в полимерах.

Наиболее рациональный способ утилизации отходов пластмасс – это их повторное использование по прямому назначению. Капитальные затраты при таком способе утилизации невелики. При этом не только достигается ресурсосберегающий эффект от повторного вовлечения материальных ресурсов в производственный цикл, но и существенно снижаются нагрузки на окружающую среду.

В случае если имеется рынок сбыта продуктов переработки, осуществлены непрерывность и регулярность поступления отходов, разработана экономичная технология их переработки, а поступающие отходы стандартизованы, имеет смысл создавать специализированные предприятия по переработке отходов. Если количество полимерных отходов невелико, то целесообразно передавать их на переработку предприятию – изготовителю первичной продукции.

В общем виде последовательность операций при переработке отходов пластмасс с целью их повторного использования представлена на рис. 11.1.

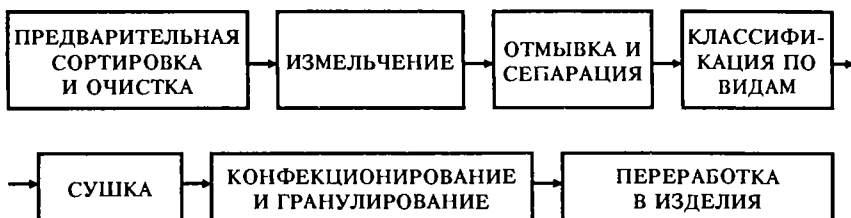


Рис. 11.1. Последовательность операций при переработке отходов пластмасс

В зависимости от качества и чистоты отходов такая схема может быть реализована в полном или сокращенном объеме. Как правило, промышленные отходы не требуют выполнения всех стадий процесса, показанного на этой схеме. Бытовые полимерные отходы, наоборот, нуждаются в тщательной подготовке.

Переработка технологических отходов термопластов должна начинаться с определения степени изменения их свойств и выбора наиболее эффективной технологии их использования.

Высокое качество готовых изделий и стабильность технологического процесса могут быть обеспечены лишь при равномерном дозировании измельченных или гранулированных отходов и хорошем смешении их с исходным сырьем.

При переработке отходов на предприятиях, производящих изделия из термопластов, они возвращаются в основной технологический процесс.

В процессе вторичного использования пластмасс необходимо предотвратить или уменьшить ухудшение их физико-механических и реологических свойств вследствие старения, вызываемого напряжением сдвига и нагреванием – термомеханическим воздействием, которому подвергаются полимеры при размоле, расплавлении и формовании. С этой целью в композиции на основе вторичных полимерных материалов вводят дополнительные стабилизаторы, которые позволяют без изменения технологических свойств полимеров сохранить их эксплуатационные характеристики. Для различных видов полимеров разработаны и известны такие стабилизирующие вещества.

Сбор и сортировка отходов пластмасс являются наиболее слабым звеном в процессе организации переработки как технологических отходов, так и в еще большей степени отходов потребления.

Идеальная сортировка отходов должна обеспечить разделение их не только по видам, маркам, цвету, но и по форме, степени загрязненности, содержанию инородных материалов, физико-механическим свойствам и т.п., что требует больших затрат и делает утилизацию отходов неэффективной.

Наиболее простой и в то же время удовлетворяющей основным требованиям является сортировка, осуществляемая в процессе сбора отходов непосредственно на рабочем месте, т.е. на стадии их образования (так называемый околомашинный сбор отходов).

Околомашинная переработка отходов позволяет добавлять к первичному сырью наиболее близкие по свойствам вторичные материалы. При этом устраняется необходимость их сортировки по цвету, снижается возможность их загрязнения, отпадает необходимость в складских помещениях, проверке качества вторичных материалов, их сушке и т.п.

Наиболее эффективны сбор и сортировка промышленных отходов при полностью замкнутом цикле переработки пластмасс. Конструктивное оформление таких схем предусматривает автоматический сбор отходов, их измельчение и добавление в определенной пропорции к исходному сырью.

Если предприятие не перерабатывает отходы, а поставляет их на сторону, их следует сортировать на местах образования, так как переработка нерассортированных отходов у потребителя связана со значительно более высокими затратами на сортировку и дополнительную очистку отходов от загрязнений. Для упрощения сбора и сортировки отходов возможно изготовление некоторых изделий из смесей отходов различных пластмасс.

*Идентификация пластмасс* имеет важное значение. Среди проблем, возникающих при утилизации пластмасс, главная – определение природы материала, т. е. его идентификация. Если отсутствует специальное оборудование для проведения химического, физико-химического и других видов специального анализа, то можно воспользоваться простыми, но достаточно точными способами идентификации, с помощью метода исключения или сравнения с точно известными образцами или путем анализа сведений о возможности применения тех или иных видов пластмасс для определенных целей.

Чтобы отличить термопластичный материал от термореактивного, следует приложить к образцу раскаленный металлический предмет. Если при этом образец плавится, то это термопластичный материал.

Если образец пластмассы (непористый) плавает на поверхности воды, в которую добавлены несколько капель моющего вещества (для снижения поверхностного натяжения), то этот образец, веро-

ятнее всего, из неполярного полимера – полиэтилена или полипропилена. Продукты горения таких материалов пахнут горящей стеариновой свечой.

Сжигание образцов пластика – достаточно надежный способ его идентификации. Для этого кусок или полоску пластика берут щипцами, пинцетом, клещами или другим аналогичным инструментом (порошкообразный материал насыпают на лезвие ножа или другой удобный инструмент) и подносят к пламени. Полученные результаты сравнивают с известным поведением пластмасс при горении. Во внимание принимаются следующие характеристики: легкость воспламенения, характер плавления, продолжительность горения после вынесения из пламени, наличие копоти, цвет пламени, запах. При этом необходимо помнить о мерах безопасности при определении запаха и при поджигании образцов. Поведение различных полимеров в пламени горелки видно из данных табл. 11.1.

Полимерные материалы, содержащие хлор (например, поливинилхлорид), можно распознать, приложив к их поверхности раскаленную медную проволоку. Если после внесения ее в пламя спички или горелки оно окрашивается в зеленый цвет, то это свидетельствует о присутствии в полимере хлора.

Помимо сжигания идентифицировать материал могут помочь эксперименты с растворением пластмассы. Поведение пластмасс в различных растворителях описано в химических справочниках и другой специальной литературе.

Повторному использованию отходов термопластов, как правило, предшествуют *измельчение* и *гранулирование*. С этой целью разработаны специальные машины и установки для получения вторичного сырья, которое по форме и размерам соответствует первичному сырью.

Первичное сырье, используемое при переработке пластмасс, представляет собой главным образом гранулы со стандартной величиной зерен, с постоянной объемной массой и хорошей сыпучестью.

Механизм разрушения полимерных материалов принципиально отличается от процессов, протекающих при измельчении низкомолекулярных соединений, так как энергия разрушения полимеров расходуется главным образом на механические потери. Это относится как к пластмассам, так и в еще большей степени к резинам, т.е. материалам, способным к значительным обратным деформациям. Поэтому оптимальные условия для измельчения отходов полимерных материалов возникают при высоких скоростях деформирования. Разрушению способствует также снижение температуры, при которой материал становится стеклообразным, хрупким, или повышение температуры до значений, когда его прочностные свойства резко падают.

Таблица 11.1

## Особенности горения полимеров

| Полимер                  | Поведение при горении  | Запах при горении         |
|--------------------------|--|---------------------------|
| Полиэтилен, полипропилен | Горит голубым пламенем с желтой верхушкой, мало дыма, капли расплава                             | Горящего парафина         |
| Поливинилацетат          | Горит желтым с искрами пламенем, коптит  | Уксуса                    |
| Полистирол               | Горит оранжево-желтым светящимся пламенем, сильно коптит   | Цветочный                 |
| АБС                      | Горит оранжево-желтым пламенем, сильно коптит  | Цветочный, горячей резины |
| Полиметилметакрилат      | Горит с потрескиванием синим пламенем, коптит  | Цветочно-плодовый         |
| Полиамид                 | Горит голубым пламенем с белой верхушкой   | Жженой кости              |
| Целлюлоза                | Горит желтым пламенем, слабо коптит  | Жженой бумаги             |
| Полиэтилентерефталат     | Горит желтым светящимся пламенем, слабо коптит   | Сладковатый               |
| Поликарбонат             | Горит желтым светящимся дрожащим пламенем, слабо коптит, при выносе из пламени медленно затухает | Слабый запах фенола       |
| Полиформальдегид         | Горит синеватым пламенем, капли расплава   | Резкий формальдегида      |
| Поливинилхлорид          | Горит зеленым с голубой верхушкой пламенем, при выносе из пламени затухает                       | Резкий                    |

Крупногабаритные отходы пластмасс предварительно нарезаются на циркулярных пилах или ленточнопильных станках.

Для измельчения широко используются режущие грануляторы, переработка отходов в которых происходит между роторными и статорными ножами, а сито, расположенное в нижней части машин, определяет заданную величину зерен. В табл. 11.2 приведены характеристики роторных измельчителей, выпускаемых отечественной промышленностью. Конструкция роторно-ножевого измельчителя изображена на рис. 11.2.

Производительность измельчителя определяется видом отходов, а также конструктивными особенностями установки: числом и длиной ножей, а также частотой вращения ротора. В процессе работы производительность роторных измельчителей падает вследствие износа ножей. Поэтому при падении производительности измельчителя на 20 – 30% от первоначального значения при работе на одном материале необходимо затачивать ножи.

Таблица 11.2

## Характеристики роторных измельчителей пластмасс

| Показатели                                  | Марка гранулятора |                   |                     |                     |
|---|-------------------|-------------------|---------------------|---------------------|
|   | ИПР-100           | ИПР-150           | ИПР-300             | ИПР-450             |
| Производительность, кг/ч                    | 25 – 60           | 50 – 150          | 150 – 300           | 200 – 1500          |
| Диаметр ротора, мм                          | 100               | 150               | 300                 | 450                 |
| Скорость вращения ротора, мин <sup>-1</sup> | 1500              | 1300              | 700                 | 700                 |
| Число ножей ротора, шт.                     | 3                 | 3                 | 9                   | 15                  |
| Число неподвижных ножей, шт.                | 2                 | 2                 | 2                   | 3                   |
| Зазоры между ножами, мм                     | 0,1               | 0,1               | 0,1 – 0,2           | 0,2 – 0,4           |
| Мощность электропривода, кВт                | 1,0               | 1,6               | 18,5                | 27,5                |
| Размеры загрузочного устройства, мм         | 100×50            | 150×75            | 300×150             | 400×200             |
| Габариты, мм                                | 520×460×<br>×1015 | 740×600×<br>×1388 | 1380×1100×<br>×1940 | 1885×1600×<br>×2285 |
| Масса, кг                                   | 80                | 353               | 1215                | 2800                |

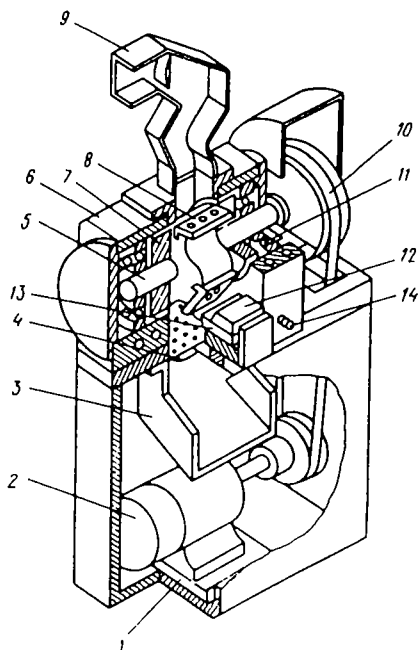
Степень измельчения отходов определяется размером ячеек сита, ограждающего камеру помола со стороны выхода измельченного материала. Размер частиц измельченных отходов колеблется от 3 – 5 до 25 – 30 мм. Роторные измельчители при работе издают сильный шум. С целью его уменьшения измельчитель вместе с двигателем и вентилятором заключают в шумозащитный кожух, что позволяет снизить уровень шума на 10 – 15 дБ.

При измельчении отходов вязких термопластов основное количество энергии превращается в тепло и лишь ничтожно малое количество расходуется на разрушение материала. Это снижает производительность оборудования, приводит к налипанию расплавленного в результате разогрева пластика на части оборудования. Так, производительность роторных дробилок по сравнению с паспортными данными составляет всего 20 – 30% для полиэтилена и 35 – 55% для полиамида. Поэтому в ножевых измельчителях часто используют охлаждение отходов и деталей дробилок водой. Более перспективно использование криогенного измельчения. После глубокого охлаждения таких отходов в среде жидкого азота (температура испарения – минус 195,8 °С) полимер переходит в стеклообразное состояние и становится хрупким, что значительно упрощает его измельчение.



Рис. 11.2. Конструкция роторно-ножевого измельчителя с водяным охлаждением:

1 – поворотная плита; 2 – электродвигатель; 3 – лоток; 4 – съемная калибрующая решетка; 5 – ротор; 6 – статор; 7 – маслоотражатель; 8 – ножи ротора; 9 – загрузочный бункер; 10 – маховик; 11 – упорные подшипники; 12 – маслодробители; 13 – регулируемые ножи статора; 14 – штуцер для подачи воды



Некоторые виды отходов можно измельчать после охлаждения в среде сжиженного углекислого газа (температура испарения – минус 78,5 °С). Хладагенты вводят непосредственно в дробилку или используют специальный конвейер, на котором пластмассовые отходы предварительно охлаждаются, а затем в охлажденном виде подаются на измельчение.

Криогенная техника измельчения полимерных отходов по сравнению с измельчением при комнатной температуре имеет ряд преимуществ. В частности, расход энергии на измельчение полимерных отходов на одной из таких установок, созданных и используемых в Японии для утилизации полимерных деталей выпускаемой фирмой "Хитачи" электробытовой аппаратуры, составляет 6 Вт·ч/кг отходов по сравнению с 24 на обычной установке.

При измельчении тонких и легких отходов (обрезков пленки, волокон, переплетов, остатков тканей и ковров из синтетических полимеров, искусственных кож и т.д.) с помощью роторных измельчителей получают обрезки с незначительной объемной массой и плохой сыпучестью, дальнейшая переработка которых на существующем технологическом оборудовании практически невозможна. Отходы такого типа, имеющие насыпную массу менее 0,25 г/см<sup>3</sup>, превращают в гранулят с помощью экструдеров (плавления).

Гранулирование в экструдерах имеет ряд преимуществ, связанных с возможностью использования практически любых отходов, в том числе отходов, образующихся при получении волокон, ткани,

трикотажа, отходов, полученных при нанесении покрытий и при каландровании, отходов вакуум-формования и т. д. При гранулировании в экструдере можно осуществить направленную модификацию отходов с получением продуктов с улучшенными свойствами, что позволяет использовать их в различных отраслях промышленности.

Червячные экструдеры для гранулирования отходов термопластов имеют узел дегазации. В зависимости от последовательности двух процессов, проходящих во время гранулирования, — резки и охлаждения — измельчение осуществляют двумя способами: грануляцией на экструзионной головке и подводным гранулированием. Выбор способа гранулирования зависит от свойств полимера: вязкости и адгезии расплава термопласта к металлу.

При грануляции на экструзионной головке расплав выдавливается через отверстия решетки (количество которых достигает 300) в виде жгутов (стренг) и тут же срезается кольями вдоль решетки ножами. Полученные при резке гранулы охлаждаются воздухом или водой. При гранулировании полиолефинов срезанные гранулы попадают в ванну с водой, где и происходит их охлаждение.

При подводном гранулировании жгуты расплава полимера сразу поступают в ванну с водой и уже там нарезаются на гранулы. Температура воды поддерживается в пределах 50 – 70 °С, что позволяет ей интенсивно испаряться с поверхности гранул во время их сушки. Расход воды составляет 40 м<sup>3</sup> на 1 т гранулята. Размер получаемых гранул зависит от размера и формы отверстий, скорости вращения шнека и числа срезающих ножей.

При гранулировании в экструдере материал постоянно находится под воздействием механических сил и высокой температуры, что способствует процессу термомеханодеструкции полимерных цепей.

Для подготовки к переработке объемных отходов пластмасс, например пленки, используют *агломерацию*. Агломераторы обеспечивают непрерывное приготовление сыпучего гранулята из пленочных, волокнистых и пористых отходов термопластов всех видов: полиэфирных, полипропиленовых, полистирольных, полиамидных, поливинилхлоридных и др.

Разработан агломератор для гранулирования отходов термопластов с низкой насыпной плотностью, минуя подготовительные стадии. Он представляет собой вращающийся цилиндр с электрообогревом. При работе температура в цилиндре поддерживается выше температуры плавления термопласта. Цилиндр размещен внутри нагреваемого цилиндрического кожуха, смещенного по отношению к оси цилиндра. Кожух и цилиндр агломератора образуют камеру с уменьшающимся поперечным сечением и заканчивающуюся с

противоположной стороны раклея, за которой расположена головка с отверстиями или прорезями.

Попадая на горячую поверхность вращающегося цилиндра, материал, вводимый в бункер, плавится и прилипает к его поверхности. Так как поперечное сечение камеры при вращении цилиндра уменьшается, расплавленный материал прижимается к наиболее ограниченной зоне камеры и, наконец, к ракле, а затем выдавливается наружу через головку. Из материала, проходящего последовательно устройство охлаждения и режущие элементы, получают гранулят. Размер частиц 2 – 15 мм, насыпная плотность 400 кг/м<sup>3</sup>. В процессе агломерации возможно введение в композицию каких-либо добавок (наполнителей, красителей и др.).

*Разделение смесей отходов полимеров* осуществляют различными методами. Смешанные отходы термопластов содержат, как правило, вещества, различающиеся механическими и химическими свойствами, что позволяет для их разделения применять физические и химические способы.

Разделять смеси термопластов можно, сочетая процессы грохочения и воздушной сепарации, основу которой составляет различие в скоростях осаждения, размерах твердых частиц и их плотности. Полная сортировка достигается, когда скорость оседания самых крупных частиц легкого компонента равна скорости оседания самых малых частиц тяжелого компонента. С помощью этого метода можно разделить до пяти-шести видов материалов.

Для разделения отходов пластмасс по видам можно использовать флотационный метод, основанный на различии в смачиваемости полимеров водой. С целью увеличения эффективности разделения используют ПАВ, изменяющие смачиваемость полимеров и поверхностное натяжение на границе раздела воздух – полимер – вода. В частности, для выделения из смеси отходов частиц ПВХ используют водные растворы сульфоната двухосновного алифатического спирта, полиоксиэтиленсульфата и других ПАВ.

Хорошие результаты получаются при последовательном разделении отходов различных пластмасс в солевых растворах с различной плотностью (способ тяжелосредной сепарации).

### 11.3. Особенности переработки отходов некоторых термопластов

*Переработка отходов полиолефинов.* Полиолефины – самый распространенный вид термопластов, которые находят широкое применение в различных отраслях промышленности, на транспорте и в сельском хозяйстве. К ним относятся полиэтилен высокой и низкой плотности, полипропилен. Наиболее эффективным способом утилизации отходов полиолефинов является их повторная переработка. Ресурсы вторичных полиолефинов велики: только отхо-

ды потребления полиэтилена низкой плотности в 1995 г. достигли 2 млн. т.

Способы переработки отходов полиолефинов зависят от марки полимера и их происхождения. Наиболее просто перерабатываются технологические отходы, т.е. отходы производства, которые не подвергались интенсивному свето-тепловому воздействию в процессе эксплуатации. Не требуют сложных методов подготовки и отходы потребления из полиэтилена высокой плотности и полипропилена, так как, с одной стороны, изделия, изготавливаемые из этих полимеров, не претерпевают значительных воздействий вследствие своей конструкции и назначения (толстенные детали, тара, фурнитура и т.д.), а с другой стороны, исходные полимеры более устойчивы к воздействию атмосферных факторов, чем полиэтилен низкой плотности. Такие отходы перед повторным использованием нуждаются только в измельчении и гранулировании.

К основным особенностям полиэтиленовых отходов потребления относятся низкая насыпная плотность, пониженные прочностные свойства и высокая вязкость расплава. Изменение физико-механических свойств вторичного полиэтилена, полученного из отходов потребления, является следствием термоокислительного и механохимического воздействия на полимер в процессе переработки и особенно при эксплуатации. Наибольшее изменение свойств происходит именно вследствие протекания фотохимических процессов.

Вторичный полиэтилен низкой плотности, полученный из отработанной сельскохозяйственной пленки, сильно отличается от первичного материала. В табл. 11.3 приведены свойства исходного полиэтилена и этого же материала после повторной переработки и после трехмесячной эксплуатации пленочного материала из него в районе с субтропическим климатом.

Таблица 11.3

Изменение свойств полиэтилена низкой плотности при повторной переработке и при старении

| Показатели                              | Полиэтилен |           |                              |
|---|------------|-----------|------------------------------|
|   | исходный   | вторичный | вторичный после эксплуатации |
| Содержание низкомолекулярной фракции, % | 0,1        | 6,2       | 6,2                          |
| Содержание геля, %                      | 0          | 20,0      | 20,0                         |
| Прочность при растяжении, МПа           | 15,5       | 10,0      | 11,4                         |
| Относительное удлинение, %              | 490,0      | 125,0     | 17,0                         |
| Стойкость к растрескиванию, ч           | 8,0        | 1,0       | —                            |
| Светостойкость, сут                     | 90,0       | 50,0      | —                            |

Для вторичного полиэтилена низкой плотности, полученного из отходов потребления, характерна низкая текучесть расплава при малых напряжениях сдвига. Однако ее можно регулировать, изменяя температуру и напряжение сдвига.

Снижение текучести расплава может служить критерием для ориентировочной оценки свойств отходов и их пригодности для повторного использования совместно с исходным материалом.

Для улучшения свойств вторичного полиолефина в композицию на его основе добавляют минеральные и органические наполнители, ПАВ и другие добавки. Так, введение наполнителя в количестве до 30% (объемн.) позволяет получать из вторичного полиэтилена напорные трубы, упаковочные пленки, многооборотную тару и другую продукцию. В качестве наполнителя могут быть использованы дисперсные частицы любой природы, в том числе из отходов других материалов, например древесная мука, резиновая крошка или измельченные отходы реактопластов.

Интересен опыт Тушинского машиностроительного завода, который производит из отходов полиэтилена и резиновой крошки массивные блоки для переездов трамвайных путей. Основная масса такого изделия изготавливается прессованием из смеси крупной крошки и отходов пластика, а покровный слой небольшой толщины – из износостойкой протекторной резины. Такие изделия повышают долговечность переездов, уменьшают шум, снижают нагрузку на трансмиссию и колеса автомобиля.

Подготовка отходов полиолефинов к повторному использованию включает следующие операции: сортировку; идентификацию (для смешанных отходов), измельчение, разделение смешанных отходов, мойку, сушку, агломерацию, грануляцию.

Первичная сортировка заключается в разделении отходов по цвету, габариту, форме и при возможности – по видам пластмасс. Она проводится вручную на сортировочных столах.

Идентификация видов пластмасс необходима для отделения друг от друга отходов изделий, изготовленных из различных полимеров, поскольку их смешивание приводит не только к ухудшению внешнего вида будущих изделий, но и очень часто к снижению технологических свойств смеси и физико-механических свойств изделий.

Мойка осуществляется с целью очистки отходов от загрязнений с помощью специальных моющих агрегатов, состоящих из ленточного транспортера, бункера, транспортирующего шнека и моющей камеры. Для мойки используют воду и синтетические моющие средства.

Вымытые отходы подвергают сушке для удаления остатков воды. Для этого применяют сушилки различных конструкций: полочные, ленточные, с "кипящим" слоем, вихревые и т.д.

Заключительной стадией подготовки отходов полиэтилена к повторной переработке в изделия является агломерация измельченных отходов и их грануляция.

Особенно важна стадия агломерации для отходов с низкой насыпной плотностью (например, пленочных материалов из полиэтилена низкой плотности). В процессе агломерации происходит усреднение отходов и их уплотнение, что облегчает их дальнейшую переработку.

Многokrатная переработка другого полимера из класса полиолефинов – полипропилена приводит обычно к увеличению показателя текучести расплава (ПТР), хотя при этом прочностные характеристики материала не претерпевают значительных изменений. Поэтому отходы, образующиеся при изготовлении деталей из полипропилена, а также сами детали по окончании срока эксплуатации могут быть повторно использованы в смеси с исходным материалом для получения новых деталей. В табл. 11.4 приведено изменение свойств полипропилена в процессе многократной переработки.

Таблица 11.4

Влияние многократной переработки методом литья под давлением на свойства полипропилена

| Показатели                                    | Кратность переработки |      |      |      |      |
|---|-----------------------|------|------|------|------|
|   | 1                     | 2    | 3    | 4    | 5    |
| Прочность при статическом изгибе, МПа         | 42,3                  | 37,2 | 30,8 | 32,9 | 34,2 |
| Удельная ударная вязкость, кДж/м <sup>2</sup> | 1300                  | 1250 | 1100 | 1050 | 990  |
| Прочность при растяжении, МПа                 | 35,6                  | 34,1 | 35,2 | 34,6 | 33,5 |
| Относительное удлинение, %                    | 52                    | 55   | 59   | 61   | 98   |

Рассмотренные технологические операции по подготовке к повторному использованию отходов полимерных материалов могут быть реализованы на непрерывной линии, которая включает в себя все необходимые агрегаты для их выполнения.

Так, линия немецкой фирмы "Райфенхаузер" для гранулирования загрязненной полиэтиленовой пленки включает: ножевой измельчитель; ванну для мойки; вихревой водоотделитель; фильтр; червячный пресс; ванну с охлаждающей водой; гранулятор; транспортирующие устройства; вспомогательное оборудование.

Процесс получения гранул на этой линии состоит из следующих стадий: измельчения, смешения, усреднения, отмывки, сушки, уплотнения, пластикации, фильтрации расплава, формования жгутов, охлаждения жгутов, гранулирования, контроля качества гранулята и его затаривания.

Производительность такой линии составляет 300 кг/ч, установленная мощность 326 кВт, расход охлаждающей воды 2,5 м<sup>3</sup>/т, расход воды для отмывки пленки 5,5 м<sup>3</sup>/т, размеры гранул 4×4 мм.

Отечественная линия ЛПВ-2000 (рис. 11.3), выпускаемая на заводе "Кузполимермаш", предназначена для комплексной подготовки к переработке кусковых и пленочных отходов полиэтилена. Производительность линии составляет 2000 т/год. Измельчение отходов производится в роторных измельчителях (ИПР-300 – для кусковых отходов, ИРНП-300-600 – для пленочных отходов). Измельченные отходы в виде пульпы попадают в шнековый промыватель, откуда поступают в отжимное устройство и далее в вихревую сушилку, а затем в шнековый экструдер на грануляцию. Размер гранул, получаемых на этой линии, 2 – 5 мм.

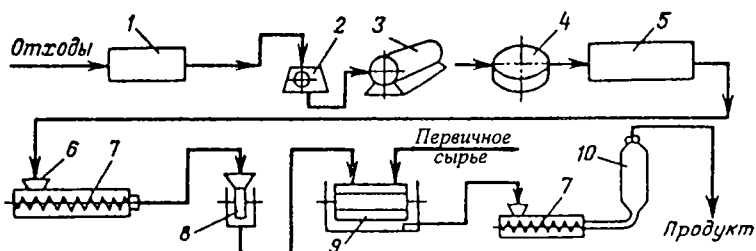


Рис. 11.3. Схема производства вторичной полиэтиленовой пленки:

1 – узел сортировки отходов; 2 – дробилка; 3 – моечная машина; 4 – центрифуга; 5 – сушилка; 6 – питатель; 7 – экструзионные прессы; 8 – гранулятор; 9 – смеситель; 10 – пленочный агрегат

**Переработка отходов поливинилхлорида.** Поливинилхлорид и его сополимеры широко применяют в производстве покрытий для полов, стен, мебели, обивочных и галантерейных искусственных кож, пленок, клеенки, обуви, литевых изделий и т. д. Значительные количества отходов этого полимера образуются как при изготовлении этих материалов, так и при их использовании в промышленности, в частности при раскрое рулонных материалов.

Можно выделить три основных направления в использовании отходов ПВХ:

- \* переработка отходов в линолеум, искусственные кожи и пленочные материалы;
- \* химическое восстановление ПВХ композиций с регенерированием, как правило, пластификаторов и ПВХ порошка;
- \* использование отходов в различных полимерных композициях.

Поскольку ПВХ широко применяют при изготовлении рулонных материалов на текстильной основе, ниже мы рассмотрим особенности переработки отходов именно таких текстильно-полимерных материалов, которые образуются в значительных количествах и при изготовлении, и при их применении.

Только на автомобильных заводах России при вырубке деталей обивки и облицовки салонов автомобилей ежегодно образуются сотни тонн отходов искусственных кож и пленочных материалов на основе ПВХ. Такие отходы могут быть использованы для получения вторичных материальных ресурсов и для последующего изготовления из них линолеума, упаковочных пленочных материалов и другой продукции.

При сборе отходов нельзя допускать смешивания обрезков искусственной кожи различных цветов. В общем виде схема регенерации отходов искусственной кожи и пленочных материалов представлена на рис. 9.4. По такой схеме можно изготавливать различные покрытия для полов (линолеум, линолеумную плитку), искусственные кожи технического назначения и другие материалы.



Рис. 11.4. Схема регенерации отходов искусственной кожи и пленочных материалов

Отходы искусственных кож сначала поступают на измельчение в дробилку. Из дробилки получившаяся крошка выталкивается в накопительную емкость.

При переработке отходов сильно загрязненных ПВХ пленок важным процессом подготовки является их очистка и промывка, которые осуществляются в промывочном устройстве, включающем



мешалку с вертикальными лопастями. Мешалка расположена таким образом, что весь внутренний объем промывочного устройства делится на две зоны: зону турбулентного потока, который образуется ниже лопастей мешалки, и зону ламинарного потока над ними.

Через дозирующее устройство крошка непрерывно поступает в промывочное устройство сначала в турбулентную зону, а затем в зону ламинарного потока. Отходы всплывают на поверхность промывного раствора, плотность которого больше плотности крошки, и отбираются с помощью специального подъемного устройства.

Улавливающие воронки, расположенные в днище промывочно-го устройства ниже зоны турбулентности, создаваемой мешалкой, собирают включения, отделенные от крошки, и выводят их через трубопровод. Крошка, поднятая вертикальным транспортером, разгружается на желоб, по которому она стекает во входное отверстие, питающее воздуходувку, и из нее выдувается на вихревое сито. Подсушенная крошка падает вниз и захватывается поперечным потоком подогретого воздуха, создаваемым подъемной воздуходувкой. Высушенная крошка по трубопроводу через циклоны направляется на гомогенизацию на рифайнер-вальцы.

Время обработки на вальцах составляет 1 – 5 мин, что вполне достаточно для разрушения текстильной основы и гомогенизации смеси. Полученная гомогенная смесь поступает на экструдер-гранулятор, а оттуда в виде гранул подается в накопительный бункер.

Технологические отходы производства пленочных материалов и искусственных кож не нуждаются в промывке, сушке и ряде других промежуточных операций.

Оборудование, применяемое на различных операциях переработки технологических отходов искусственных кож, приведено ниже:

|               |  |
|---------------|--|
| Дробление     | Дробильные вальцы Др-800:<br>длина рабочей части валков 800 мм<br>производительность за 1 цикл 50 кг<br>мощность двигателя 75 кВт<br>загрузка – не более 20 кг<br>масса вальцов 15660 кг<br>продолжительность обработки – не менее 25 мин<br>габариты 3,72×2,89×1,18 м |
| Гомогенизация | Интенсивный смеситель:<br>объем 100 л<br>масса 29,4 т<br>время смешения 5 – 7 мин<br>температура в смесителе 120 – 130 °С  |
| Листование    | Вальцы СМ-1530:<br>габариты 4,63×2,93×2,05 м<br>диаметр валков 550 мм<br>длина рабочей части валков 1530 мм<br>фрикция 1:1,17<br>мощность двигателя 75 кВт<br>частота вращения двигателя 985 мин <sup>-1</sup>   |

|               |  |
|---------------|--|
|               | температура валков, °С:<br>переднего 90 – 100<br>заднего 100 – 110<br>зазор между валками 4,5 мм<br>загрузка 60 – 70 кг<br>время разогрева 10 мин  |
| Рафинирование | Рифайнер-вальцы-800:<br>габарит 3,715×2,893×1,880 м<br>мощность двигателя 75 кВт<br>частота вращения двигателя 980 мин <sup>-1</sup><br>производительность 50 – 60 кг/ч<br>температура валков, °С:<br>переднего 90 – 100<br>заднего 100 – 110<br>фрикция 1:2,5<br>частота вращения, мин <sup>-1</sup> :<br>переднего вала 13,5<br>заднего вала 27,0<br>зазор между валками 0,1 – 0,2 мм<br>количество пропусков 1 – 2<br>загрузка – не более 20 кг |

Наиболее целесообразно при использовании отходов искусственных кож предварительно отделять пленочное полимерное покрытие от текстильной основы. Такие способы существуют, но, как правило, в связи с большой трудоемкостью применяются редко. Один из способов состоит в пропитке отходов искусственных кож водой, что позволяет снизить прочность связи пленочного покрытия с текстильной основой, после чего их измельчают. При измельчении обработанных водой отходов происходит отделение пленки от основы. Затем смесь разделяют, частицы пленочного покрытия сначала обрабатывают 20%-ным раствором серной кислоты для удаления остатков волокон основы, а затем – щелочным раствором для нейтрализации кислоты и сушат. В результате получают практически исходную поливинилхлоридную композицию, которая пригодна для изготовления лицевого слоя искусственной кожи.

Обычно рулонные материалы с использованием отходов искусственной кожи изготавливают многослойными: лицевой слой делают из композиции, содержащей только первичное сырье, а нижний слой – из 30% первичного сырья и 70% отходов. Содержание отходов в нижнем слое зависит от количества текстильных волокон в них. Если отходы изготовлены из материалов, не содержащих текстильной основы (пленок, листовых материалов, бесосновного линолеума), то в этом случае их содержание в нижнем слое может достигать 95 – 100%. При переработке отходов ПВХ необходимо помнить о его недостаточной термостабильности. Поэтому в состав полимерной композиции дополнительно вводят стабилизаторы, а

также пластификаторы, которые позволят избежать механодеструкционных процессов.

Установлено, что при использовании соответствующих стабилизаторов возможна 6-кратная повторная переработка отходов ПВХ практически без изменения его физико-механических свойств.

Искусственная кожа, изготовленная с применением в нижнем слое полимерного покрытия отходов, по свойствам практически не отличается от исходного материала.

Свойства искусственной кожи на тканевой основе с монолитным покрытием приведены ниже:

|   | С использова-<br>нием отходов | Без отходов |
|---|-------------------------------|-------------|
| Масса 1 м <sup>2</sup> , кг . . . . .   | 0,70                          | 0,71        |
| Разрывная нагрузка полоски 50×100 мм, Н | 820                           | 830         |
| Относительное удлинение при разрыве, %  | 28                            | 30          |
| Сопrotивление раздиру, Н . . . . .      | 32                            | 31          |
| Жесткость, Н . . . . .                  | 0,28                          | 0,26        |

Хорошими свойствами обладает трехслойный линолеум, изготовленный с применением гранулята, полученного из отходов искусственной кожи. Содержание регенерированной ПВХ-смеси в таком линолеуме составляет 76 – 85%, волокна 24 – 15%. Нижний слой линолеума изготавливается полностью из вторичного материала, средний слой содержит 75% отходов, а тонкий лицевой слой изготавливают из первичного сырья.

Технологический процесс изготовления линолеума из отходов искусственной кожи осуществляется по схеме, приведенной на рис. 11.5, на оборудовании, обычно используемом в производстве линолеума и искусственной кожи.

При химическом восстановлении отходов ПВХ материалов с последующим разделением на полимер и пластификаторы можно утилизировать любой тип отходов, в том числе различные пленки, листовые материалы, обивочные, галантерейные, обувные и другие искусственные кожи.

Способ включает следующие стадии:

- \* измельчение отходов, обработку их в полярном растворителе в течение времени, достаточного для полного растворения полимера;
- \* фильтрация полученной смеси и отделение фильтрата, содержащего полимер, от твердого осадка, содержащего нерастворимые компоненты отходов;

- \* осаждение полимера из раствора добавлением воды, насыщенного углеводорода, имеющего более низкую температуру кипения, чем использованный растворитель, или смеси указанного углеводорода и алифатического спирта;
- \* восстановление осажденного полимера или сополимера.

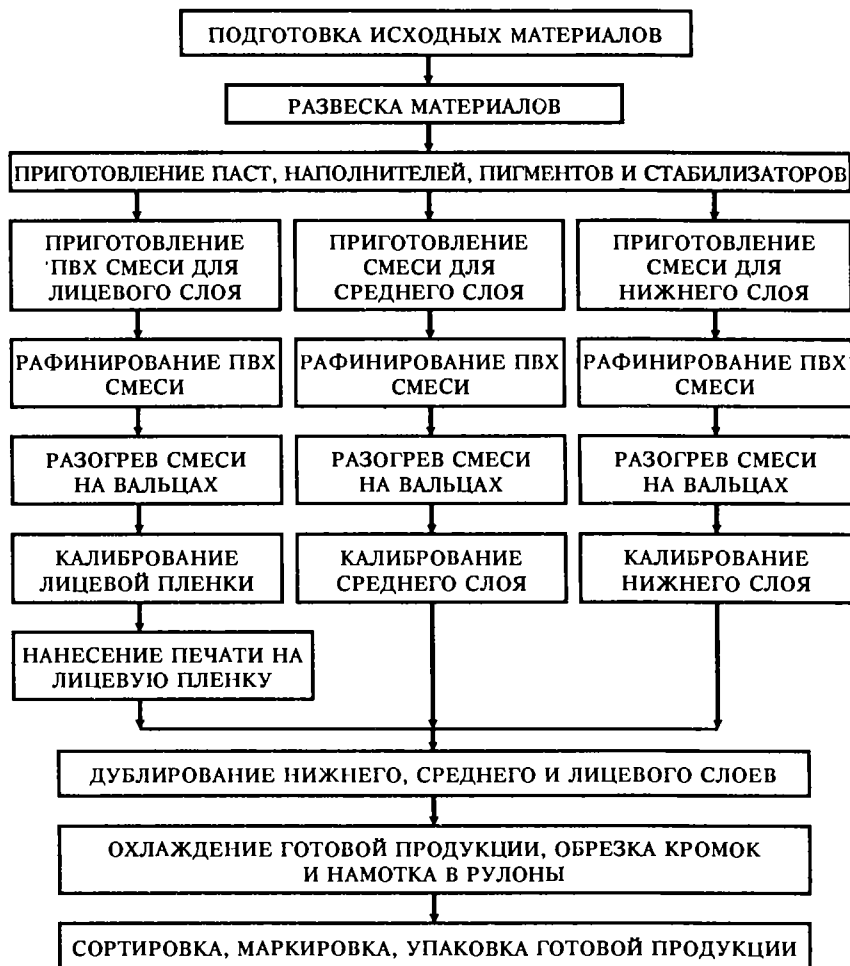


Рис. 11.5. Схема процесса производства трехслойного линолеума с применением отходов искусственной кожи

Схема химической переработки отходов искусственных кож с ПВХ покрытием представлена на рис. 11.6.

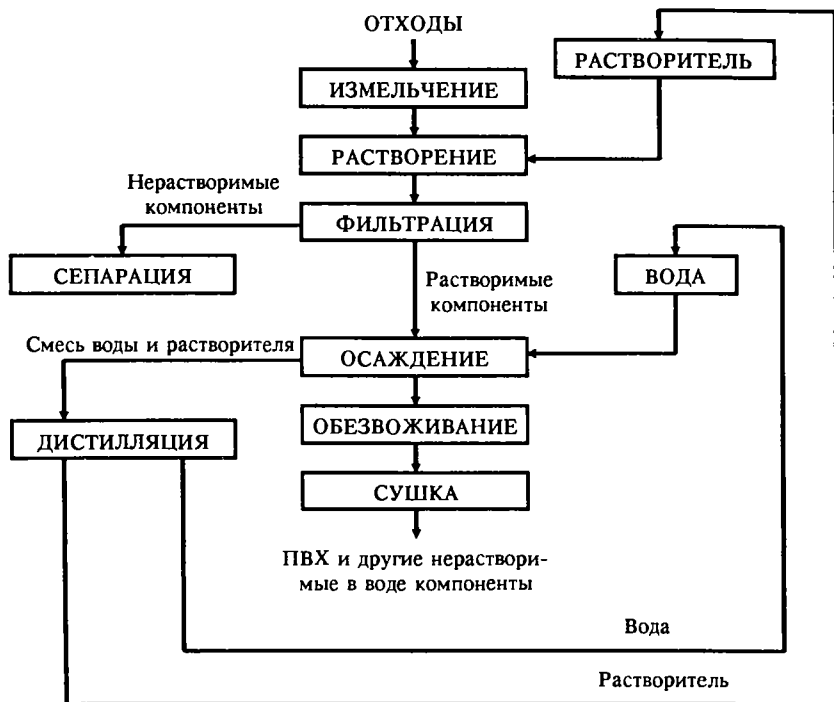


Рис. 11.6. Схема химической переработки отходов искусственных кож с ПВХ покрытием

Разрезанные отходы измельчают на мелкие кусочки размером около 3 мм. Затем 40 массовых частей отходов обрабатывают в 100 массовых частях растворителя или смеси растворителей при температуре 50 °С. Применяемые растворители должны в неограниченном объеме смешиваться с водой. Для этого могут быть использованы: формамид, диметилформамид, ацетамид, гексаметилтриамид фосфора, диметилсульфоксид.

Полученный раствор фильтруется. Осадок на фильтре, содержащий кусочки текстильной основы и наполнители полимерной композиции, высушивается и сепарируется.

Фильтрат, содержащий растворенные ингредиенты, при быстром перемешивании обрабатывается водой. Осажденные водой ингредиенты, в том числе ПВХ, проходят обжимные валки, обработка на которых повторяется несколько раз, после чего получают продукт, содержащий 95% твердых веществ и 5% воды и растворителя. Его сушат под вакуумом при температуре 50°С и получают ПВХ композицию, включающую первоначальные ингредиенты и сохранившую свойства исходного материала. Все промывные воды

очищают в единой емкости, а полярный растворитель дистилляцией отделяют от воды. Описанный способ дает возможность получать ПВХ композицию, близкую по свойствам к исходной.

При модификации способа вместо воды для осаждения ПВХ используют органические жидкости – ненасыщенные углеводороды (например, гексан, октан, нонан, керосин) или циклические углеводороды как сами по себе, так и смешанные с алифатическими спиртами (метиловым, этиловым). При этой обработке отделяются пластификаторы и антиоксиданты. Полученный осадок содержит в основном ПВХ, термостабилизатор, смазки и пигменты. Пластификатор, термостабилизатор и антиоксидант остаются в растворе. Органическая жидкость отгоняется на последней стадии путем дистилляции, после которой остается смесь пластификатора и растворителя. Смесь разделяют перегонкой. Для экстрагирования пластификаторов применяют метанол, этанол, циклогексанол, циклопентан, гексан, гептан, октан, авиационный бензин, низкокипящий керосин.

Вторичная переработка промышленных отходов ПВХ материалов методами химической регенерации позволяет получить значительную экономию энергии (до 80%) и ценное химическое сырье высокого качества.

Возможно использование отходов ПВХ в смеси с другими термопластами для получения формованных изделий с хорошими физико-механическими показателями и низкой себестоимостью.

При совместной переработке отходов ПВХ и ПЭНП для улучшения технологической совместимости можно использовать сополимер этилена с винилацетатом, который улучшает реологические характеристики смеси, снижает энергозатраты при переработке и способствует получению эластичного изделия с высокой ударной прочностью.

В автомобилестроении целесообразно использовать вибропоглощающие листовые материалы для кузова, а также различные отделочные материалы (коврики пола, обивку багажника и др.), изготовленные из отходов ПВХ в сочетании с отходами других термопластичных материалов, например полиэтилена, а также с наполнителями (порошками металлов, опилками, мелом и др.).

*Переработка отходов полиуретана.* В переработке полиуретановых (ПУ) отходов можно выделить следующие основные направления:

- \* переработку, связанную с предварительным растворением и выделением полиола или диизоцианата;
- \* гидролиз полиуретановых отходов;
- \* использование полиуретановых отходов в качестве наполнителей.

По первой схеме измельченные отходы эластичного пенополиуретана (ППУ) на основе простых полиэфиров при температуре 180 – 200 °С и непрерывном перемешивании обрабатывают низко-

молекулярным растворителем до получения гомогенного раствора. Полученный раствор смешивают с исходным полиэфиром, или изоцианатом, или форполимером. Из полученной смеси растворитель может быть удален при повышенной температуре под вакуумом.

Растворы, приготовленные из отходов ПУ, являются дополнительным сырьем для композиций, использование которых позволяет получить изделия с меньшей стоимостью и обеспечить экономию дорогостоящего сырья. Содержание отходов в конечном продукте может достигать 20%.

В табл. 11.5 приведены физико-механические показатели изделий, изготовленных с использованием отходов ПУ.

Гидролизная технология заключается в обработке отходов ПУ водяным паром при давлении 0,05 – 0,15 МПа и температуре не ниже 185 °С в присутствии аммиака, способствующего увеличению скорости процесса. В результате гидролиза получают диамины и жидкие полимерные продукты.

Измельченные ПУ отходы в виде порошка можно добавлять в термопластичный ПУ, в резиновые смеси на основе нитрильных, хлоропреновых и других полярных эластомеров в качестве усиливающих наполнителей до 50% (масс.). Например, для изготовления различных упругих деталей используют композицию, состоящую из 6 – 25% уретанового форполимера, 4 – 5% полистирола и 60 – 90% измельченных отходов ПУ.

Таблица 11.5

Физико-механические показатели изделий, изготовленных с использованием отходов ПУ

| Показатели                        | Значение показателей при содержании отходов ПУ (массовые части) на 100 массовых частей форполимера |      |      |
|-----------------------------------|--|------|------|
|                                   | 10   | 15   | 20   |
| Вязкость раствора при 20 °С, Па·с | 9600   | 9600 | 9600 |
| Прочность на разрыв, МПа          | 40,9   | 37,2 | 30,3 |
| Относительное удлинение, %        | 407  | 445  | 419  |
| Модуль (300%), МПа                | 22,4   | 17,1 | 15,0 |
| Сопrotивление раздиру, Н/мм       | 96   | 82   | 78   |
| Твердость по Шору, усл. ед.       | 94   | 93,5 | 92   |

Возможно также изготовление формованных деталей из отходов пористых или непористых полиуретановых эластомеров. Для этого их измельчают, пластицируют в экструдере с одновременным отводом газообразных продуктов, причем термообработку ведут с

регулированием температуры по зонам: 130 – 170 °С в первой зоне и 160 – 190 °С во второй. Переработанные таким образом ПУ отходы можно использовать в составе эластичных термопластичных материалов, которые обладают хорошими физико-механическими свойствами и применяются при изготовлении формованных деталей методом литья под давлением. Ниже представлены физико-механические показатели таких деталей:

|   |       |
|---|-------|
| Прочность при растяжении, МПа . . . . . | .50   |
| Относительное удлинение, % . . . . .    | .300  |
| Плотность, г/см <sup>3</sup> . . . . .  | .1,15 |
| Твердость по Шору, усл. ед. . . . .     | .60   |

*Переработка отходов полиамида.* Известные способы переработки полиамидных отходов могут быть разделены на две основные группы: физические и химические.

*Физические способы* используют для переработки отходов волокна и изделий из него.

*Из химических способов* переработки полиамидных отходов наиболее часто используют следующие:

- \* деполимеризацию отходов с целью получения мономеров для последующего производства полимеров;
- \* расплавление отходов с целью получения гранул полимеров;
- \* переосаждение из растворов;
- \* введение измельченных волокон в качестве наполнителя в пластмассы;
- \* модификацию композиций с целью получения полимерных материалов с новыми свойствами.

Для переработки технологических отходов полиамида в промышленности химических волокон широко применяется способ деполимеризации. К преимуществам метода относится возможность использования регенерированного капролактама. Получаемый капролактама обладает высокими свойствами и может быть использован для производства волокон технического назначения.

Основным критерием, определяющим возможность практического использования методов деполимеризации, является чистота отходов. Характер и степень загрязненности отходов не только определяют метод переработки отходов, но существенно влияют на свойства получаемого изделия из вторичного материала, а следовательно, и области применения вторичного сырья. При сильной загрязненности отходы приходится подвергать сложной очистке, что повышает стоимость регенерированного волокна.



Для очистки загрязненных отходов применяют следующие способы: сухое удаление пыли, стирку (полимерных текстильных материалов), мойку в воде или органических растворителях, растворение с последующей фильтрацией раствора и высадкой растворенного полимера. При стирке и мойке используют слабые (0,5 – 1%) растворы моющих веществ.

После очистки, стирки и промывки отходов вода отжимается на центрифуге и отходы сушатся при 70 – 80 °С. Повышение температуры может привести к оплавлению и агломерации отходов.

Значительным по объему источником отходов полиамида являются текстильные материалы, состоящие из смесей волокон (трикотажные, чулочно-носочные изделия и др.). Такие смешанные отходы можно использовать для изготовления теплоизоляционных рулонных нетканых материалов. Последние широко применяют в качестве основы при производстве утепленного линолеума, а также шумопоглощающих материалов для автомобильной промышленности.

Возможно также растворение полиамида в разбавленной соляной кислоте и высадка его из раствора. Основными продуктами, получаемыми из растворенных и осажденных отходов полиамида, являются клеи различного назначения, пленкообразующие композиции и порошкообразные материалы.

Порошкообразные материалы на основе регенерированного полиамида используются для нанесения покрытий различного назначения, изготовления пленок, листов, а также формованных изделий путем центробежного нанесения и спекания. Полиамидные порошки применяются для производства специальных текстильных материалов (подворотничковой ткани, нетканых материалов), в качестве присадок к лакокрасочным материалам и для других целей.

Вторичный полиамид для литья под давлением получают путем переплава отходов и гранулирования расплава на экструзионных установках.

Полиамид может повторно перерабатываться до четырех и более раз. Четырехкратная переработка полиамидных отходов практически не изменяет его важнейших свойств, в том числе такого показателя, как диэлектрическая проницаемость.

Некоторое снижение физико-механических свойств полиамида после более чем четырехкратной переработки методом расплавления и литья под давлением устраняется добавлением в композицию наполнителей, в частности мелкодисперсного стекловолокна. Это становится возможным, так как в процессе многократной переработки происходит не только изменение физико-механических

свойств, но вследствие деструктивных процессов уменьшается вязкость полимера. Стеклонаполненный вторичный полиамид не только не уступает первичному, но по некоторым показателям (прочностные, фрикционные свойства) превосходит его.

Области применения стеклонаполненного вторичного полиамида определяются его высокой механической прочностью, сравнимой с прочностью легких металлов, что позволяет использовать его для изготовления различных деталей машин, в том числе вентиляторных колес, шестерен, шкивов и других деталей, а также деталей электрооборудования.

Регулирование свойств вторичного полиамида возможно также смещением его на стадии расплава с другими термопластами, например с полиэтиленом. Такая композиция обладает повышенной износостойкостью, сопротивлением старению, химической стойкостью и меньшим водопоглощением по сравнению с исходным полиамидом.

*Переработка полистирольных пластиков.* Полистирольные пластики широко применяются в различных отраслях промышленности и в быту. Из листовых полистирольных материалов производят детали внутренней облицовки холодильников, различные крупногабаритные детали, получаемые термоформованием. Из полистирольных пластиков методом литья под давлением изготавливают различные формованные изделия бытового назначения: детали радиоприемников, телевизоров и т. п. Вспененный полистирол используется как упаковочный и теплошумоизоляционный материал. Объем отходов материалов на основе этого полимера достигает 50 тыс. т в год.

Различают следующие отходы полистирола: технологические, сильно загрязненные амортизированные изделия, отходы пенополистирола и смешанные.

Сильно загрязненные отходы к использованию в качестве вторичных материальных ресурсов непригодны вследствие неоднородности и низкого качества. Их можно использовать для получения жидких продуктов методом деструкции, а также в качестве топлива.

Технологические отходы по физико-механическим и технологическим свойствам не отличаются от первичного сырья. Эти отходы являются возвратными и используются на месте образования. Наиболее распространенным методом переработки технологических отходов полистирола является литье под давлением. В табл. 11.6 приведены данные об изменении свойств полистирола в процессе многократной переработки.

Таблица 11.6

## Влияние многократной переработки на свойства ударопрочного полистирола

| Показатели                                    | Кратность переработки |       |       |       |       |
|---|-----------------------|-------|-------|-------|-------|
|   | 1                     | 2     | 3     | 4     | 5     |
| Удельная ударная вязкость, кДж/м <sup>2</sup> | 3350                  | 3510  | 3580  | 3300  | 3400  |
| Прочность при растяжении, МПа                 | 35,4                  | 34,2  | 34,5  | 33,7  | 33,7  |
| Относительное удлинение, %                    | 21,1                  | 20,3  | 12,2  | 9,6   | 11,1  |
| Молекулярная масса $\times 10^{-3}$           | 193,6                 | 171,8 | 160,3 | 149,6 | 137,7 |
| Текучесть расплава, г/10 мин                  | 4,44                  | 5,35  | 5,75  | 5,86  | 5,96  |

Несмотря на деструктивные процессы, протекающие при многократной переработке полистирола, о чем свидетельствует уменьшение молекулярной массы, его основные физико-механические свойства изменяются незначительно.

Многократная (до пяти раз) экструзия полистирола приводит к незначительному увеличению показателя текучести расплава (ПТР) и небольшому уменьшению прочностных свойств. В то же время относительное удлинение уменьшается почти в два раза.

Бракованные изделия из полистирола перерабатывают после измельчения, как правило, в смеси с первичным продуктом. Измельчение проводится в роторных измельчителях, а полученная крошка вследствие однородности по гранулометрическому составу не требует дополнительной грануляции. Размер крошки зависит от зазора между ножами измельчителя. Для последующей переработки литьем под давлением целесообразно использовать крошку размером около 5 мм, для чего следует использовать калибровочную решетку с диаметром отверстий 8 мм и устанавливать зазор между ножами не более 0,1 мм. Получаемую крошку можно добавлять в первичное сырье в любых количествах без ухудшения качества выпускаемой продукции.

Амортизированные изделия из ударопрочного полистирола после измельчения также можно повторно использовать, добавляя полученную крошку в первичное сырье или смешивая с гранулами полиэтилена. Соотношение компонентов (ПС:ПЭ) следует регулировать с учетом конструкции и назначения будущего изделия из этой смеси.

Для повторной переработки блочного полистирола его необходимо смешивать с ударопрочным полистиролом в соотношении 70:30 или модифицировать другими способами, так как этот полимер чрезвычайно хрупок, а также склонен к деструкции под воздействием механических нагрузок.

При переработке отходов полистирольной пленки их подвергают агломерации в роторных агломераторах. Отличительной особенностью полистирола является его хрупкость при комнатной температуре и высокая липкость даже при сравнительно небольшом нагревании. Уже при 80°C, т.е. еще не расплавившись, частицы полистирола слипаются между собой и налипают на детали оборудования. Образующиеся крупные агломераты мешают процессу, поэтому при переработке полистирольной пленки необходимо особенно тщательно следить за температурой.

Переработка отходов пенополистирола, который применяется для упаковки радиоприборов, аудиотехники, посуды, холодильников и других целей, требует особого подхода. Отходы пенополистирола сначала нагревают в течение 7 мин до 110 °С, т.е. выше температуры стеклования, которая составляет 105 °С. Объем вспененного полимера при этом уменьшается на 40%. Полученную смесь вакуумируют при давлении 1,3 кПа, после этого ее объем уменьшается еще на 30%. После этого отходы измельчают на роторных дробилках и используют для производства слегка вспененных изделий, так как полностью ликвидировать его ячеистую структуру даже после описанных операций не удастся.

К полистирольным пластикам относится и такой важный конструкционный материал, как АБС-пластик (акрилонитрилбутадиенстирол). Он широко используется в автомобилестроении, радиотехнической промышленности и других отраслях. Детали из него изготавливают как литьем под давлением из гранул, так и термоформованием из листа. В последнем случае количество образующихся при штамповке отходов достигает в отдельных случаях 40%.

Наиболее простым и эффективным способом утилизации отходов АБС-пленки также является их дробление и использование полученной крошки в качестве добавок к исходному материалу. При содержании в композиции до 20% (масс.) вторичного пластика эксплуатационные и технологические характеристики материала практически не отличаются от первичного полимера. Некондиционные пленочные материалы можно также использовать для получения методом прессования многослойных вырубных плит с регулируемой послойно твердостью.

Оптимальная температура нагрева экструдера по зонам при переработке отходов АБС-пластика при его гранулировании должна составлять 140; 190 и 190°C. При температуре выше 200 °С происходит интенсивная термодеструкция АБС-пластика, что приводит к значительному снижению его прочностных свойств и ухудшению других характеристик.

## 11.4. Использование отходов реактопластов

При изготовлении изделий из реактопластов образуется значительное количество технологических отходов (до 20%). Рассмотренными выше способами переработать такие отходы нельзя, поскольку отличие реактопластов от термопластов заключается в образовании в процессе химической реакции трехмерной структуры, препятствующей переходу полимера в расплав при нагревании (или в раствор при растворении).

Однако реактопласты содержат небольшое количество несшитого полимера, что позволяет использовать измельченные отходы этих материалов в качестве активного наполнителя, благодаря чему их можно вводить в качестве добавок к основному сырью и в другие композиции.

Отходы реактопластов перерабатывают только там, где они образуются. Их собирают, измельчают и фракционируют.

Вторичное использование термореактивных пластмасс существенно отличается от технологии переработки отходов термопластов. Различие начинается уже на стадии измельчения отходов.

Отходы фенольных пресс-материалов с коротковолокнистыми или минеральными дисперсными наполнителями в виде заусенцев отформованных изделий, некондиционных таблеток, бракованных изделий и стружки измельчают на дробилках различного типа. Тип измельчающего оборудования в значительной степени определяет дисперсность получаемого продукта. Применение вибрационных мельниц позволяет получать частицы размером до 30 – 80 мкм, что дает возможность при изготовлении ответственных деталей доводить содержание вторичных материалов в пресс-порошках до 20%.

Измельченные отходы реактопластов нельзя использовать в качестве самостоятельного сырья, так как при изготовлении первичных деталей при нагревании до 150 – 200 °С связующие, входящие в их состав, переходят в неплавкое и нерастворимое состояние.

Технология переработки отходов реактопластов, например фенольных пресс-порошков включает следующие стадии: подготовку и сортировку сырья; дробление и измельчение некондиционных таблеток, заусенцев и бракованных изделий; смешение первичных пресс-порошков с 10 – 20% измельченных отходов.

Собранные в цехе заусенцы и брак в бумажных крафт-мешках или другой удобной технологической таре направляются в отделение вторичных пресс-порошков, где они сортируются для очистки последних от посторонних примесей.

Малогабаритные изделия легко измельчаются в стандартных молотковых и зубчатых дробилках. Крупногабаритные изделия

предварительно дробят в валковых дробилках. После предварительного дробления отходы измельчают в вибрационных мельницах, в загрузочном люке которых вмонтирован сильный магнит для удаления из измельчаемой массы случайно попавших туда металлических предметов. Измельченный материал классифицируют по крупности на ситах или других классификаторах, откуда крупная фракция возвращается на доизмельчение, а мелкая поступает в смеситель, где смешивается в заданных пропорциях с первичным пресс-порошком. Из смесителя готовая смесь выгружается в бумажные крафт-мешки и подается на переработку. В состав оборудования, используемого для изготовления вторичных фенольных пресс-порошков, входят: вибромельница с бункером, вентилятор, циклон и смеситель.

Вторичные фенольные пресс-порошки не могут быть использованы для получения тех же изделий, которые изготавливаются из первичных, вследствие снижения физико-механических свойств изделий и ухудшения их внешнего вида.

Особую сложность представляют отходы стеклопластиков, которые состоят из реактопластов и непрерывного стеклянного наполнителя в виде нитей или текстильной основы. Чрезвычайно прочный стеклянный наполнитель для своего разрушения требует значительных затрат энергии. К тому же его частицы обладают высокой абразивностью, что приводит к быстрому износу ударных органов измельчающего оборудования.

Для измельчения отходов стеклопластиков используются дезинтеграторы специальной конструкции, основным ударным органом которых являются пальцы двух роторов, вращающихся навстречу друг другу с высокой скоростью (более 120 м/с). За время пребывания в камере дезинтегратора, которое составляет всего 0,25 с, материал разрушается с образованием частиц размером несколько микрон, приобретая совершенно новые физико-химические свойства. У частиц такого порошка имеются поверхностные функциональные группы, делающие его активным наполнителем. Кроме того, резко возрастает их удельная поверхность. Размер частиц органической части порошка, т.е. самого реактопласта, составляет 3 – 20 мкм. Они агрегируются в конгломераты размером до 100 мкм, имеющие сферическую форму. Стеклянные частицы сильно вытянуты, нитеобразны, отношение длины к диаметру такой частицы составляет 1,5 – 2,0.

Стеклопластиковые порошки называют органоминеральным наполнителем (ОМН). Помимо роли наполнителя он выполняет также роль модификатора: благодаря наличию функциональных групп на поверхности частиц при нагревании наполнитель участвует в химическом взаимодействии с полимером. За счет этого ускоряется

процесс образования трехмерной структуры, а полученные материалы приобретают высокие физико-механические свойства. Использование ОМН в качестве наполнителей в композициях на основе реактопластов снижает время отверждения в 6 – 10 раз, повышает теплостойкость до 200 °С.

Используют ОМН и для изготовления полимерных покрытий, в том числе лакокрасочных. Такие покрытия имеют высокие декоративные свойства, повышенные физико-механические характеристики и более высокую эксплуатационную долговечность.

Введение ОМН в клеевые композиции на основе эпоксидных смол позволяет повысить прочность при отрыве в 1,5 – 2 раза при склеивании титанового сплава и на 10 – 15% при склеивании стали. Время отверждения клеевой композиции снижается с 24 до 4 ч. Предельное содержание порошка стеклопластика в клее не должно превышать 33%.

Такие отходы можно использовать и в других отраслях промышленности: в металлургии – для осветления проката, в промышленности стройматериалов – для производства изделий из гипса, в дорожном строительстве – при изготовлении асфальтобитумных смесей, полимербетона, для устройства гидроизоляции промышленных сооружений. По сравнению с полимербетоном на основе минеральных наполнителей полимербетона на основе отходов стеклопластиков имеют повышенную деформативность в холодное время года, а также ускоренно отверждаются. Полимербетонные смеси могут быть приготовлены в обычных бетономешалках или в специальных смесителях, общий цикл перемешивания не превышает 15 мин. Время твердения смеси при температуре воздуха 18 – 20 °С и влажности воздуха не более 60% составляет 2 – 5 ч. Ниже приведены свойства полимербетона с содержанием 30 массовых частей ОМН на 100 массовых частей композиции:

|   |             |
|---|-------------|
| Прочность при 20 °С, МПа:                               |             |
| при сжатии . . . . .                                    | 20 – 70     |
| при растяжении . . . . .                                | 7 – 25      |
| Водонасыщение, % (объемн.) . . . . .                    | 0,3 – 0,6   |
| Относительное удлинение при 20 °С, % . . . . .          | 2,5 – 5,0   |
| Мгновенный модуль упругости<br>при 20 °С, МПа . . . . . | 2000 – 7000 |

Для утилизации крупногабаритных изделий из стеклопластиков, а также органо- и углепластиков разработан способ, заключающийся в медленном нагреве изделия до 600 °С со скоростью 2 – 5 °С в 1 мин без доступа воздуха, в результате чего происходит пиролиз органической части, разрушение композиционного мате-

риала, отделение металлических деталей. Получаемые активные угли могут быть использованы в различных областях (включая производство на их основе сорбентов для медицины).

Технология очистки выделяющихся газов, которые могут содержать галогены, оксиды азота и др., состоит из пяти ступеней: каталитического окисления, высокотемпературного сжигания углеводородов, восстановления оксидов азота аммиаком, адсорбционной очистки и очистки на волокнистом фильтре.

## 11.5. Классификация резиновых отходов и способов их переработки

Особенности химического строения эластомеров, заключающиеся в наличии длинных цепных молекул, которые образуют прочную трехмерную структуру с поперечными связями, а также сложность надмолекулярных структур эластомеров придают им уникальные свойства, делающие их незаменимыми материалами для современного машиностроения и других отраслей промышленности.

В то же время именно эти свойства, в ряде случаев усугубляющиеся сложной конструкцией изделий (например, шин), являются основой значительных трудностей, связанных с утилизацией отработанных резиноподобных материалов.

Изделия из резины, благодаря уникальным ее свойствам (прежде всего способности к большим обратимым деформациям) применяются во всех отраслях промышленности. Их изготавливают путем вулканизации резиновых смесей, основой которых является каучук. Состав резиновых отходов зависит от ассортимента продукции, который включает резинотехнические изделия, обувь и шины. В зависимости от назначения резиновые изделия изготавливаются на основе различных каучуков, пластификаторов, наполнителей и других ингредиентов, а потому смешивание различных резиновых отходов не всегда целесообразно. Отходы резины образуются как в сфере производства резиновых изделий, так и в сфере их потребления, т.е. при эксплуатации.

Резинотехнические изделия могут содержать в своем составе в качестве арматуры текстильные материалы и металл. Промышленные отходы образуются на всех стадиях изготовления резиновых изделий. С точки зрения утилизации отходов принципиально важно, образовались ли они до вулканизации или после нее. Все резиносодержащие отходы можно классифицировать так, как изображено на рис. 11.7.



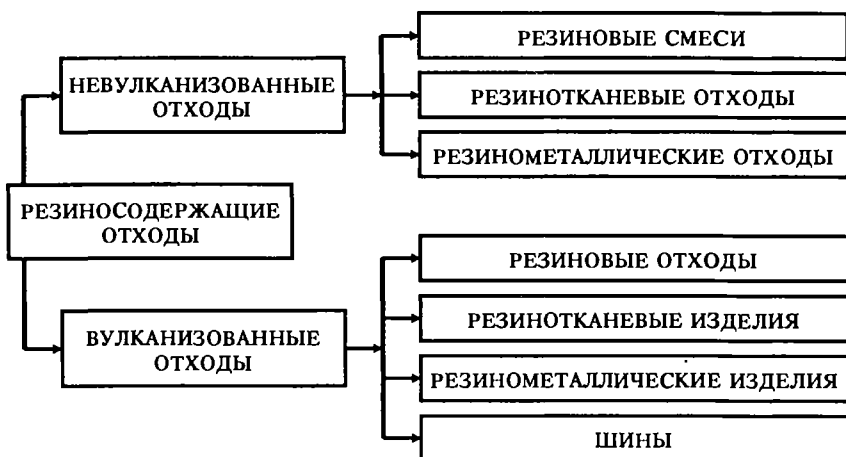


Рис. 11.7. Классификация резиносодержащих отходов

Резиновые отходы, образовавшиеся до стадии вулканизации, по свойствам мало отличаются от исходных резиновых смесей и могут возвращаться в производство без значительной обработки. Эти отходы являются ценным сырьем и перерабатываются непосредственно на тех предприятиях, где образуются. Они могут быть использованы в производстве шлангов для полива, резиновых коврик, кровельных материалов, рукавиц, поддонов для пола салонов легковых автомобилей и других неотчетственных изделий технического назначения.

Из них также изготавливают резиновые плиты для животноводческих ферм. Содержание различных видов невулканизованных резиновых отходов в смеси для получения таких плит достигает 95% (масс.). Невулканизованные и частично вулканизованные резиновые отходы используют для изготовления резиновой кровли (волнистых и плоских листов).

Более сложно обстоит дело с переработкой вулканизованных резин, поскольку в отличие от других материалов они обладают высокой эластичностью, т.е. способностью к обратимым и высоким деформациям, что затрудняет их измельчение, являющееся первой стадией переработки практически любых твердых отходов. Несмотря на это вулканизованные резиновые отходы также являются ценным вторичным сырьем, но требуют перед утилизацией тщательной обработки и подготовки.

Известные способы переработки вулканизованных резиносодержащих отходов можно разделить на химические, физико-химические и физические (рис. 11.8).

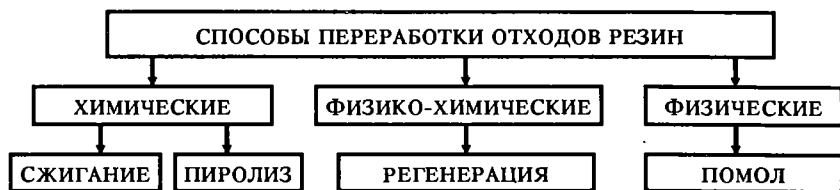


Рис. 11.8. Классификация способов утилизации отходов резин

Химические методы переработки приводят к необратимым химическим изменениям не только резины, но и веществ, ее составляющих (каучуков, мягчителей и т.д.). Эти методы осуществляются при высокой температуре, вследствие чего происходит деструктивное разрушение материала. К химическим методам относятся сжигание и пиролиз.

Несмотря на то что химические методы переработки отходов резины позволяют получить ценные продукты и тепло, такая утилизация недостаточно эффективна, поскольку не позволяет сохранить исходные полимерные материалы.

Физико-химические методы переработки отходов или регенерация, осуществляемая различными способами, позволяют сохранить структуру сырья, использованного в процессе производства резины. При регенерации разрушается пространственная вулканизационная сетка за счет теплового, механического и химического воздействия на резину. Получаемый продукт – регенерат – обладает пластическими свойствами и используется при изготовлении резиновых смесей с целью замены каучука.

Физические методы переработки резиновых отходов представляют собой различные способы их измельчения с целью получения резиновой крошки (муки), наиболее полно сохраняющей свойства резины.

Измельчение резиновых отходов может производиться ударным воздействием, истиранием, резанием, сжатием, сжатием со сдвигом. При ударном воздействии на резиновые отходы кинетическая энергия ударного инструмента расходуется на деформацию разрушения. Эффект воздействия инструмента при ударе зависит от его массы и скорости движения. Ударные измельчители имеют простую конфигурацию и высокую долговечность инструмента.

При истирании резиновые отходы контактируют с абразивным инструментом. На процесс измельчения истиранием влияет относительная скорость взаимодействия измельчаемого материала и абразивного инструмента. Такие измельчители имеют невысокую производительность и могут использоваться на второй стадии про-

цесса для получения тонкодисперсных порошков из предварительно измельченных другим инструментом отходов.

При резании резиновых отходов их разделение на фрагменты происходит с помощью режущих инструментов (ножей), являющихся концентраторами напряжения. На эффективность резания влияют скорость резания, форма инструмента и свойства отходов.

При сжатии измельчение резин происходит за счет воздействия на них высокого давления. Процесс, как правило, происходит между двумя рабочими поверхностями, где материал раздавливается. Этот способ может осуществляться на прессе или на вальцах, валки которых вращаются навстречу друг другу с одинаковой скоростью.

При сжатии со сдвигом, осуществляемом в экструдере или на вальцах, у которых валки вращаются навстречу друг другу, но с различной скоростью, происходит объемное деформирование материала, что позволяет при сравнительно небольших затратах энергии получать мелкодисперсный порошок резины. Процесс измельчения резины достаточно сложен, поскольку благодаря ее высоким эластическим свойствам энергия, затрачиваемая на разрушение, расходуется в значительной степени на механические потери. Эффективность измельчения резины зависит от температуры и скорости приложения нагрузки.

Наиболее крупными по габаритам, объему и сложными по составу отходами резины являются шины. Поэтому в дальнейшем способы переработки резиносодержащих отходов мы рассмотрим на примере изношенных шин.

Производство шин для авто-, мототехники, дорожных и строительных машин, колесных тракторов постоянно растет, а следовательно, непрерывно увеличиваются и отходы их потребления. Только в г. Москве ежегодно образуется до 60 тыс. т изношенных автопокрышек. При этом накопление изношенных шин происходит по всей территории нашей страны, включая отдаленные и плохо освоенные территории, где их сбор и транспортировка к месту утилизации являются дорогостоящими и практически неосуществимы. Однако основная масса амортизованных автопокрышек образуется в крупных промышленных центрах и, являясь ценным ВМР, может быть эффективно переработана с получением товарной продукции, пользующейся устойчивым спросом.

В связи с этим следует упомянуть об опыте Японии, добившейся утилизации 75% изношенных автопокрышек всеми известными способами.

## 11.6. Изготовление и применение резиновой крошки

Применение измельченной резины в виде крошки и тонкодисперсной резиновой муки в качестве эластичных наполнителей – наиболее перспективный метод утилизации резиновых отходов и изношенных шин, поскольку позволяет в максимальной степени сохранить и использовать эластические и прочностные свойства вулканизированной резины. Композиции, содержащие измельченные вулканизаты, представляют собой дисперсию типа "полимер в полимере" с четко выраженной границей раздела.

Наибольшее распространение получила технология измельчения шин в высокоэластическом состоянии при умеренных скоростях, несмотря на значительно более высокий расход энергии по сравнению с криогенной технологией.

По этой технологии переработка покрышек ведется в такой последовательности: мойка, вырезка бортов, предварительное дробление, грубое дробление, мелкое дробление, сепарация и помол.

На стадии предварительного дробления используются борторезка, механические ножницы и шинорез, на последующих стадиях – дробильные и помольные валцы, сепаратор для извлечения металлических частиц и вибросито.

В настоящее время разработано много различных видов оборудования для измельчения резиновых покрышек, которые различаются по характеру и скорости нагружения, конструкции рабочих органов и т.п. Для этих целей применяют абразивные ленты и круги, гильотины, борторезки, дисковые ножи, прессы, валцы, роторно-ножевые дробилки и другое оборудование.

Традиционно применяемое у нас в стране оборудование для дробления резиновых отходов – валцы. За рубежом чаще применяют дисковые и роторные измельчители. Однако схема, основанная на применении валцов, более производительна и менее энергоемка.

Наиболее простая технология измельчения отходов резины, не содержащих металлических элементов, представлена на рис. 11.9. Крупные отходы резины поступают на дробильные валцы 1, затем на мельницу грубого помола 2. Мелкие отходы (различные резинотехнические изделия) сразу поступают на мельницу грубого помола 2. Измельченные в мельнице отходы транспортером подаются на магнитный сепаратор 3, а затем двумя потоками – на мельницы тонкого помола 4 и 5, где измельчаются до 0,3 – 5 мм. Необходимость разделения потока после мельницы грубого помола вызвана большей длительностью процесса измельчения резиновых частиц до мелкодисперсного состояния и возвратом отсева после прохождения измельченных отходов через вибросита 6 и 7. Размер ячеек вибросит составляет 1 мм, и все, что не проходит через них, возвращается на доизмельчение в мельницы тонкого помола.

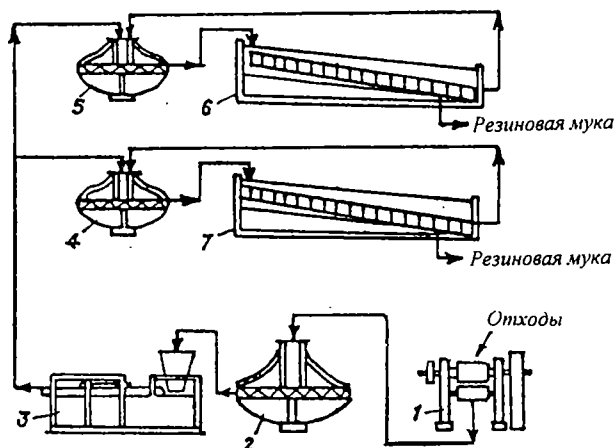


Рис. 11.9. Технологическая схема измельчения резиновых отходов

Производительность такой линии 300 – 350 кг/ч резиновой муки с размером частиц до 1 мм. Более половины частиц имеют размер менее 0,5 мм.

Характеристики оборудования, используемого для реализации такой технологии, приведены ниже:

|                            |  |
|----------------------------|--|
| Дробление отходов          | <p>Дробильные валцы Др-800:<br/>           единовременная загрузка 15 – 25 кг<br/>           время дробления до 5 мин<br/>           зазор между валками 1 – 1,5 мм<br/>           температура валков, °С:<br/>               переднего 50 – 60<br/>               заднего 60 – 70<br/>           диаметр валков, мм:<br/>               переднего 490<br/>               заднего 610<br/>           рабочая длина валков 800 мм<br/>           частота вращения валков, мин<sup>-1</sup>:<br/>               переднего 16,61<br/>               заднего 33,2<br/>           фрикция 1:2,54<br/>           мощность электродвигателя 110 кВт</p> |
| Просев дробленых отходов   | <p>Вибрационное сито М 1145×2445:<br/>           угол наклона сита 43 град<br/>           частота колебаний сита 200 мин<sup>-1</sup><br/>           габариты 3,122×1,611×0,857 м</p>  |
| Дополнительное измельчение | <p>Тарельчатые мельницы Д-800; 10802-РЗ:<br/>           производительность 200 кг/ч<br/>           частота вращения 533 мин<sup>-1</sup></p>   |
| Просев крошки              | <p>Вибрационное сито М 1485×1215:<br/>           угол наклона 6 град<br/>           частота колебаний сита 365 мин<sup>-1</sup><br/>           габариты 2,135×0,700×0,550 м</p>  |

Покрышки с металлокордом по описанной технологии измельчать нельзя. Для этого используется другое, более мощное оборудование, предусматривающее предварительное вырезание из покрышки бортовых колец и нарезку покрышек на куски.

Для измельчения покрышек используют более мощные вальцы модели Др-800 710/710 производительностью 3500 кг/ч с мощностью электродвигателя 353 кВт. Габариты таких вальцов 6695×4469×1880 мм, а масса 50,6 т.

В последнее время получило широкое распространение измельчение резиносодержащих отходов, и прежде всего изношенных шин, основанное на новейших представлениях о прочности полимерных материалов. В частности, известно, что разрушение полимеров в стеклообразном или в высокоэластическом состоянии (но с высокой скоростью) происходит с минимальными затратами энергии.

Криогенное измельчение имеет следующие преимущества по сравнению с измельчением при комнатной температуре, т.е. когда резина находится в эластичном состоянии: меньшие энергозатраты; исключение пожаро- и взрывоопасности; возможность получения мелкодисперсного порошка резины с размером частиц до 0,15 мм; уменьшение загрязнения окружающей среды.

Эффективность криогенного измельчения покрышек является следствием:

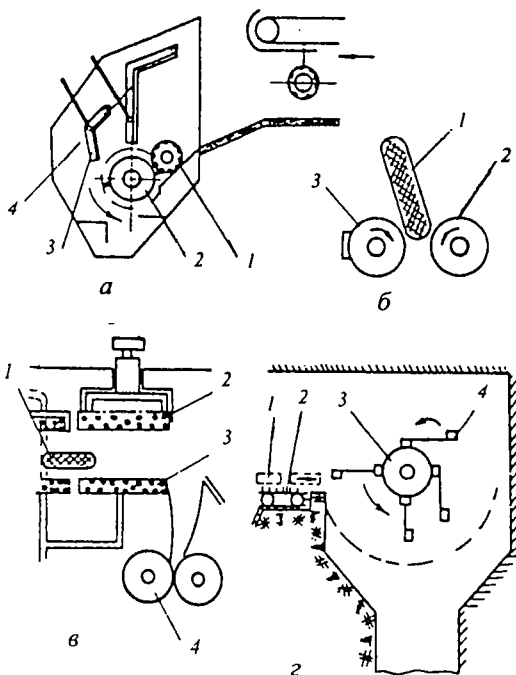
ослабления связи между металлокордом и резиной при низкой температуре, что приводит к частичному отделению резины от металла;

резкого снижения эластичности резины и ее хрупкого разрушения уже при незначительных деформациях.

При криогенном измельчении покрышки охлаждаются в течение 25 мин в устройствах барабанного типа, расход жидкого азота составляет 0,25 – 1,2 кг на 1 кг измельчаемого материала. Охлажденная покрышка измельчается в различного типа (рис. 11.10) дробилках. Наиболее эффективно применение оборудования, изображенного на рис. 11.10, в. Первичное криогенное дробление осуществляется с помощью молота, а затем, после отделения корда, производится доизмельчение резиновой крошки до необходимой дисперсности на валковой дробилке. Полученная в результате дробления крошка имеет размеры от 0,15 до 20 мм. Стоимость жидкого азота составляет 2/3 от всех затрат на эксплуатацию установок.

Рис. 11.10. Механизмы для криогенного дробления покрышек с металлокордом:

*а* – ударно-отражательная дробилка (1 – покрышка; 2 – валок; 3, 4 – отражательные плиты); *б* – валковая дробилка (1 – покрышка; 2, 3 – подвижный и неподвижный валки); *в* – молот (1 – покрышка; 2, 3 – теплоизолированные матрица, пуансон; 4 – валковая дробилка); *г* – молотковая дробилка (1 – покрышка; 2 – транспортер; 3 – ротор; 4 – молоток)



Технологическая схема криогенного измельчения покрышек представлена на рис. 11.11. При подготовке покрышек к криогенному измельчению их моют,

сортируют и отправляют на борторезку 1 для удаления бортовых колец. Далее покрышка поступает в охлаждающую камеру 2, куда подается жидкий азот. В качестве оборудования для охлаждения может быть использована после некоторой модификации сушильная печь барабанного типа. Покрышки охлаждаются до  $-120\text{ }^{\circ}\text{C}$  (температура стеклования практически любых резин не ниже  $-70\text{ }^{\circ}\text{C}$ ).

Имеющийся запас охлаждения покрышки необходим для компенсации теплопритоков к ней во время перемещения из охлаждающей камеры к молоту 3, а также для компенсации тепловыделений при ударе молота, происходящих вследствие превращения кинетической энергии молота в тепловую. Молот имеет профилированные пуансон и матрицу, на которых происходит разбивание стеклообразной покрышки. Энергия удара составляет 38 кДж, ход пуансона 700 мм, масса пуансона 800 кг. Измельченная покрышка после молота транспортером подается на шкивной железоотделитель 4, где происходит отделение резины, текстиля и металла. Резиновая крошка поступает на сепарацию, фракционирование и доизмельчение на стандартных дробильных и размольных вальцах.

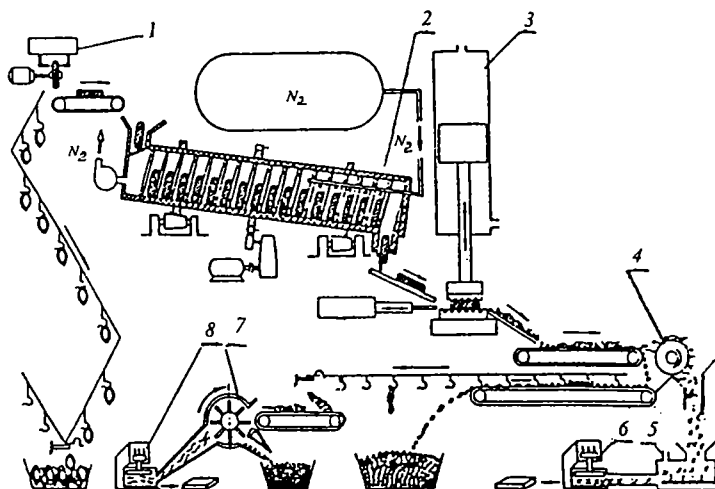


Рис. 11.11. Схема криогенного дробления изношенных покрышек

Металлокорд подается в обжиговую печь 5 для выжигания остатков резины на проволоке и далее – на пакетировочный пресс 6, текстильный корд – на доизмельчение в роторный измельчитель 7 (типа ИПР) и затем на пакетировочный пресс 8.

В результате криогенного разрушения за один удар в крошку переходит до 75% резины, содержащейся в покрышке, причем 57% крошки имеет размеры 1,25 – 20 мм и 24% – от 0,14 до 1,25 мм. Это позволяет существенно сократить затраты на доизмельчение резиновой крошки обычными методами.

Удельные затраты энергии на разрушение покрышки в охрупченном виде в 1,8 раза меньше, чем в эластичном.

В самые последние годы активно разрабатывается промышленная технология высокотемпературного сдвигового измельчения (сжатие со сдвигом) по способу, разработанному отечественными учеными. В основе способа лежит сложный физико-химический процесс множественного разрушения твердых тел в условиях интенсивных комплексных нагрузок сжатия со сдвигом. При определенных температуре и давлении резина быстро разрушается на мелкодисперсные частицы. Преимущества этой технологии заключаются в сравнительно низких энергозатратах и возможности получения из резиновых отходов мелкодисперсных частиц с высоко-развитой поверхностью. Для реализации такого способа измельчения резиновых отходов разработаны роторные измельчители непрерывного действия. Схема узла измельчения роторного диспергатора показана на рис. 11.12.



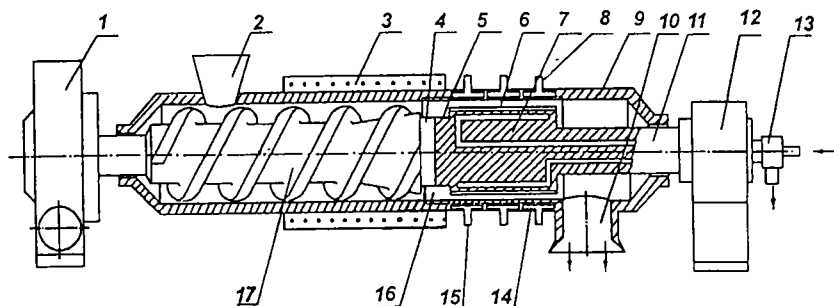


Рис. 11.12. Узел измельчения роторного диспергатора резины

Измельчитель работает следующим образом. Отходы резины размером  $30 \times 40 \times 10$  мм, в том числе с металлокордом, поступают через загрузочную воронку 2 в камеру, образуемую корпусом 9, шнеком 17 и ротором 7. Для начала процесса установки небольшой производительности снабжены обогревателем 3. Шнек и ротор имеют единый привод 1. С противоположной стороны вал 11 шнека-ротора вращается в опорном подшипнике 12. Боковая поверхность уплотняющего шнека имеет спиральные канавки, глубина которых уменьшается в направлении от привода к ротору. В конце шнека перед ротором имеется кольцевая проточка 4; аналогичная проточка 5 имеется и на наружной цилиндрической поверхности ротора. Обе проточки образуют кольцевую камеру 16, в которой резиновые отходы подвергаются сжатию со сдвигом, в результате чего материал разогревается в течение нескольких секунд до  $70 - 140$  °С. Для охлаждения корпуса диспергатора в нем сделаны три проточные камеры 14, куда через штуцеры 15 подается охлаждающая вода; выход воды осуществляется через штуцер 8. Вал ротора также охлаждается водой, которая поступает и выходит из него с помощью узла 13. Выгрузка измельченных отходов резины производится через патрубок 10, в который они поступают по кольцевому зазору 6, образуемому наружной поверхностью ротора и внутренней поверхностью корпуса.

Роторный измельчитель позволяет получать порошок резины, практически однородный по размеру частиц ( $10 - 50$  мкм). Такой размер частиц и очень большая удельная поверхность ( $0,5 - 5$  м<sup>2</sup>/г) придают порошку резины совершенно новые свойства. Его можно вводить в полимерные композиции в большом количестве без ухудшения их свойств.

Интересный способ отделения резины от металлокорда после измельчения покрышек разработали японские инженеры. Предлагается продукты измельчения подвергнуть высокочастотному на-

греву, в результате которого происходит нагрев металла и обугливание пограничного с ним слоя резины, вследствие чего она отслаивается от металлических частиц.

Измельченная резина в виде муки и крошки широко применяется в различных областях, и прежде всего в качестве полноценной добавки к свежим резиновым смесям. Установлено, что дисперсность резиновой муки оказывает большое влияние на свойства резиновых изделий, а также на возможность ее применения в составе смеси. С увеличением дисперсности возможно увеличение содержания муки до 300 – 400 массовых частей на 100 массовых частей каучука. При этом прочностные свойства резины не только не снижаются, но возрастают по сравнению с резиной, содержащей в таком же количестве активные минеральные наполнители. Это становится возможным при использовании резиновой муки с размером частиц несколько микрон, что достигается при новейших способах измельчения, например при рассмотренном выше высокотемпературном измельчении, при сжатии со сдвигом или с помощью абразивно-дискового измельчителя, в котором резиновая крошка измельчается в зазоре между двумя вращающимися в разные стороны абразивными кругами.

При использовании резиновой муки в составе резин необходимо учитывать, что ее свойства в процессе хранения ухудшаются, так как происходит старение резиновой муки вследствие ее интенсивного окисления по всей образованной в процессе измельчения высокоразвитой поверхности.

Целесообразно использование резиновой крошки в составе асфальтобетонных дорожных покрытий. Благодаря повышенным фрикционным свойствам и лучшему сопротивлению износу такие покрытия могут быть эффективными на горных дорогах, на площадях и улицах с интенсивными транспортными потоками, на взлетно-посадочных полосах аэродромов, на мостах и в тоннелях.

Высокие эластические свойства, придаваемые дорожному покрытию резиновой фракцией, делают этот материал весьма полезным при создании дорог в регионах с большими температурными перепадами, строительстве трамвайных путей (виброзащитные свойства), беговых дорожек стадионов.

При изготовлении асфальтобетонных покрытий используется резиновая крошка размером до 25 мм без удаления частиц металлокорда и волокна. Композиция изготавливается в бетономешалках (бетонные смеси) или обогреваемых смесителях (асфальтовые смеси). Для укладки покрытия используются обычные дорожно-строительные машины.

Резиновая крошка используется в составе антикоррозионных битумных покрытий для защиты днища автомобиля, гидроизоляции пластов земли при добыче нефти, поверхностной очистки воды от разлитых нефтепродуктов и для других целей. Получаемые на-

ряду с резиновой крошкой металлическая и текстильная фракции также утилизируются по технологиям, разработанным для этих видов материалов.

## 11.7. Производство регенерата

Одним из направлений утилизации резиносодержащих отходов, в частности изношенных шин, является получение регенерата – пластичного материала, способного вулканизоваться при добавлении в него вулканизирующих агентов и частично заменить каучук в составе резиновых смесей.

Регенерация резины – физико-химический процесс, в результате которого она превращается в пластичный продукт – регенерат. Существуют различные способы получения регенерата, отличающиеся характером и интенсивностью воздействия на резину, а также природой и количеством участвующих в регенерации резины веществ. При регенерации резины происходят следующие процессы: деструкция углеводородных цепей; структурирование вновь образовавшихся молекулярных цепей; уменьшение содержания свободной серы, использованной для вулканизации резины, деструкция серных, полисульфидных связей, модификация молекулярных цепей каучука; изменение углеродных цепей, образованных сажей, содержащейся в резине. Это свидетельствует о сложности физико-химических процессов, лежащих в основе регенерации резины.

При получении регенерата применяются различные химические вещества: мягчители, активаторы, модификаторы, эмульгаторы и др. В качестве мягчителей используются продукты переработки нефти, угля, сланцев и лесохимического производства. Содержание мягчителей зависит от способа производства регенерата.

Активаторы позволяют сократить продолжительность и снизить температуру процесса, улучшить свойства конечного продукта. В качестве активаторов наибольшее применение нашли серосодержащие органические соединения.

Модификаторы позволяют придать регенерату и резине на его основе некоторые специальные свойства – прочность, масло-, бензостойкость, блеск и др. Для модификации регенерата используются как мономеры (малеиновый ангидрид, малеиновая и лимонная кислоты и др.), так и полимеры (полистирол, полиметилметакрилат, поливинилхлорид и др.). Эмульгаторы применяют в технологических целях – для стабилизации водных дисперсий измельченных резиновых отходов.

Начальная стадия получения регенерата любым из существующих способов – измельчение резиновых отходов. Размер частиц, которые необходимо получить при измельчении, определяется способом последующей регенерации, а также свойствами резины, подвергаемой регенерации, и требованиями к регенерату. Чем меньше размеры частиц резины, тем более быстро и равномерно они набухают в мягчителях, в результате чего повышается производительность оборудования и улучшается качество регенерата. Однако уменьшение размеров резиновой крошки связано с увеличением затрат на ее получение, поэтому размеры частиц всегда больше 0,5 мм.

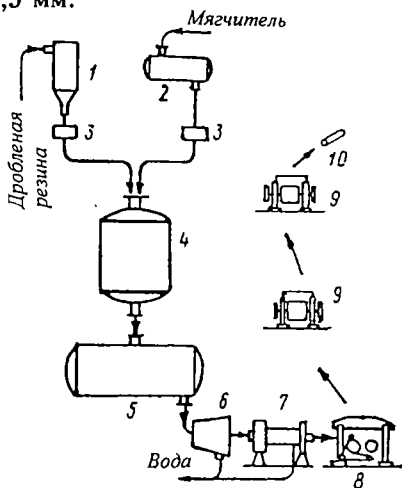


Рис. 11.13. Схема производства регенерата водонейтральным способом:

1 – бункер дробленой резины; 2 – емкость с мягчителем; 3 – дозаторы; 4 – автоклав; 5 – буферная емкость; 6 – сетчатый барабан; 7 – отжимная машина; 8 – регенератно-смесительные вальцы; 9 – рафинировочные вальцы; 10 – склад готовой продукции

температура поднимается до  $180 \pm 5$  °С, создается давление  $1,1 \pm 0,1$  МПа, и процесс девулканизации продолжается в течение 4 – 5 ч для резиновых отходов, не содержащих текстиль, и 5 – 8 ч – для отходов, содержащих кордное волокно.

*Термомеханический способ* получения регенерата более предпочтителен вследствие непрерывности процесса, полной его механизации и автоматизации, а также непродолжительности цикла. При этом способе не образуются сточные воды, что также весьма

При получении регенерата водонейтральным способом (рис. 11.13) девулканизация резины происходит в водной кислой среде в автоклаве при перемешивании массы. Для этого используется резиновая крошка размером 2,5 – 3,5 мм, содержание текстильного корда в ней не должно превышать 10% (масс.). Количество мягчителя, добавляемого в смесь, достигает при регенерации некоторых резин 40 массовых частей на 100 массовых частей резины. Разрушение остатков кордного волокна происходит за счет воздействия кислой среды, создаваемой мягчителями.

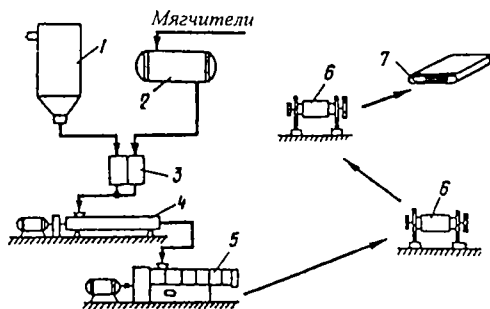
Процесс девулканизации осуществляется в две стадии: на первой стадии резина набухает в мягчителях в течение 1 – 1,5 ч при 80 – 100 °С, на второй –

существенно снижает стоимость продукта. Однако эта технология предъявляет более высокие требования к культуре производства, в частности, необходимо четкое соблюдение параметров технологического процесса.

При получении регенерата термомеханическим способом используется крошка размером не более 0,8 мм при содержании текстильных волокон не более 5% (масс.). По этой технологии (рис. 11.14) резиновая крошка непрерывно подается в двухчервячный смеситель, охлаждаемый водой.

Рис. 11.14. Схема производства регенерата термомеханическим способом:

1 – бункер резиновой крошки;  
2 – емкость с мягчителем;  
3 – дозаторы резиновой крошки и мягчителя;  
4 – смеситель непрерывного действия;  
5 – червячный девулканизатор;  
6 – рафинировочные вальцы;  
7 – готовая продукция



Под влиянием механических воздействий и температуры в смесителе в тонком зазоре между шнеком и корпусом происходит девулканизация резины за счет тепла, выделяющегося при ее деформации, и воздействия кислорода и мягчителя. Средняя длительность пребывания резины в шнековом смесителе не превышает 7 мин; осевое усилие, развиваемое шнеком, составляет 1000 кН. Температура продукта, выходящего из головки шнека, не должна превышать 190 °С, для чего корпус шнека охлаждается водой. При дальнейшем прохождении через червячный девулканизатор продукт охлаждается до 70 – 80 °С и в таком виде поступает на рафинировочные вальцы, где ему придается товарный вид (пленка, свернутая в рулон наподобие рулона толя или рубероида). При этом происходит гомогенизация регенерата, окончательное его обезвоживание, очищение от посторонних включений и недостаточно деструктурированных частиц резины.

Рафинировочные вальцы имеют фрикцию 1:2,5. Для более полной гомогенизации продукта рафинирование выполняется на двух вальцах. На первых вальцах устанавливается зазор, обеспечивающий выход с вальцов полотна толщиной не более 0,25 мм. Толщина полотна, сходящего со вторых вальцов, не должна превышать 0,17 мм. Полотно закатывается в рулон массой до 15 кг.

Характеристики основного оборудования, используемого при производстве регенерата термомеханическим способом, приведены ниже:

|  |  |
|--|--|
| Дробление отходов                            | <p>Дробильные вальцы Др-800:<br/> диаметр переднего вала 490 мм<br/> диаметр заднего вала 610 мм<br/> частота вращения, мин<sup>-1</sup><br/> переднего вала 14<br/> заднего вала 37<br/> длина рабочей части валков 800 мм<br/> масса вальцов 15660 кг<br/> габариты 3,72×2,89×1,18 м</p>   |
| Просев резиновой крошки                      | Вибрационное сито М 1145×2445 с сеткой 2×2 мм  |
| Смешение мягчителей и активаторов            | <p>Мешалка типа "Петсольд" ("Petsold") марки П-500-1:<br/> объем 500 л<br/> частота вращения 30 мин<sup>-1</sup></p>   |
| Смешение крошки с мягчителями и активаторами | <p>Смеситель непрерывного действия СН-200-130-П:<br/> производительность 500 кг/ч<br/> число шнеков 2<br/> диаметр шнеков 203 мм<br/> рабочая длина шнеков 1935 мм<br/> частота вращения шнеков 32 мин<sup>-1</sup><br/> расстояние между осями 176 мм<br/> масса 9570 кг<br/> габариты 7,29×0,95×1,47 м</p> <p>Смеситель ВСПН-800:<br/> рабочий объем 800 л<br/> частота вращения, мин<sup>-1</sup>:<br/> переднего ротора:<br/> на 1-й скорости 42<br/> на 2-й скорости 20,8<br/> заднего ротора:<br/> на 1-й скорости 23,5<br/> на 2-й скорости 11,7<br/> давление пара в рубашке 0,3 МПа<br/> вакуум 80 кПа<br/> поверхность нагрева паровой рубашки 5,7 м<sup>2</sup><br/> масса смесителя с приводом 9960 кг<br/> габариты смесителя с приводом 4,70×1,94×2,55 м</p> |
| Созревание регенеративной массы              | <p>Бункер с поворотным днищем:<br/> объем 2,5 м<sup>3</sup><br/> частота вращения днища 15 мин<sup>-1</sup></p>  |
| Девулканизация                               | <p>Червячный девулканизатор ШМДР-320:<br/> скорость вращения червячного вала 20 мин<sup>-1</sup><br/> производительность 500 кг/ч<br/> масса машины 33740 кг<br/> габариты 7,23×3,46×2,2 м</p>   |

## Рафинирование

1. Рифайнер-вальцы-800:  
 диаметр валков, мм:  
     переднего 490  
     заднего 610  
 длина рабочей части вальца 800 мм  
 производительность вальцов (при зазоре по мягкому металлу 0,2 мм) 600 кг/ч  
 фрикция 1:2,55  
 частота вращения, мин<sup>-1</sup>:  
     переднего вальца 25,2  
     заднего вальца 64,8  
 габариты 3,72×2,89×1,18 м  
 масса 15905 кг
2. Рифайнер-вальцы-750:  
 рабочая длина валков 750 мм  
 производительность 250 кг/ч  
 частота вращения, мин<sup>-1</sup>:  
     переднего вальца 13,5  
     заднего вальца 27,0  
 фрикция 1:2  
 габариты 2,00×4,05×1,63 м  
 масса 14300 кг

Отечественная промышленность выпускает шесть марок регенерата, свойства которого зависят от используемого сырья и технологии производства (табл. 11.7).

Таблица 11.7

## Свойства регенерата

| Наименование показателя                                    | Марка регенерата |             |            |            |             |
|--|------------------|-------------|------------|------------|-------------|
|  | РШТ              | РСТ         | РЩ         | РКЕ        | РС          |
| Содержание летучих, %<br>(масс.), при:<br>110° С<br>150° С | ≤ 0,6<br>—       | ≤ 0,65<br>— | —<br>≤ 2,5 | —<br>≤ 1,6 | —<br>≤ 2,75 |
| Содержание золы, %<br>(масс.)                              | 5,0              | ≤ 8,0       | ≤ 7,5      | ≤ 7,0      | ≤ 8,0       |
| Мягкость, мм   | 2,5 – 3,5        | 2,0 – 4,0   | 2,0 – 3,3  | 2,5 – 3,5  | 2,0 – 3,5   |
| Эластическое восстановление,<br>мм                         | 1,15±0,45        | 0,5 – 2,0   | 1,2±0,55   | 1,2±0,55   | 0,5 – 2,0   |
| Прочность при растяжении,<br>МПа, не менее                 | ≥ 5,39           | ≥ 3,92      | ≥ 5,39     | ≥ 6,86     | ≥ 3,92      |
| Относительное удлинение, %                                 | 400± 50          | ≥ 300       | ≥ 420      | ≥ 450      | ≥ 300       |

Регенерат является ценным вторичным сырьем и используется при изготовлении резинотехнических изделий, подошвенных резин и шин. Потребление регенерата в шинной промышленности состав-

ляет около 2% от каучука, при производстве РТИ – 13% и обуви – 10%.

В резинотехнической промышленности регенерат применяют в составе резиновых смесей при изготовлении рукавных изделий, прокладок, ремней и другой продукции. Некоторые изделия, такие, как пластины, коврики бытового назначения, изготавливают почти без добавления каучука в резиновую смесь.

При получении некоторых резин содержание регенерата может достигать 50% от содержания каучука, а при изготовлении формованных каблучков – 100% от содержания каучука. На основе регенерата получают резиновые клеи с высоким сопротивлением старению и адгезией к различным материалам.

Низкосортный регенерат марок РС и РСТ используют при изготовлении плит для покрытия полов животноводческих ферм, спортивных площадок, а также для изготовления строительных материалов типа шифера.

Следует отметить, что в последние годы в связи с повышением требований к РТИ и шинам, а также увеличением применения покрышек с металлокордом объемы производства и потребления регенерата несколько сократились, но до сих пор основная масса резиносодержащих отходов утилизируется путем переработки в регенерат.

## 11.8. Термические методы утилизации резиновых отходов

Анализ элементного состава автопокрышек показывает, что их основой являются углерод и водород, вследствие чего автопокрышки обладают высокой теплотой сгорания. Поэтому широкое распространение получили термические методы утилизации отходов резины и шин, в частности пиролиз и сжигание. Элементный состав автопокрышек приведен ниже, %:

|              | Протектор | Каркас |
|--------------|-----------|--------|
| С            | 88,30     | 70,1   |
| Н            | 7,20      | 7,7    |
| S            | 1,64      | 1,3    |
| Fe . . . . . | –         | 18,57  |
| Остальные    | 2,86      | 2,33   |

В зависимости от конструкции технологического оборудования пиролизу могут подвергаться как измельченные, так и целые авто-



покрышки. Преимуществами утилизации автопокрышек методом пиролиза являются: экологическая чистота процесса, возможность производства продуктов высокого качества, пользующихся спросом на рынке. Пиролиз происходит при ограниченном доступе кислорода и температуре 500 – 1000 °С. От температуры зависит состав продуктов, образующихся при пиролизе, и соотношение твердой, жидкой и газообразной фракций. При пиролизе выделяется значительное количество тепла, так что его подвод извне к реактору необходим только на начальной стадии процесса. Средний массовый баланс процесса пиролиза шин при различных температурах приведен в табл. 11.8.

Таблица 11.8

Выход и теплота сгорания продуктов пиролиза шин

| Продукты, теплота сгорания          | Показатели при температуре пиролиза, °С |        |        |
|-------------------------------------|---|--------|--------|
|                                     | 500                                     | 700    | 800    |
| Твердые, % (масс.)                  | 60,5                                    | 52,0   | 44,0   |
| Жидкие, % (масс.)                   | 30,3                                    | 27,9   | 17,7   |
| Газообразные, % (масс.)             | 6,8                                     | 18,2   | 26,2   |
| Потери, % (масс.)                   | 2,4                                     | 1,9    | 2,1    |
| Расход энергии, МДж/кг              | 4,2                                     | 5,7    | 4,6    |
| Теплота сгорания продуктов, МДж/кг: |   |        |        |
| газообразных                        | 34,018                                  | 44,095 | 37,768 |
| жидких                              | 44,125                                  | 42,080 | 25,620 |
| твердых                             | 35,350                                  | 33,390 | 31,080 |

Газообразные продукты пиролиза содержат 48 – 52% водорода, 25 – 27% метана и имеют высокую теплоту сгорания (34 – 44 МДж/кг). Они используются как источник энергии. Твердые продукты пиролиза (так называемый шинный кокс) используют при очистке сточных вод от ионов тяжелых металлов, фенола, нефтепродуктов. Технический углерод, получаемый при пиролизе, используется в качестве активного наполнителя в производстве резиновых смесей, пластмасс и в лакокрасочной промышленности. Жидкая фракция продуктов пиролиза резиновых отходов также является высококачественным топливом, но продукт ее переработки может использоваться и в составе резиновой смеси.

Схема установки для пиролиза автопокрышек приведена на рис. 11.15.

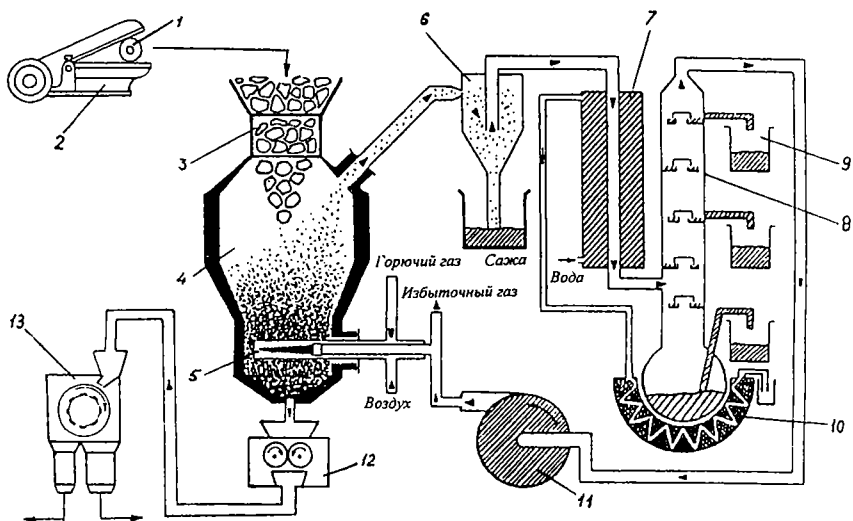


Рис. 11.15. Схема установки утилизации автопокрышек методом пиролиза:

1 – автопокрышка; 2 – гильотина; 3 – загрузочное устройство; 4 – реактор; 5 – топка; 6 – циклон; 7 – холодильник; 8 – дистилляционная колонка; 9 – конденсатор-сборник; 10 – теплообменник; 11 – компрессор; 12 – дробилка кокса; 13 – магнитный сепаратор

Изношенные покрышки 1 после мойки поступают в резательную машину 2, где разрезаются на куски размером 100 – 400 мм и в таком виде подаются в бункер, а оттуда – в загрузочное устройство 3, которым снабжен реактор 4. Существуют технологические схемы, по которым автопокрышки загружаются в реактор в неизмельченном виде. Однако, поскольку плотность укладки неизмельченных покрышек не превышает  $150 \text{ кг/м}^3$ , при их загрузке в реактор попадает значительное количество воздуха, и процесс пиролиза происходит неэффективно. Загрузочное устройство представляет собой шлюзовую камеру с двумя затворами, предотвращающими попадание в реактор избыточного количества воздуха. Загрузка кусков покрышек в реактор производится циклично. Реактор снабжен топкой 5, в которой для начала процесса сжигается природный газ, а затем после стабилизации процесса пиролиза в нее подается образующийся пиролизный газ. В нижней части реактора имеется разгрузочное устройство для выгрузки металлокорда и образующегося кокса.

Дисперсные продукты пиролиза выносятся из реактора потоком образующегося пиролизного газа в циклон 6, где газ отделяется от твердых частиц сажи. Из циклона газообразная фракция попадает в холодильник 7, который охлаждается проточной водой. В нем происходит конденсация смолы; образующаяся газоконденсатная

смесь стекает на разделение в дистилляционную колонну 8, где она разделяется на фракции с различной температурой кипения, которые собираются в конденсатосборник. Нижняя часть дистилляционной колонны обогревается горячей водой, поступающей из холодильника в теплообменник 10. Пиролизный газ, выходящий из дистилляционной колонны, с помощью компрессора 11 поступает на сжигание в реактор. Избыточный пиролизный газ подается внешним потребителям, в частности для сжигания с целью получения горячей воды и пара.

Твердая фаза в виде смеси кокса и металлокорда после выгрузки из реактора поступает в валковую дробилку 12 и разделяется магнитным сепаратором 13. Металлокорд поставляется внешнему потребителю для дальнейшего переплава. Измельченный и прошедший грохочение дисперсный кокс гранулируется с целью получения активного угля.

Существующие промышленные установки для утилизации шин методом пиролиза имеют высокую производительность (30 – 50 тыс. т отходов в год). Однако, учитывая возросшие транспортные расходы, связанные с доставкой изношенных покрышек к месту их централизованной утилизации, необходимы установки небольшой мощности, которые могли бы обеспечить рациональное использование таких отходов непосредственно на месте их образования, т.е. на крупных автопредприятиях.

Японские специалисты, выполнившие сравнительный экономический анализ различных направлений утилизации изношенных шин, таких, как производство регенерата, резиновой муки, захоронение, сжигание, использование в дорожном строительстве, пиролиз, пришли к выводу, что последний способ наиболее эффективен.

По-видимому, дальнейшее расширение использования процесса пиролиза при утилизации покрышек зависит от разработки наиболее рациональных способов применения его продуктов и от соотношения цен на продукты, получаемые при различных способах утилизации резины.

Резиновые отходы являются высококалорийным продуктом: теплота сгорания шин не ниже, чем угля. При их сгорании выделяется меньше золы и диоксида углерода по сравнению с углем, поэтому их утилизация путем сжигания в качестве источника энергии также весьма эффективна.

Однако дымовые газы, образующиеся при сжигании автопокрышек, содержат много таких токсичных продуктов, как диоксид серы, оксиды азота, диоксины и др. Вследствие этого установки для сжигания шин должны быть оборудованы современными многоступенчатыми системами очистки дымовых газов.

В Японии с целью получения тепловой энергии сжигают 200 тыс. т шин ежегодно. В Великобритании для сжигания покрышек используется вертикальная циклонная печь с внутренним диаметром 1,8 м, отличающаяся непрерывной подачей шин в неподвижную топку, высокой температурой сжигания (1900 – 2100 °С), при которой весь металл, присутствующий в шинах, переходит в расплав, а также грануляцией жидкого шлака. Производительность такой печи составляет не менее 1 т/ч, время пребывания шины в печи 2 – 5 мин, номинальная паропроизводительность котла-утилизатора 13,6 тыс. т/год.

Автопокрышки используются в качестве альтернативного топлива в цементных печах. Разработаны автоматизированные системы загрузки в печь изношенных покрышек без измельчения. Процесс осуществляется с помощью роликового конвейера с применением весового дозатора, определяющего массу каждой покрышки, что необходимо для правильного дозирования кислорода и основного топлива, которое осуществляется автоматически. Использование автопокрышек в количестве до 25% от массы основного топлива позволяет организовать процесс горения практически без выделения угарного газа и обеспечить полное сгорание шин. Содержащийся в покрышках металлокорд оплавляється, окисляется и переходит в виде оксидов в вырабатываемый клинкер (полуфабрикат цемента).

## 11.9. Другие способы использования изношенных шин

Наряду с рассмотренными способами использования резиновых отходов существуют и другие, менее эффективные направления их утилизации. Они, как правило, не требуют больших капитальных вложений, но приносят определенную пользу.

Так, изношенные покрышки применяются для защиты побережья водных бассейнов от эрозии, для демпфирования ударов судов при швартовке, создания искусственных рифов, волнорезов, противоударных барьеров на дорогах, амортизирующих ограждений и т.п. Вместе с тем такое использование источников ценных вторичных материальных и энергетических ресурсов нерационально.

В отдельных случаях из-за насыщенности рынка продуктами утилизации резиновых отходов и вследствие повышения требований к этим продуктам переработка и использование изношенных автопокрышек становятся нецелесообразными, и они подлежат захоронению. В Западной Европе повсеместно вдоль дорог, у бензозаправочных станций накоплены горы изношенных шин. Более рационально в этих случаях использовать специально обустроенные захоронения.

При захоронении изношенные шины измельчают на куски размером 100×100 мм и укладывают под углом слоями высотой 1 – 2 м; каждый такой слой пересыпается землей слоем 20 – 25 см. На всю площадь захоронения накладывают слой дерна толщиной 30 см. Захоронение такого типа в Германии вмещает 50 млн. изношенных покрышек.

Таким образом, в промышленности используются различные способы утилизации резиносодержащих отходов, в том числе изношенных автомобильных покрышек. Выбор того или иного метода утилизации основывается на тщательном технико-экономическом анализе, учитывающем стоимость исходного сырья и готовой продукции, требования к качеству и наличие спроса на продукты утилизации, транспортные расходы на доставку отходов, энергетические и трудовые затраты на проведение процесса утилизации.

Необходимо учитывать, что в связи с постоянно растущими требованиями к качеству резинотехнических изделий и шин использование таких продуктов утилизации, как резиновая мука и регенерат, уменьшается. В то же время продукты пиролиза и энергия, получаемая при сжигании покрышек, имеют неограниченный спрос. Поэтому при разработке производственных процессов утилизации отходов потребления резиновых материалов, прежде всего изношенных шин, следует исходить из возможностей использования продуктов утилизации в данном регионе.

## Глава 12. ПЕРЕРАБОТКА ТЕКСТИЛЬНЫХ ОТХОДОВ

К текстильным материалам относятся ткани, трикотаж, ковры, нетканые полотна, сети, нити, веревки, канаты и другие изделия, изготовленные из волокон и нитей. Их структура зависит от технологии производства.

Волокна и нити, используемые при изготовлении текстильных материалов, имеют, как правило, полимерную природу и могут быть натуральными (лен, хлопок и др.), искусственными (вискоза) и синтетическими (полиамид, полиэфир и др.). В последнее время для изготовления новых конструкционных материалов используют текстильные материалы на основе стеклянных, углеродных и минеральных волокон.

Текстильные материалы с древних времен широко используются в быту, а также применяются в различных отраслях промышленности как составляющие элементы различных изделий и в качестве вспомогательных технологических материалов, например для фильтрации, полировки, упаковки, протирки и т.д.

Рациональное и эффективное использование текстильных отходов имеет важное хозяйственное значение, поскольку значительную часть волокнистого сырья, используемого при изготовлении текстиля, Россия ввозит из-за рубежа.

В то же время многие виды текстильных изделий, в частности разнообразные звуко- и теплоизоляционные материалы для средств транспорта, жилищного и дорожного строительства, гидромелиоративных работ, различного рода прокладочные материалы, техническая вата и т. п., могут изготавливаться из вторичных волокон по технологии производства нетканых материалов.

### 12.1. Образование и классификация текстильных отходов

При изготовлении текстильных материалов и изделий из них, а также после их использования образуется значительное количество отходов. Среди них межлекальные обрезки и лоскут первичных текстильных материалов, спутанные волокна и пряжа, отработанная спецодежда, фильтровальные, протирачные, упаковочные ткани и др. Только в автомобильной промышленности страны ежегодно образуется несколько тысяч тонн текстильных отходов, поэтому задача их утилизации весьма актуальна.

Текстильные отходы можно подразделить на отходы, образующиеся при производстве и потреблении текстильных материалов.

Классификация производственных текстильных отходов возможна по следующим признакам: химической природе волокна; технологии производства и виду текстильных материалов; стадии производства текстильных материалов; цвету.

В зависимости от химической природы волокна текстильные отходы могут быть из хлопковых, шерстяных, лубяных, шелковых, химических волокон и из их смесей.

В зависимости от технологии производства и вида текстильных материалов могут быть отходы тканей, трикотажа, нетканых материалов и их комбинаций.

На различных стадиях производства текстильных материалов образуются волокнистые отходы, путанка и концы пряжи, лоскут и обрезки полотен.

По цвету отходы могут быть белыми, светлыми (т. е. окрашенными в светлые тона, к которым относятся бежевый, светло-желтый цвета и их комбинации), темными (т.е. окрашенными в красный, зеленый, синий, черный цвета и их комбинации) и разноцветными.

Отходы, образующиеся при использовании текстильных материалов, делятся на отходы бытового и промышленного потребления.

Все отходы текстильных материалов в виде лоскута и межлекальных обрезков, не загрязненные посторонними включениями, представляют собой ценное вторичное сырье и могут быть утилизированы без специальной очистки.

Текстильные отходы после промышленного использования, загрязненные отходами других материалов, перед утилизацией должны быть тщательно очищены от загрязнений: металлической стружки, масла и других посторонних включений.

Отходы изношенной спецодежды после стирки могут быть использованы в качестве протирачного материала или утилизированы после очистки от загрязнений.

Сложнее обстоит дело с сильно загрязненными отходами фильтровальных, шлифовальных, полировальных и т.п. текстильных материалов, использованных для технологических целей. Их регенерация нецелесообразна, и поэтому они подлежат сжиганию или захоронению.

Любое использование текстильных отходов предусматривает их предварительную подготовку и разрыхление. Объем подготовительных работ зависит от вида, состава, места образования и степени загрязнения отходов.

## 12.2. Первичная обработка и разволокнение текстильных отходов

Первичная обработка и разволокнение текстильных отходов включают ряд стадий, зависящих от происхождения и качества отходов. Отходы потребления, как бытового, так и промышленного, поступают на переработку в сильно загрязненном виде, и прежде чем они попадут на утилизацию, должны быть дезинфицированы, выстираны, очищены и т.д.

Последовательность операций при первичной обработке текстильных отходов можно представить в виде схемы (рис. 12.1). В зависимости от вида текстильных отходов некоторые из стадий процесса их первичной обработки могут быть опущены.

**Дезинфекция** отходов производится для уничтожения бактерий и насекомых. Процесс осуществляется в стационарных запаривающих камерах (например, АДТ-1 или АДТ-2), работающих при 115 – 116 °С и давлении 0,2 МПа. Норма загрузки камеры составляет 80 – 100 кг/м<sup>3</sup>, расход пара 0,25 – 0,4 кг/м<sup>3</sup>, продолжительность обработки 60 мин. В последние годы разработаны новые, более совершенные способы дезинфекции: с помощью переменного электрического поля высокой частоты, ультразвука, ультрафиолетового и инфракрасного излучений,  $\gamma$ -облучения, озона.

**Обеспыливание** применяется с целью улучшения условий труда при дальнейшей сортировке и для повышения эффективности химической чистки. Основным рабочим органом обеспыливающих машин типа МОВ-1 является барабан с лопастями и шипами. В процессе обеспыливания отделяется и задерживается до 30% пыли и мелких твердых частиц, которые удаляются с помощью вентиляторов. Производительность таких машин достигает 1400 кг/ч. Более прогрессивны комбинированные машины, в которых производятся одновременно и обеспыливание, и разволокнение текстильных отходов.

**Сортировка** текстильных отходов бытового потребления производится с целью удаления застёжек, кнопок и других нетекстильных элементов изделий. Сортировка осуществляется вручную с применением малой механизации: сортировочных столиков, оборудованных дисковыми и ленточными ножами. После сортировки отходы прессуют в кипы по 80 кг. Загрязненное вторичное текстильное сырье подвергается *стирке*, для чего применяются сти-

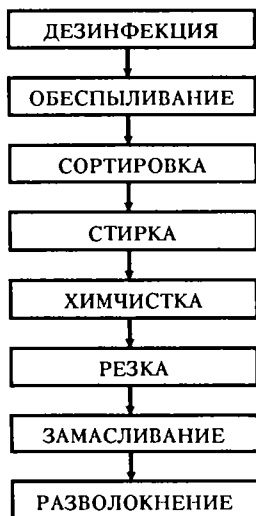


Рис. 12.1. Схема первичной обработки текстильных отходов



ральные машины периодического действия СМО-100 и ПК-53А. Более прогрессивны стиральные машины непрерывного действия, работающие по принципу противотока, когда загрязненные отходы подаются в линию с одной стороны, а чистая вода – с противоположной. В состав непрерывной моющей установки входят агрегаты мойки, отжима и сушки. Поточные линии КП-704, КП-708 отечественного производства, работающие в автоматическом режиме, состоят из загрузочного устройства, моечной машины тоннельного типа, системы трубопроводов, отжимного устройства, сушильно-растрясочной машины. Однако с помощью стирки не удастся удалить масло, краску и другие органические вещества, нерастворимые в воде. Поэтому технологический процесс подготовки текстильных отходов к разволокнению включает химическую чистку.

*Химическая чистка* сильно загрязненных и засаленных текстильных материалов производится органическими растворителями на машинах КХ-007, КХ-012. Применение химической чистки вместо стирки уменьшает снижение прочности волокон, сокращает продолжительность и стоимость обработки, повышает производительность труда.

Предварительно отходы обрабатывают высококонцентрированным раствором щелочи, а затем после отжима – органическим растворителем. Для удаления масла с текстильных отходов используют эмульсию перхлорэтилена (или трихлорэтилена) в воде, нагретую до 40 – 50 °С.

*Резка очищенных отходов* производится на специальных машинах, которые состоят из питающего и транспортирующего устройств и режущего механизма гильотинного или роторного типа. С помощью гильотинных режущих машин перерабатываются сильно спрессованные кипы отходов, которые разрезаются на полоски определенной ширины с помощью падающего вниз ножа. Машины гильотинного типа имеют ряд недостатков, главным из которых является необходимость частой остановки для заточки режущей кромки ножа, а также для регулировки зазора. Поэтому более широкое применение нашли роторные машины.

Эти машины оборудованы ротором, на котором закреплены ножи или диски, нарезающие материал на пласти определенной ширины. Ширина резки регулируется путем изменения скорости движения транспортера, подающего кипу отходов.

При выборе типа резальных машин необходимо учитывать вид и химическую природу текстильных отходов. В частности, роторные высокопроизводительные машины не всегда пригодны для переработки текстильных отходов из синтетических волокон, так как при большой скорости резки ножи ротора разогреваются до температуры, при которой возможно оплавление термопластичного полимера, из которого изготовлены волокна.

*Замасливание* текстильных отходов производится с целью облегчения важнейшей операции – разволокнения. В зависимости от

состава и вида отходов применяют различные замасливатели, количество которых достигает 10% от массы отходов. Синтетические отходы могут поступать на разволокнение без замасливания, но увлажненными.

В качестве замасливателей используются поверхностно-активные вещества. Наиболее распространены оксиэтилированные синтетические кислоты (лауриновая, стеариновая и олеиновая), а также некоторые оксиэтилированные жирные спирты.

Кроме того, применяются сульфозефиры высших жирных спиртов и ненасыщенных кислот. Применение минеральных масел для замасливания волокна нежелательно, так как они содержат неомыляемые компоненты, которые отрицательно влияют на процесс последующей отделки текстильных материалов.

Разволокнение замасленных отходов осуществляется на щипальных машинах, где и происходит превращение отходов во вторичное волокно, которое затем используется при выработке всевозможных текстильных материалов: тканей, трикотажа, ковров, нетканых материалов и др.

Принцип действия большинства используемых щипальных машин основан на разрушении текстильных отходов с помощью щипальных барабанов, на поверхности которых расположена гарнитура - разрыхляющие сегменты с зубчатой поверхностью.

На рис. 12.2 показана линия фирмы "Лярош" (Франция) производительностью 1500 кг/ч для подготовки и разволокнения отходов текстильных материалов. Кипы отходов освобождают от обручей и упаковки непосредственно на ленточном конвейере и помещают в бункер гидравлической резальной машины. Затем с помощью специального устройства кипы подают на гильотинный режущий механизм 1, который отрезает от них пласты. Толщина нарезаемых пластов предварительно устанавливается с помощью специального счетчика и может регулироваться в пределах 10 - 220 мм с интервалом 10 мм.

Отрезанные пласты подаются на наклонный ленточный конвейер 2, с помощью которого они перемещаются на ротационную резальную машину 3. Питающий конвейер резальной машины снабжен электромагнитным сепаратором для отделения металлических включений.

Нарезанные отходы с помощью конвейера, вентилятора 4 и конденсера 5 подаются в бункер 6, оборудованный регулятором уровня заполнения. С помощью валиков материал поступает к вентилятору 7 и второму конденсеру 8, который заполняет регулирующую трубу 9, также имеющую регулятор уровня. Благодаря этому на щипальную машину 10 поступает равномерный по толщине пласт материала. Щипальная машина является самой важной частью технологической линии. Основное назначение щипальной машины - разволокнение нарезанных отходов.

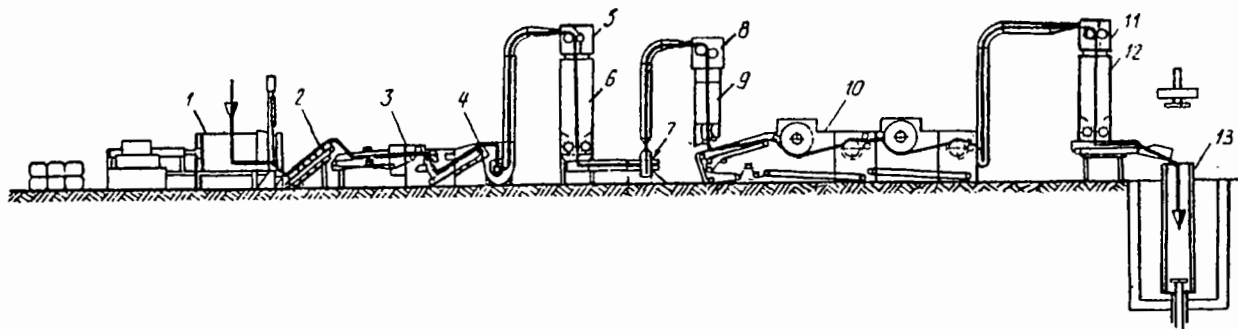


Рис. 12.2. Линия фирмы "Лярош" (Франция) для подготовки и разволокнения лоскута

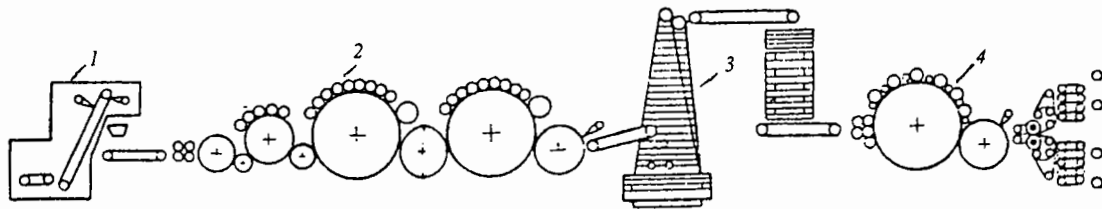


Рис. 12.3. Агрегат для разволокнения отходов из синтетических волокон

Она может иметь разное количество барабанов (до 6) в зависимости от качества перерабатываемых отходов. Каждая секция имеет щипальный барабан с круглыми иглами и перфорированный барабан, с которого разволокненные отходы подаются на следующую секцию щипальной машины. Недостаточно разволокненные отходы автоматически возвращаются в питающее устройство и вновь поступают на щипальный барабан. Секции отличаются количеством и номером игл на щипальном барабане.

После разволокнения полностью восстановленные волокна прессуются в кипы или нашлаиваются в камере. Пресс 13 питается от конденсера 11 и резервного бункера 12.

Текстильные отходы из синтетического волокна могут обрабатываться по сокращенной схеме. Для этого создан агрегат для разволокнения и чесания сырья, схема которого представлена на рис. 12.3. Он включает щипальную машину 2, которая состоит из четырех барабанов и питается от питателя 1, чесальную машину 4 и транспортирующую решетку 3. Все машины приводятся в движение единым валом, что обеспечивает синхронность их работы. Питатель имеет устройство автоматического взвешивания отходов, поступающих в щипальную машину. Ровница, полученная на таком агрегате, поступает на кольцепрядильные машины аппаратной системы прядения. По такому сокращенному циклу можно получать аппаратную пряжу, т.е. нити для производства текстильных тканых или вязаных полотен. Линейная плотность такой пряжи 83 – 200 текс (текс – количество граммов волокна в 1000 м нити).

В последние годы созданы щипальные машины, позволяющие получить более высокую степень разволокнения отходов и уменьшить повреждение образующихся волокон. Перспективными технологиями разволокнения текстильных отходов являются процессы, основанные на использовании ультразвука, водяного пара и сжатого воздуха, которые существенно облегчают и ускоряют отделение волокон друг от друга. При этом разволокнение отходов происходит в щадящих условиях, без разрушения структуры волокна и снижения его прочности.

В современном текстильном производстве все перечисленные операции осуществляются на поточных линиях. Обслуживание линий – автоматическое, с помощью системы управления, которая включает и отключает линию в случае каких-либо неполадок; координирует работу отдельных машин; осуществляет управление питателями, режущими ножами, пневмотранспортом, замасливающим устройством и другими агрегатами; сигнализирует о перебоях в работе агрегатов (отсутствии сырья, вспомогательных веществ и др.).

Вторичные, или восстановленные, волокна являются ценным сырьем для текстильной промышленности. Их используют как в

”чистом” виде, т. е. без добавления первичного волокнистого сярья, так и в смеси с последним.

При смешении восстановленного волокна с исходным первичным волокном получают сырье для высококачественной пряжи, идущей на производство всех видов текстильных материалов. Из него изготавливают и высококачественные нетканые материалы. Содержание вторичного волокна в смеси может достигать 80 – 90% в зависимости от назначения пряжи и материала.

### 12.3. Производство пряжи из разволокненных текстильных отходов

При переработке разволокненных текстильных отходов существенную роль играют чесальные и прядильные машины. Их тип подбирают в соответствии с особенностями сырья, чтобы обеспечить высокое качество продукции и производительность. Предпочтительно использовать чесальные машины, обеспечивающие хорошую очистку волокна от пыли, пуха и сорных примесей.

Современные чесальные машины полностью закрыты, что улучшает условия труда на них. Они имеют один и более приемных барабанов, снабженных зубчатыми разрыхляющими сегментами (рис. 12.4). Питание чесальных машин осуществляется из бункера или путем подачи холста по транспортеру.

Отечественная промышленность производит чесальные агрегаты с различным количеством чесальных машин и разной производительностью марок Ч-31-Ш, Ч-31-Ш4 и Ч-22-Ш, которые работают в автоматическом режиме. Для изготовления пряжи большой линсейной плотности из разволокненных текстильных отходов выпускается роторная прядильная машина ПР-150-1 и аэромеханическая прядильная машина ПАМ-150.

Для прядения восстановленного волокна предпочтительны аэромеханические прядильные машины, которые менее чувствительны к большим различиям в длине и толщине перерабатываемых волокон.

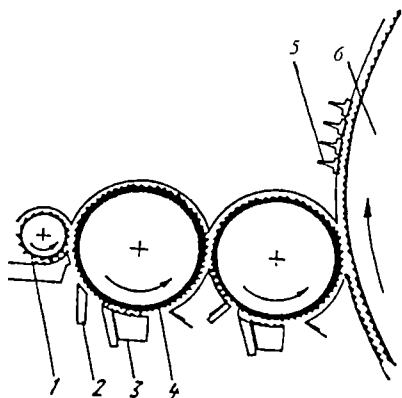


Рис. 12.4. Узел разрыхления чесальной машины:

- 1 – питающий валик; 2 – сороотбойный нож; 3 – разрыхляющий сегмент на приемном барабане; 4 – приемный барабан; 5 – разрыхляющий сегмент на главном барабане; 6 – главный барабан

Прядильная машина ПР-150-1 состоит из четырех секций с 32 прядильными местами. Линейная плотность пряжи 83 – 222 текс при крутке от 200 до 600 м<sup>-1</sup>. Частота вращения ротора в машине достигает 20000 мин<sup>-1</sup>, а расчесывающего валика 8000 мин<sup>-1</sup>, скорость выпуска пряжи 65 м/мин. Пряжа с линейной плотностью 140 текс используется для производства ковров, изоляции для кабелей, а плотностью 125 текс – для изготовления покрывал, обувных прокладочных тканей и т. п.

Принципиально отличается от этой машины аэромеханическая прядильная машина ПАМ-150. Принцип ее действия заключается в формировании пряжи в неподвижной аэродинамической камере с помощью вихревого потока, создаваемого вентилятором. Скручивание пряжи осуществляется механическим крутильным элементом.

Машина состоит из пяти секций по 30 прядильных головок в каждой. Питание машины осуществляется из раздаточных тазов диаметром 300 мм. На машине вырабатывается пряжа большой линейной плотности (71 – 333 текс) со скоростью до 35 м/мин и круткой 300 – 800 м<sup>-1</sup>. Частота вращения расчесывающего валика составляет 7000 – 12000 мин<sup>-1</sup>, крутящего элемента 6000 – 16000 мин<sup>-1</sup>, производительность вентилятора 2000 м<sup>3</sup>/ч. Вентилятор не только создает разрежение воздуха в аэродинамической камере, необходимое для образования пряжи, но и отделяет сорные примеси и неработанные комплексы волокон.

За последние 15 – 20 лет достигнуты значительные успехи в конструировании пневмомеханических прядильных машин. Частота вращения прядильной камеры увеличилась до 90 – 100 тысяч оборотов в 1 мин, скорость выпуска пряжи достигла 225 м/мин, частота вращения расчесывающих валиков 7500 – 9000 оборотов в 1 мин. В машинах имеются устройства для автоматической очистки, зарядки, замены полных бобин на пустые и т.д.

Для прядения шерстяных волокон создана роторная прядильная машина ПР-200-Ш, по принципу действия аналогичная машине ПР-150-1. Эта машина предназначена для прядения коротких шерстяных волокон и их смеси с синтетическими, т. е. специально для прядения вторичных волокон. Производительность машины достигает 30 кг/ч, линейная плотность вырабатываемой пряжи 83 – 1000 текс. Максимальная скорость прядения достигает 120 м/мин при частоте вращения ротора 30000 мин<sup>-1</sup>.

Для переработки вторичных волокон существуют и автоматизированные поточные линии. Технологический процесс на такой линии (рис. 12.5) протекает следующим образом. Кипы разволокненных отходов поступают со склада на специальную площадку перед разрыхлительно-трепальным агрегатом, где распаковываются и подаются подъемно-транспортным устройством на кипоразрыхлители РКА-2У (1), откуда волокнистая масса перемещается в дозирующие бункеры ДБ-У (2). Из дозирующего бункера волокно по-

ступает на питающий конвейер 3, где образуется многослойный (из разных бункеров в нужном соотношении) настил. Далее смесь через конденсёр КБ-3 подается в разрыхлительно-замасливающую машину ЦЗ-140-ШЗ (4), где все компоненты перемешиваются. Затем смесь волокон в течение 10 – 12 ч выравняется по составу и влажности в двух смесовых машинах МСП-8 (5). Очистка смеси волокон происходит на двух наклонных очистителях марки ОН-6-4М (6) и одном осевом марки ЧО-У (7), установленном между ними. В зоне очистки смесь дополнительно разрыхляется и очищается.

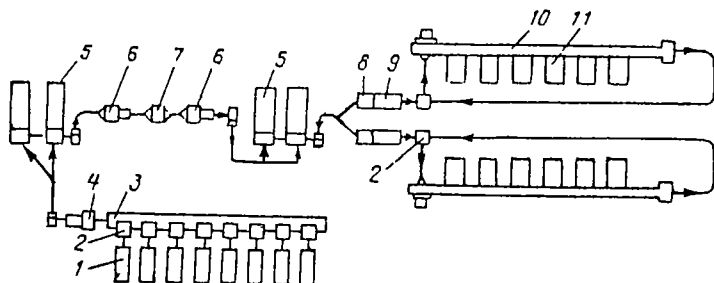


Рис. 12.5. Автоматизированная линия для переработки вторичных волокон

После этого смесь кондиционируется в двух других смесовых машинах МСП-8 (5) в течение 10 – 12 ч при заданном режиме, а затем пневматическим распределителем волокна РВП (8) подается на бесхолстовые трепальные машины МТБ (9). С трепальной машины очищенная и разрыхленная волокнистая масса заданного состава, влажности и температуры поступает через дозирующие бункеры 11 в распределительную систему чесального агрегата АЧМ-14-У (10), снабженную регулятором линейной плотности чесальной ленты. Из чесальной ленты на прядильных машинах ПАМ-150 или ПР-150-1 производится пряжа. Производительность такой поточной линии составляет 360 – 400 кг/ч пряжи.

## 12.4. Производство нетканых материалов из вторичных волокон

Большие возможности для использования текстильных отходов представляет производство нетканых материалов, которые изготавливают из волокон, минуя стадию выработки пряжи.

Технология производства нетканых материалов имеет следующие преимущества: сокращение производственного цикла и интенсификация производства; использование регенерированных волокон; возможность быстрой смены ассортимента выпускаемой про-

дукции; низкая себестоимость продукции; сокращение энергозатрат и расхода материальных ресурсов.

Нетканые текстильные материалы (НТМ) получают различными способами, но все они включают следующие обязательные стадии процесса: смешивание волокон; формирование холста из волокон; закрепление нетканого холста. Понятие "холст" в данном случае относится к однослойной или многослойной волокнистой массе с одинаковой толщиной и плотностью, с требуемым расположением волокон, обладающих заданной длиной.

Свойства НТМ зависят от их структуры, на которую влияют: характеристики волокнистого сырья; технология формирования и закрепления холста; расположение волокон в холсте. Формирование холста из вторичных волокон возможно механическим, аэро- и гидродинамическим способами.

*Механическое* холстообразование осуществляется с помощью чесальных машин, которые позволяют получить холст заданной ширины и развеса. Этот способ отличают хорошее разрыхление и смешивание различных волокон, а также возможность переработки волокна, неоднородного по качеству. При использовании в производстве нетканых изделий чесальных машин особое внимание уделяется созданию условий для формирования холста. Этому способствуют вибропитатели, которые обеспечивают равномерность подачи волокнистой массы за счет высокой точности ультразвукового контроля наполнения волокном вибрационной шахты. Этим способом из текстильных отходов изготавливают НТМ среднетяжелого и тяжелого типов. Для получения холстов большой массы чесальные машины агрегируются последовательно, что позволяет наслаивать образующиеся на каждой машине слои (ватки) друг на друга.

*Аэродинамическое* формование холста осуществляется с помощью воздушного потока, который транспортирует волокно в зону образования холста. При этом способе холст формируется на поверхности перфорированного барабана или сетчатого конвейера. Предварительно разрыхленные и смешанные волокна отделяются от разрабатывающих элементов холстообразователя с помощью воздушной струи и транспортируются к месту образования холста. Отличительные особенности данного способа холстообразования: возможность изготовления изотропного холста; возможность перерабатывать волокна, значительно отличающиеся по своим свойствам и длине; возможность быстрого изменения развеса холста; высокая производительность.

Аэродинамическим способом можно изготавливать холст развесом  $10 - 2000 \text{ г/м}^2$ . Недостатком аэродинамического способа является зависимость качества полотна от линсйной плотности перерабатываемых волокон. В частности, тонкие легкие волокна забива-



ют отверстия перфорированного барабана, увеличивая аэродинамическое сопротивление и ухудшая условия их транспортировки.

Холсты, полученные аэродинамическим способом, могут использоваться при изготовлении линолеума, прокладок, тепло-, шумоизоляционных материалов, наполнителей для подушек, матрацев, спальных мешков и других изделий.

Технология аэродинамического холстообразования ясна из схемы, приведенной на рис. 12.6. Предварительно разрыхленные волокна подаются на быстро вращающийся расчесывающий барабан и захватываются им с помощью специальной гарнитуры. Под действием центробежной силы и воздушного потока волокна отделяются от гарнитуры ба-

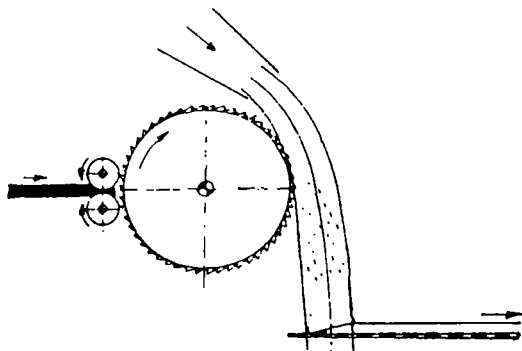


Рис. 12.6. Схема аэродинамического формирования холста НТМ

рабана и транспортируются на поверхность перфорированного барабана или сетчатого конвейера. Одним из главных технических параметров процесса является скорость воздушного потока. При малой скорости волокно плохо прижимается к перфорированному барабану (или сетчатому конвейеру) и происходит сдвиг волокнистой массы, что приводит к неравномерности полотна. При большой скорости отверстия барабана забиваются волокном. Для оптимальной работы оборудования целесообразно поддерживать скорость воздушного потока в пределах 10 – 15 м/с. Скорость формирования холста достигает 80 м/мин.

*Гидродинамический способ* холстообразования (его иногда называют мокрым или бумагоделательным) реализуется с помощью водной среды, которая является одновременно дисперсионной средой для волокна и транспортирующим агентом для его перемещения в зону образования холста.

Гидродинамический способ образования холста позволяет: использовать короткие дешёвые волокна, образующиеся при переработке отходов; смешивать в любом соотношении волокна различного вида и происхождения; получать полностью изотропное полотно, у которого свойства одинаковы во всех направлениях. При производстве холста гидродинамическим способом можно использовать

не только короткие регенерированные текстильные волокна, но и целлюлозные и другие трудноперерабатываемые иными способами волокна. Основные преимущества гидродинамического способа формирования холста заключаются в возможности смешивания и использования самых различных, в том числе очень дешевых, волокон, и получении полотна с высокой однородностью свойств. Способ позволяет получать холст с плотностью 10 – 2000 г/м<sup>2</sup>. На рис. 12.7 показана схема агрегата гидродинамического формирования холста НТМ.

При этом способе в специальных емкостях образуется дисперсия волокна в воде с концентрацией 0,01 – 0,1%. Дисперсия перемешивается с помощью лопастной мешалки и подается на наклонное сито в зону формирования холста. Вода, прошедшая через сито, возвращается в производственный цикл, а сформированный холст закрепляется с помощью связующих веществ и подается в сушилку.

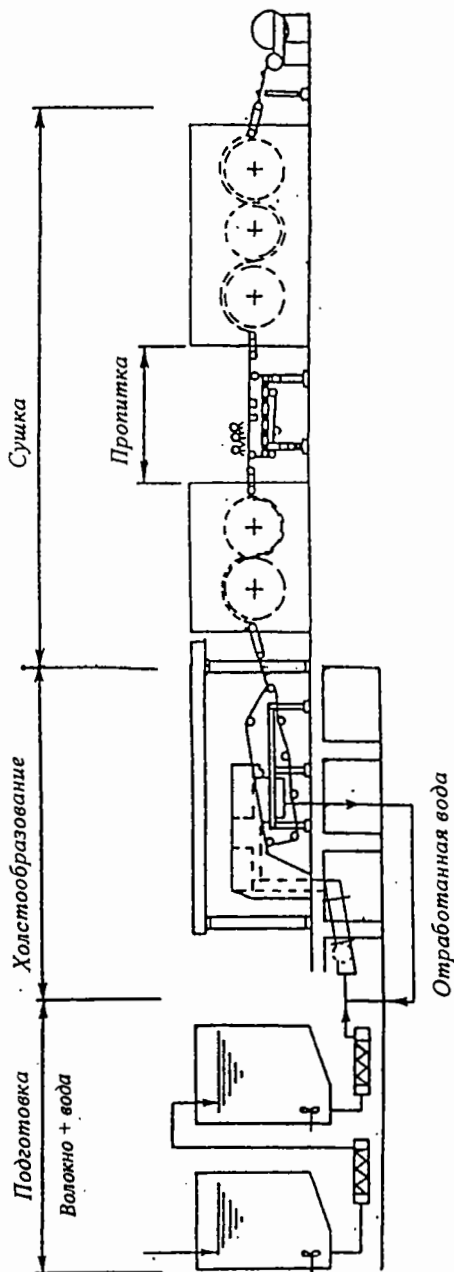


Рис. 12.7. Принципиальная схема установки гидродинамического формирования холста НТМ

Скорость выпуска холста этим способом на современных машинах достигает 400 м/мин при ширине полотна 5 м. Этим способом можно формировать холсты для изготовления тяжелых и среднетяжелых нетканых материалов, используемых в производстве линолеума, геотекстильных материалов, фильтров с большой плотностью, гидро- и электроизоляционных материалов.

Производство нетканых текстильных материалов из сформированного волокнистого холста осуществляется иглопробивным, вязально-прошивным и клеевым способами.

Самым распространенным является *иглопробивной*, при котором можно использовать холсты, сформированные механическим и аэродинамическим способами. По этой технологии производят НТМ из холста плотностью 50 – 2000 г/м<sup>2</sup>, а иногда и до 5000 г/м<sup>2</sup>. Иглопробивная технология состоит из следующих операций: подготовки и смешивания волокна, формирования холста, иглопрокалывания, финишной отделки (при необходимости). Для увеличения прочностных свойств иглопробивных НТМ иногда используют армирующие текстильные полотна различных способов производства (ткани, трикотаж, НТМ).

При иглопробивной технологии для получения холста можно использовать почти все виды волокон: натуральные, искусственные, синтетические, металлические, стеклянные, асбестовые, минеральные. Наибольшее влияние на свойства НТМ, полученных иглопробивным способом, оказывают следующие свойства волокон: длина, извитость, линейная плотность, форма поперечного сечения, структура поверхности, эластичность, устойчивость к многократным деформациям и др.

Этим способом целесообразно получать НТМ, для которых эксплуатационные характеристики не зависят от различий в свойствах образующих волокон. Такими изделиями являются среднетяжелые и тяжелые материалы, где разница в свойствах волокон нивелируется за счет больших толщин холста. По этой технологии изготавливают НТМ для производства: напольных покрытий (ковров); технических войлоков; объемных прокладок для швейной промышленности; тепло-, звукоизоляционных материалов; фильтровальных материалов и др.

Например, в конструкции автомобилей широко используют тепло-, звукоизоляционные материалы с плотностью холста 1000 г/м<sup>2</sup>, полученные иглопробивным способом из текстильных отходов. Такие материалы, изготавливаемые из регенерированных волокон, обладают прекрасными акустическими и механическими свойствами (табл. 12.1). Физико-механические и акустические свойства шумопоглощающего иглопробивного нетканого материала из регенерированных волокон приведены ниже:

|   | Шерстяные<br>волокна | Смесь ПВХ и<br>полиамидных<br>волокон |
|---|----------------------|---------------------------------------|
| Толщина, мм . . . . .                               | 4                    | 10                                    |
| Поверхностная плотность, г/м <sup>2</sup> . . . . . | 1300                 | 1000                                  |
| Разрывная нагрузка, Н, в направлении:               |                      |                                       |
| продольном . . . . .                                | 325                  | 620                                   |
| поперечном . . . . .                                | 170                  | 700                                   |
| Теплопроводность, Вт/(м · К)                        | 0,042                | 0,038                                 |
| Грибоустойчивость, баллы . . . . .                  | 3                    | 0                                     |
| Коэффициент звукопоглощения, %, на частотах, Гц:    |                      |                                       |
| 250 . . . . .                                       | 8                    | 8                                     |
| 500 . . . . .                                       | 12                   | 15                                    |
| 1000 . . . . .                                      | 18                   | 34                                    |
| 2000 . . . . .                                      | 25                   | 48                                    |
| 4000 . . . . .                                      | 39                   | 55                                    |
| 6000 . . . . .                                      | 51                   | 78                                    |

Иглопробивным способом изготавливаются и геотекстильные материалы. Они имеют плотность холста 250 – 850 г/м<sup>2</sup> и предназначены для фильтрации и стабилизации насыпаемого на них грунта. Такие материалы используют при строительстве железных и автомобильных дорог, в борьбе с эрозией почвы, для укрепления берегов каналов, водохранилищ, пляжей, дамб, насыпей, при строительстве спортивных площадок, взлетно-посадочных полос аэродромов и для других целей. Срок службы таких материалов, изготовленных из синтетических волокон, не менее 20 лет, поскольку волокна не подвержены гниению. Наиболее целесообразно при производстве геотекстильных материалов использовать полиэфирные и полипропиленовые волокна, полученные из отходов.

При вязально-прошивном способе производства закрепление холста производится с помощью тех же волокон или с применением ниток. В первом случае принципиально важно использовать холст, имеющий не менее 30% волокон длиной более 40 мм, которые и должны выполнить закрепляющую роль и обеспечить прочность изделия.

Вязально-прошивным способом из восстановленных волокон изготавливают одеяла, упаковочные материалы, подкладочные материалы для мебели и обуви, для напольных покрытий (линолеума и ковра) с плотностью холста 200 – 400 г/м<sup>2</sup>.

При клеевом способе закрепление холста производится путем пропитки дисперсией связующего вещества или оплавлением термопластичных волокон, входящих в состав полотна. В качестве

связующего для закрепления холста применяются полиакрилатные дисперсии, бутадисн-стирольные и бутадисн-акрилонитрильные латексы, связующие вещества на основе поливинилацетата, полиуретана и др.

На рис. 12.8 показана поточная линия для производства НТМ путем закрепления холста с помощью дисперсии связующего вещества. Предварительный питатель 1, смеситель-разрыхлитель 2 и аэродинамический холстообразователь 3 формируют холст, который проходит через пропиточную ванну 4 и с помощью транспортирующей сетки 5 подается на перфорированный барабан 6 и далее в вакуумирующее устройство 7, где происходит стекание и удаление с помощью вакуума излишнего связующего. Затем материал высушивается в сушилке конвективного типа 8 и наматывается в рулоны 9.

Закрепление холста по другому способу изготовления клееного НТМ достигается путем тепловой его обработки, в результате которой часть волокон холста с более низкой температурой плавления, чем у основной массы волокон, оплавляется и скрепляет весь холст. В качестве оплавляемых применяют волокна из ПВХ, полиэтилена, полипропилена. Технологическая схема производства клееного НТМ с закреплением холста с помощью волокон из термоплавких полимеров проста и состоит из операций по формированию холста и его термической обработки. Вследствие этого указанная технология по сравнению с пропиткой холста дисперсией связующего и последующей сушкой имеет ряд преимуществ: возможность использования дешевых связующих полимеров; более высокая производительность; меньшие площади, занимаемые оборудованием, отсутствие сточных вод и вредных выбросов; менее высокая энергоемкость.

Следует отметить, что с увеличением доли синтетических волокон в текстильных материалах переработка их отходов по классической текстильной технологии становится не всегда эффективной с точки зрения получения высококачественного вторичного сырья. Поэтому в последние годы появились принципиально новые, химические способы переработки отходов текстильных материалов из синтетических волокон.

Один из таких способов заключается в измельчении отходов и подаче их шнеком на специальный экструдер-гранулятор, где они расплавляются и очищаются от вспомогательных веществ, содержащихся в текстильном материале. Благодаря специальной конструкции экструдера в него одновременно с отходами подается первичный полимерный материал, который смешивается с расплавленными и очищенными отходами, что позволяет повысить свойства получаемых гранул.

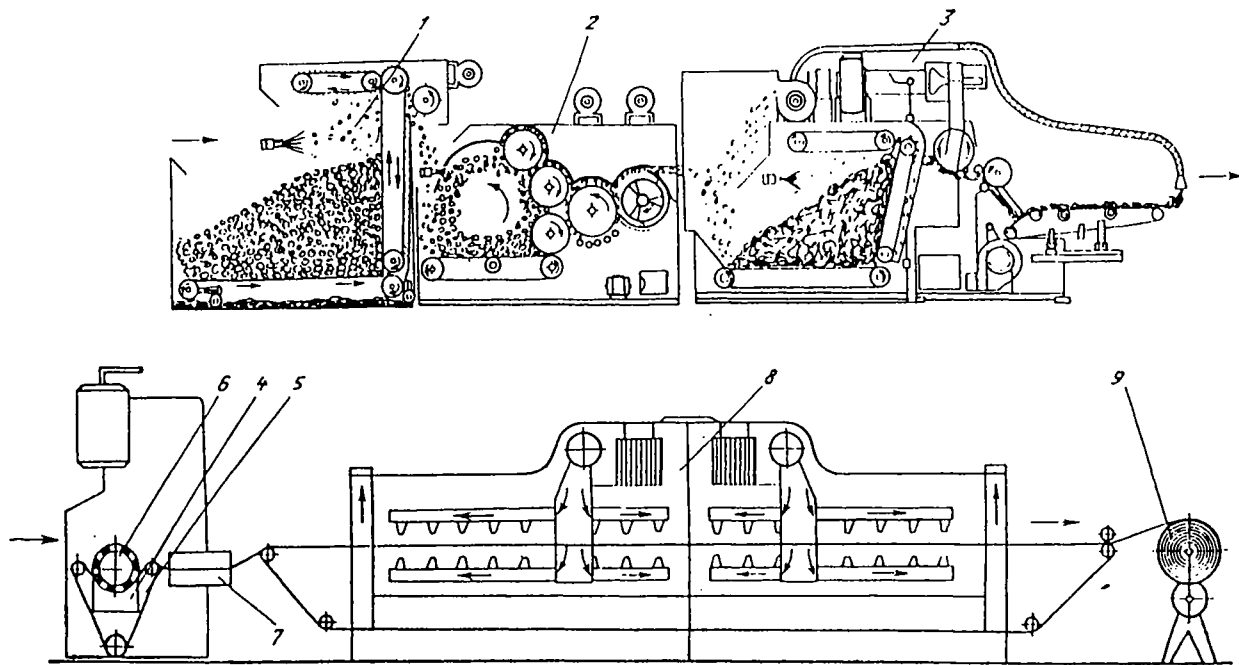


Рис. 12.8. Схема производства клееного нетканого материала с пропиткой связующим

Другим нетрадиционным способом переработки отходов текстильных материалов из синтетических волокон является экстрагирование селективными растворителями полимерной части отходов, благодаря которому можно получать очищенный от всех примесей полимер. Технологический процесс регенерации синтетического полимера из текстильных отходов состоит из следующих стадий: измельчения отходов; растворения синтетических волокон; фильтрации раствора от нерастворимых примесей; высадки полимера из растворителя; сушки полимера; грануляции полимера.

Таким образом, современная промышленность располагает различными технологиями и оборудованием для переработки текстильных отходов. Окончательное решение о выборе того или иного способа переработки может быть принято после технико-экономического анализа, позволяющего учесть все расходы, в том числе транспортные (на доставку отходов) и энергетические (на проведение техпроцесса), а также наличие устойчивого спроса на продукцию из перерабатываемых отходов.

# Глава 13. ПЕРЕРАБОТКА ОТХОДОВ ДРЕВЕСИНЫ

## 13.1. Образование, классификация и использование отходов древесины

В настоящее время в стране заготавливается около 500 млн. м<sup>3</sup> древесины. При этом на всех стадиях процесса от заготовки до переработки древесного сырья образуется значительное количество отходов. Только на лесозаготовках в отходы уходит более 32% вырубленного леса.

Объем использования древесины в различных производствах приведен ниже, %:

|  |    |
|--|----|
| Лесопиление и деревообработка . . . . .    | 41 |
| Целлюлозно-бумажное производство . . . . . | 23 |
| Гидролизное и лесохимическое производство  | 4  |

Кроме того, значительная часть древесины используется в необработанном виде (32%), в том числе в качестве топлива (13%). Наибольшая часть древесины, как это видно из приведенных данных, расходуется на лесопиление, где и образуется больше всего отходов: только 60 – 62% исходного сырья превращается в основную продукцию.

Отходами лесопильного производства являются горбыли, рейки, обрезки досок, вырезки дефектных мест, опилки, стружка и кора. На рис. 13.1 приведена технологическая схема лесопильного производства. При выработке длинномерных обрезных досок в горбыли отходит 6 – 10% от объема бревна, 10 – 13% превращаются в рейки; 2 – 4% - в обрезки досок; 11 – 12% - в опилки; 2 – 3% идет на вырезку дефектных участков.

Кроме того, безвозвратно при сушке теряется 5 – 7% и распыляется 1 – 2%. Количество коры составляет около 10 – 12% от всего объема бревна (кора, правда, не входит в баланс древесины и считается внебалансовым отходом). В раскройных цехах при раскрое необрезных досок на заготовки образуется 7 – 10% опилок, 10 – 15% обрезков. В строгальных цехах отходы в виде стружки составляют 12 – 20% объема поступающих пиломатериалов. Вследствие этого в себестоимости пиленой продукции затраты на сырье составляют 70 – 80% от затрат на ее выработку.

Из всего количества образующихся древесных отходов только 60 – 65% используется в качестве вторичного сырья, остальные сбрасываются в отвалы, отрицательно влияя на окружающую среду.



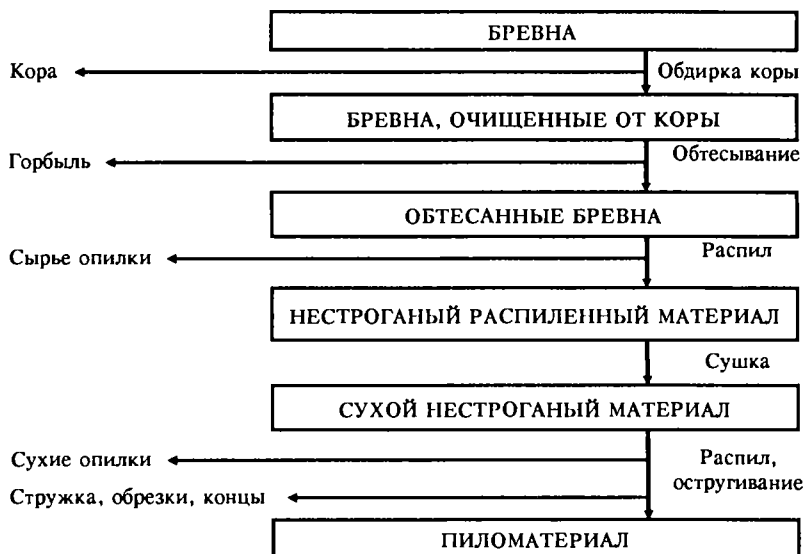


Рис. 13.1. Технологическая схема лесопильного производства

Значительное количество отходов образуется при использовании древесины на предприятиях автомобильной промышленности, в транспортном строительстве, станкостроении, торговле, коммунальном хозяйстве, мебельной промышленности и других отраслях экономики.

Древесные отходы можно классифицировать по ассортименту выпускаемой продукции (отходы пиломатериалов, фанеры, древесно-волоконистых плит и др.), по породам древесины (отходы хвойных, лиственных пород деревьев), по влажности (сухие — с влажностью до 15%, полусухие — с влажностью 15–30%, влажные — с влажностью выше 30%), по структуре (кусковые, сыпучие) и другим признакам.

По количеству отходов деревообрабатывающая промышленность стоит на одном из первых мест. Количество отходов в этой отрасли зависит от качества перерабатываемого сырья, типа и размера изготавливаемой продукции, используемой технологии и применяемого оборудования. Количество отходов, образующихся, например, на мебельной фабрике, достигает 60% от всей использованной древесины.

К отходам, объем которых зависит от используемого для раскрытия оборудования, относят опилки. Объем древесины, переходя-

щей в опилки, зависит от толщины пил: чем тоньше пила, тем меньше опилок. Их образование можно вообще устранить, если использовать другие способы деления древесины. К отходам, обусловленным качеством исходного сырья, относятся горбыли, торцовые срезки, рейки, разнообразные вырезки с пороками и дефектами.

Все отходы древесины являются ценным сырьем для производства различной продукции, однако по возможности утилизации они не равноценны. Наибольшую ценность представляют деловые отходы, из которых можно изготавливать разнообразную мелкую пилопродукцию. К ним относятся горбыли, рейки, крупные кусковые отходы. Их можно использовать и для производства целлюлозы, древесно-волоконистых плит (ДВП), древесно-стружечных плит (ДСП), цементно-стружечных плит (ЦСП) и химической продукции.

Менее ценны отходы, возможность использования которых ограничена (стружки, опилки, мелкие кусковые отходы, щепка). Опилки и стружки благодаря адсорбирующим, абразивным, изоляционным и другим свойствам широко используют в различных производствах: для хозяйственных целей и как технологическое сырье.

Щепка и мелкие кусковые отходы являются исходным химическим сырьем при производстве строительных материалов, вязкого волокна (а затем тканей), технического спирта, кормовых дрожжей, уксуса, целлюлозы, бумаги, картона и многих других продуктов. Для производства этой продукции древесина измельчается, а затем поступает на переработку по специальной технологии, используемой при производстве конкретной продукции. Часть древесных отходов в брикетированном виде применяют как топливо для бытовых и промышленных печей.

Необходимо упомянуть об энергохимическом использовании отходов древесины в газогенераторных установках. Принцип энергохимического использования отходов древесины основан на газификации древесины и получении из нее химических продуктов и горючего газа с последующим использованием его в качестве топлива. После войны находились какое-то время в эксплуатации автомобили с газогенераторными установками. Источником энергии для двигателя таких автомобилей была древесина. Теплота сгорания вырабатываемых из отходов древесины генераторных газов составляет  $6400 - 7200 \text{ кДж/м}^3$ , а выход газов  $0,45 - 0,7 \text{ м}^3/\text{кг}$  сухого топлива.

В обобщенном виде возможности утилизации различных отходов лесопиления и деревообработки представлены в табл. 13.1.

Таблица 13.1

## Направления использования древесных отходов

| Виды отходов    | Использование отходов   |
|-----------------|---|
| Кусковые отходы | Для выработки цельных и клееных заготовок, мелкой пилопродукции; технологической щепы для производства целлюлозы и другой продукции с измельчением древесины; в лесохимическом производстве; в качестве топлива |
| Опилки          | Для производства спирта, кормовых дрожжей, целлюлозы, древесной муки, строительных материалов; в лесохимическом производстве; для хозяйственно-бытовых нужд; в сельском хозяйстве; для технологических целей    |
| Стружка         | Для изготовления плит, строительных блоков; в лесохимическом производстве   |
| Кора            | Для получения дубителей в лесохимическом производстве; для изготовления удобрений   |

### 13.2. Переработка кусковых отходов древесины в технологическую щепу

Для использования в лесохимической и целлюлозно-бумажной промышленности, в производстве строительных материалов кусковые отходы деревообработки должны быть переработаны в технологическую щепу. Этот процесс осуществляется в лесопильном производстве, а сама щепка является сопутствующей товарной продукцией.

Щепка – основное сырье целлюлозно-бумажной, гидролизной промышленности и ряда других отраслей, эффективность работы которых зависит от ее качества и от стабильности поставок. Важнейшими показателями качества щепы являются: содержание коры, гнили и минеральных частиц, фракционный состав, качество поверхности и угол среза частиц, порода дерева, из которого она изготовлена. Производство щепы не только дает возможность утилизировать отходы древесины, но имеет и важное самостоятельное значение.

В зависимости от назначения к технологической щепе предъявляются различные требования. Особенно важно, чтобы щепка не содержала посторонних включений: металла, гнили, песка и т. п. Содержание коры строго лимитируется в зависимости от дальнейшего применения щепы. Например, щепка, идущая на варку целлюлозы, вообще не должна содержать кору. Содержание коры в щепке, идущей на производство ДВП и ДСП, не должно превышать 15%. Для изготовления специальных высококачественных ДВП применяется щепка, содержание коры в которой не превышает 3%. Поэтому при изготовлении щепы, идущей в целлюлозно-бумажное

производство и на изготовление таких ДВП, используют только очищенные от коры отходы древесины, т. е. отходы, образующиеся от распиловки окоренных бревен.

В зависимости от назначения (вида производства) щепы должна иметь размеры, указанные ниже, мм:

|                                     | Длина   | Толщина |
|-------------------------------------|---------|---------|
| Целлюлозно-бумажное . . . . .       | 15 – 25 | 5       |
| Древесно-волоконистых плит          | 10 – 35 | 5       |
| Древесно-стружечных плит:           |         |         |
| плоского прессования . . . . .      | 20 – 60 | 30      |
| экструзионного формования . . . . . | 5 – 40  | 30      |
| Гидролизное                         | 5 – 35  | 5       |

Технология подготовки древесных отходов к переработке в щепу зависит от ее назначения, так как требования, предъявляемые к щепе для различных производств, неодинаковы. Наименее простая подготовка осуществляется при изготовлении щепы для гидролизной промышленности и производства древесно-волоконистых плит. Технология производства щепы включает несколько стадий (рис. 13.2).



Рис. 13.2. Технологическая схема производства щепы

Собранные древесные отходы контролируются на отсутствие в них посторонних предметов (прежде всего – из металла). После измельчения кусковых отходов на рубильных машинах они сортируются на щепосортировочных установках, доизмельчаются и транспортируются на склад.

В процессе производства щепы основной операцией является измельчение древесных отходов. Эта операция определяет качество и выход кондиционной технологической щепы, а также удельные энергозатраты на ее производство. Измельчение кусковых отходов осуществляют на рубильных машинах. В зависимости от формы ротора рубильные машины делятся на барабанные, дисковые и конические.

Ротор барабанной рубильной машины выполнен в виде барабана, на поверхности которого установлены режущие ножи. Ротором дисковой рубильной машины является диск, на котором расположены режущие элементы. Ротор конической рубильной машины представляет собой усеченный конус, на образующей поверхности которого размещены режущие ножи. На барабанных рубильных машинах получают щепу низкого качества, с неоднородным фракционным составом и с поврежденными волокнами, что связано с их конструкцией. Такая щепа может использоваться для гидролизного производства, но малопригодна для целлюлозно-бумажной промышленности и изготовления ДВП и ДСП. Для получения щепы, пригодной для этих производств, используют дисковые рубильные машины с плоским и геликоидальным дисками. Характеристики отечественных рубильных машин приведены в табл. 13.2.

Для переработки кусковых отходов лесопильного производства на технологическую щепу предназначены рубильные машины типа МР2-20 (рис. 13.3). Эта машина может изготавливаться с верхним и нижним выбросом щепы.

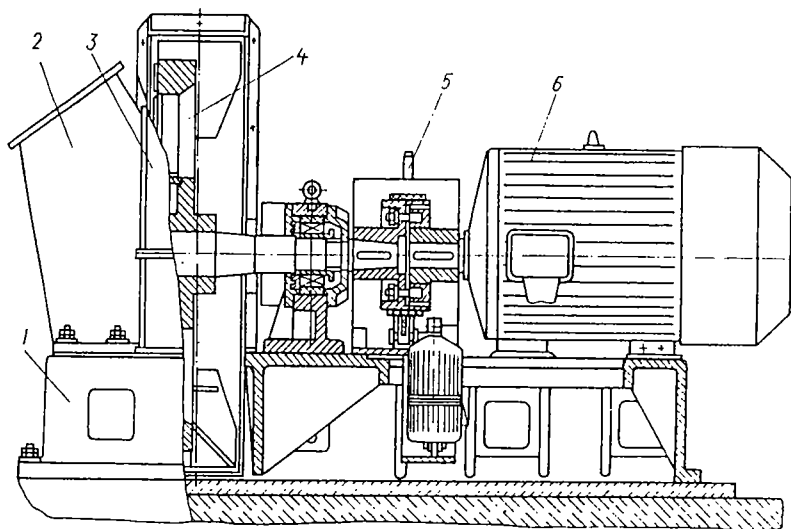


Рис. 13.3. Схема рубильной машины МР2-20:

1 - станина; 2 - патрон; 3 - кожух; 4 - ротор; 5 - тормоз; 6 - электродвигатель

## Характеристики рубильных машин

| Показатели                                  | МРНП-10 | МРНП-30 | МРГ-40  | МР2-20  | МР3-40Н | МР3-50Н | МР3-40ГБ | МР3-50ГБ | МРР8-50ГН | МРН-40-1 |
|---|---------|---------|---------|---------|---------|---------|----------|----------|-----------|----------|
| 1   | 2       | 3       | 4       | 5       | 6       | 7       | 8        | 9        | 10        | 11       |
| Производительность, м <sup>3</sup> /ч       | 10      | 30      | 40      | 20      | 32 - 40 | 50 - 60 | 32 - 40  | 50 - 60  | 50        | 40       |
| Поперечные размеры загрузочного патрона, мм | 250×250 | 250×250 | 580×350 | 250×350 | 430×430 | 430×430 | 350×600  | 350×600  | 800       | 460      |
| Размеры перерабатываемого сырья, мм:        |         |         |         |         |         |         |          |          |           |          |
| максимальный диаметр                        | 220     | 220     | 320     | 220     | 315     | 315     | 315      | 315      | 800       | 440      |
| максимальная длина при диаметре 250 мм      | 1000    | 1600    | 4000    | 1000    | 3000    | 4000    | 1500     | 2500     | Любая     | 4000     |
| минимальная длина                           | 700     | 700     | 1000    | 700     | 700     | 700     | 1000     | 1000     | 1500      | 700      |
| максимальные размеры горбыля                | 100×220 | 220     | 200×500 | 90×350  | 100×420 | 100×420 | 100×600  | 100×600  | 800       | 250×440  |
| Параметры ротора:                           |         |         |         |         |         |         |          |          |           |          |
| диаметр диска, мм                           | 1270    | 1270    | 1600    | 1270    | 1600    | 1600    | 1600     | 1600     | 2900      | 1600     |
| число ножей, шт.                            | 16      | 16      | 10      | 16      | 15      | 15      | 15       | 15       | 25 резцов | 6        |
| частота вращения, мин <sup>-1</sup>         | 590     | 590     | 585     | 600     | 600     | 600     | 600      | 600      | 150       | 600      |

| 1   | 2     | 3     | 4     | 5     | 6     | 7     | 8                            | 9                            | 10    | 11    |
|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------------------------------|------------------------------|-------|-------|
| Направление вы-<br>броса щепы   | Вверх | Вверх | Вверх | Вверх | Вниз  | Вниз  | Боковое<br>(безудар-<br>ное) | Боковое<br>(безудар-<br>ное) | Вниз  | Вверх |
| Параметры электро-<br>двигателя:  |       |       |       |       |       |       |                              |                              |       |       |
| мощность, кВт   | 55    | 90    | 160   | 75    | 160   | 200   | 160                          | 200                          | 160   | 160   |
| частота враще-<br>ния, мин  | 590   | 590   | 585   | 600   | 600   | 600   | 600                          | 600                          | 600   | 600   |
| напряжение<br>тока, В   | 380   | 380   | 380   | 380   | 380   | 380   | 380                          | 380                          | 380   | 380   |
| Габаритные разме-<br>ры машины с при-<br>водным двигателем<br>и грузочным пат-<br>роном, м: |       |       |       |       |       |       |                              |                              |       |       |
| длина   | 2600  | 2600  | 3610  | 2790  | 3475  | 3675  | 3300                         | 3500                         | 3160  | 3760  |
| ширина  | 1600  | 1670  | 2420  | 1640  | 1950  | 1950  | 2380                         | 2380                         | 5092  | 1910  |
| высота  | 1745  | 1745  | 2145  | 1505  | 2100  | 2100  | 1870                         | 1870                         | 3255  | 2470  |
| Масса машины с<br>электрооборудо-<br>ванием и зап-<br>частями, кг                           | 4553  | 4500  | 12000 | 6295  | 12000 | 12000 | 12000                        | 12000                        | 27300 | 12000 |

Низкокачественную древесину и отходы, образующиеся на лесозаготовках, целесообразно измельчать на рубильной машине МРНП-30, конструкция которой показана на рис. 13.4.

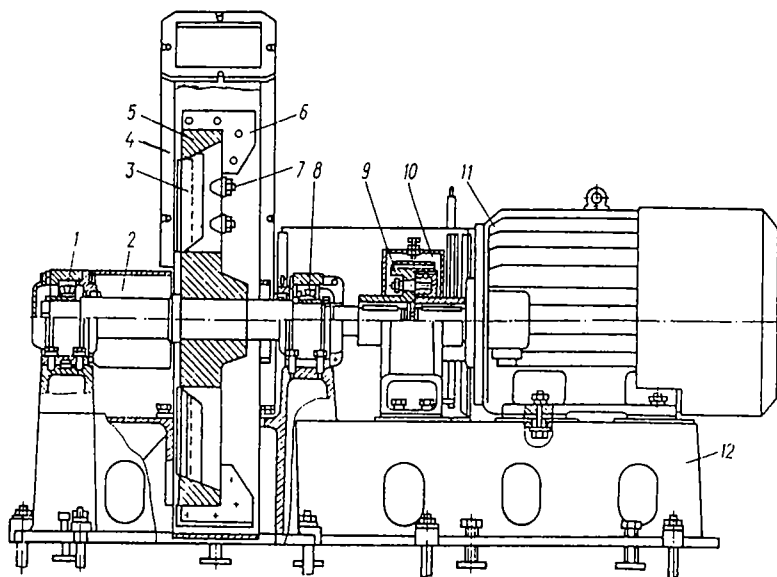


Рис. 13.4. Схема рубильной машины МРНП-30:

1, 8 – роликовые подшипники; 2 – вал; 3 – нож; 4 – кожух; 5 – ножевой диск;  
6 – лопасть; 7 – шпилька; 9 – втулочно-пальцевая муфта; 10 – ленточный тормоз;  
11 – электродвигатель

Дисковые рубильные машины выпускают с наклонной и горизонтальной подачей перерабатываемого сырья. В машинах с наклонной подачей сырья загрузочный люк приемного патрона располагается под углом  $45 - 50^\circ$  к горизонтальной плоскости (или плоскости диска машины). Поэтому в таких машинах щепа всегда срезается под углом в пределах  $45 - 50^\circ$  к направлению волокон, в результате чего значительно уменьшается расход энергии на измельчение древесины.

Основной рабочий орган дисковых рубильных машин – стальной диск с радиально закрепленными на нем ножами, количество которых может быть от 3 до 16 (рис. 13.5). Диск заключен в кожух и закреплен на стальном валу, вращающемся в двух или трех подшипниках скольжения или в роликовых подшипниках.

В зависимости от аппарата подачи (загрузочного патрона) дисковые рубильные машины бывают со свободной и принудительной подачей древесины к диску для дальнейшей переработки в щепу. В



рубильных машинах со свободной подачей древесина поступает к ножам диска за счет ее самозатягивания.

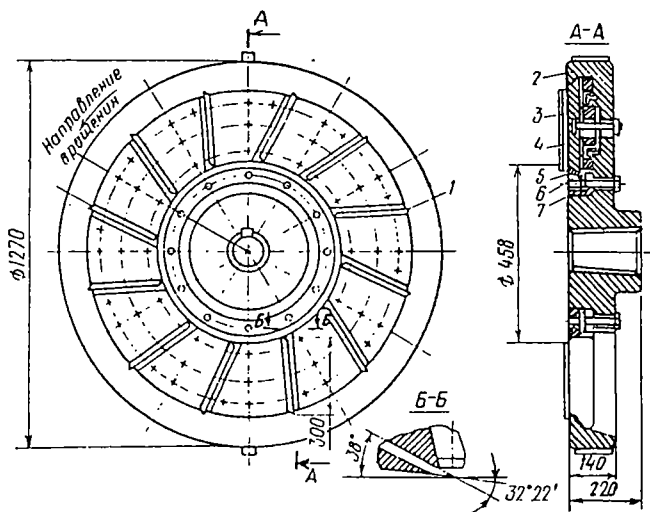


Рис. 13.5. Диск рубильной машины:

1 — ножи; 2 — корпус диска; 3 — подкладка; 4 — накладка; 5 — конусное кольцо; 6 — кольцевая гайка; 7 — втулка

Механизм принудительной подачи материала в машину представляет собой два ряда приводных валков с шипами. Перерабатываемый материал захватывается валками и направляется к режущим ножам. Величина просвета между нижним и верхним подающими валками определяется толщиной перерабатываемого слоя отходов и регулируется перемещением верхних подающих валков вверх или вниз под действием противовеса или пружин.

Схемы резания древесины в дисковых рубильных машинах показаны на рис. 13.6. Геликоидальная рабочая поверхность диска представляет собой винтовую поверхность, которая сливается с задними кромками ножей, заточенными по той же винтовой линии. При вращении такого диска и при одновременной подаче древесины к диску ножи срезают древесину не в одной плоскости, как у машин с плоским диском, а по винтовой линии. Резание происходит не в вертикальной плоскости, а по ходу винта. Благодаря этому обеспечивается устойчивое положение и самозатягивание перерабатываемой древесины в процессе резания.

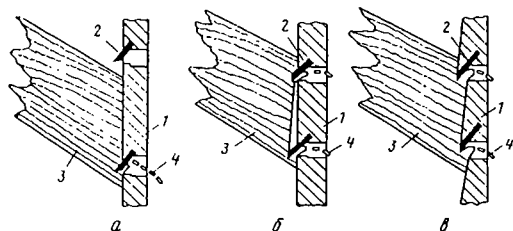


Рис. 13.6. Схема резания древесины в дисковых рубильных машинах:

а — в малоножевых машинах с плоским диском; б — в многоножевых машинах с плоским диском; в — в многоножевых машинах с геликоидальным диском; 1 — ножевой диск; 2 — нож; 3 — перерабатываемый материал; 4 — щепка

Многоножевые рубильные машины с геликоидальной поверхностью диска могут перерабатывать на щепу не только отходы лесопиления, но и круглый лесоматериал, "карандаши" фанерного производства и др.

Полученная на рубильных машинах щепка сортируется по размерам на установках вибрационного или гирационного (с круговым качанием сит в горизонтальной плоскости) типа. Наиболее рационально использование подвесных и напольных гирационных сортировочных машин, основу которых составляют три последовательно установленных по вертикали короба сита с отверстиями различных размеров. (В последнее время появились установки с двумя ситами.) Сита совершают качательные движения в горизонтальной плоскости. На верхнем сите остаются самые крупные куски древесины, которые поступают на повторное измельчение. Со среднего и нижнего сит выходят две фракции щепы, а опилки и мелочь, проскочившие через все три сита, поступают в бункер для опилок. Технические характеристики сортировочных установок приведены в табл. 13.3.

Таблица 13.3

Характеристики установок для сортировки щепы

| Показатели                            | СЩ-1М | СЩ-60М | СЩ-120 | СЩ-140 |
|---------------------------------------|-------|--------|--------|--------|
| Производительность, м <sup>3</sup> /ч | 60    | 65     | 120    | 140    |
| Количество сит, шт.                   | 3     | 3      | 3      | 2      |
| Площадь сит, м <sup>2</sup> :         |       |        |        |        |
| верхнего                              | 2,88  | 2,88   | 8,4    | 4,0    |
| среднего                              | 2,56  | 2,56   | 8,4    | -      |
| нижнего                               | 2,88  | 2,88   | 7,5    | 4,0    |
| Частота колебаний, с <sup>-1</sup>    | 3     | 3      | 2,5    | 3      |
| Мощность привода, кВт                 | 3     | 3      | 4,5    | 3      |

Для того чтобы определить кондиционность получаемой продукции и при необходимости внести своевременные коррективы в технологический процесс, проводят лабораторный анализ сырья и готовой продукции. При анализе определяют качество срезов у щепы, ее фракционный состав, наличие и количество посторонних включений, влажность.

Транспортирование щепы в пределах предприятия осуществляется с помощью ленточных, скребковых и шнековых транспортеров, а также пневмотранспортом.

Пневмопогрузчики щепы, характеристики которых приведены в табл. 13.4, отличаются от обычных пневмотранспортных установок более высокой производительностью, обеспечивающей минимальный простой транспортных средств под погрузкой. Для транспортирования щепы за пределами предприятия, вырабатывающего щепу, используют автомобильный, водный и железнодорожный транспорт. Автомобильная промышленность Белоруссии и Украины изготавливает специализированные автомобили для перевозки щепы.

Таблица 13.4

Характеристики пневмопогрузчиков щепы

| Показатели                            | ПНТУ-2М | ВО-53 | ВО-59 |
|---------------------------------------|---------|-------|-------|
| Производительность, м <sup>3</sup> /ч | До 7    | До 35 | До 50 |
| Расстояние подачи щепы, м             | До 75   | До 70 | До 75 |
| Диаметр трубопровода, мм              | 273     | 319   | 325   |
| Установленная мощность, кВт           | 27,5    | 78,3  | 70,8  |

Для перевозки щепы железнодорожным транспортом используют вагоны общего назначения с надстроеными по высоте бортами и специализированные вагоны-щеповозы грузоподъемностью 58 т и объемом 135 м<sup>3</sup>. Вагоны имеют по 10 разгрузочных люков с каждой стороны.

Дальнейшая переработка щепы, полученной из древесных отходов, производится вне лесопильного производства на предприятиях соответствующих отраслей промышленности (стройматериалов, лесохимии, целлюлозно-бумажной и др.) по технологиям, принятым в этих отраслях.

### 13.3. Производство строительных и конструкционных материалов из отходов древесины

Одним из основных направлений утилизации древесных отходов является производство различных ограждающих и отделочных строительных материалов: древесно-волоконистых плит, древесно-стружечных плит, цементно-стружечных плит, щитового паркета и др.

При изготовлении *древесно-волоконистых плит* используют целлюлозные волокна, полученные путем дальнейшего измельчения щепы. Существует два способа производства ДВП: мокрый и сухой. При мокром способе плиты получают путем отлива целлюлозной массы без введения связующего вещества. При сухом способе в целлюлозную массу вводят 4 – 8% связующей смолы. Помимо смолы в состав массы вводят антисептики, антипирены и другие добавки, позволяющие придать материалу необходимые свойства: прочность, водостойкость, грибостойкость, пожаростойкость и т. п. На рис. 13.7 приведена принципиальная схема производства ДВП сухим способом.

Технологический процесс производства ДВП сухим способом состоит из следующих операций: пропарки, размола щепы на волокна; сушки волокна; подготовки связующего и добавок; смешивания волокна со связующим и другими добавками; формирования ковра; предварительного уплотнения (подпрессовки) ковра; прессования, кондиционирования плит; механической обработки плит.

В зависимости от свойств выпускают пять различных видов ДВП: теплоизоляционные, теплоизоляционно-отделочные, полутвердые, твердые и сверхтвердые. ДВП широко применяют в строительстве, мебельной промышленности, машиностроении. Например, для отделки панелей салона автобуса используют маслопропитанные сверхтвердые ДВП с лакокрасочным покрытием.

Для повышения прочности при изгибе плиту пропитывают смесью льняного и таллового масел. Лакокрасочное покрытие наносят на загрунтованную поверхность плиты. Физико-механические свойства маслопропитанной ДВП с лакокрасочным покрытием, изготовленной из отходов лесопиления, приведены ниже:

|   |                            |
|---|----------------------------|
| Предел прочности при изгибе, МПа . . . . .                          | > 47                       |
| Набухание в воде по толщине за 24 ч, % . . . . .                    | < 5                        |
| Степень сцепления лакокрасочного покрытия с плитой, баллы . . . . . | > 3                        |
| Огнеопасность (скорость горения, мм/мин) . . . . .                  | Неогнеопасна (не более 20) |

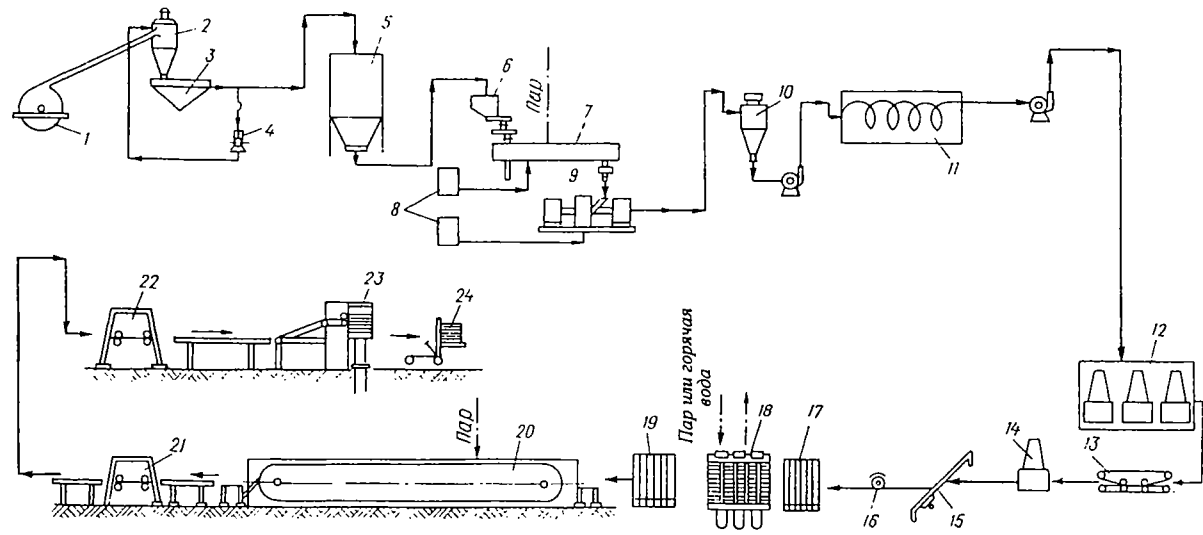


Рис. 13.7. Принципиальная схема производства ДВП сухим способом:

1 - рубильная машина; 2 - циклон; 3 - щепосортировочная установка; 4 - дезинтегратор; 5 - бункер хранения щепы; 6 - расходный бункер щепы; 7 - пропарочный аппарат; 8 - расходные баки парафина и смолы; 9 - размольная установка; 10 - циклон сушилки первой ступени; 11 - сушилка второй ступени; 12 - формирующая машина; 13 - ленточный пресс предварительной подпрессовки; 14 - головка, формирующая отделочный слой; 15 - пила поперечной резки; 16 - пила продольной резки; 17 - загрузочная этажерка; 18 - пресс; 19 - загрузочная этажерка; 20 - камера кондиционирования; 21 - продольная резка; 22 - поперечная резка; 23 - накопитель плит; 24 - автопогрузчик

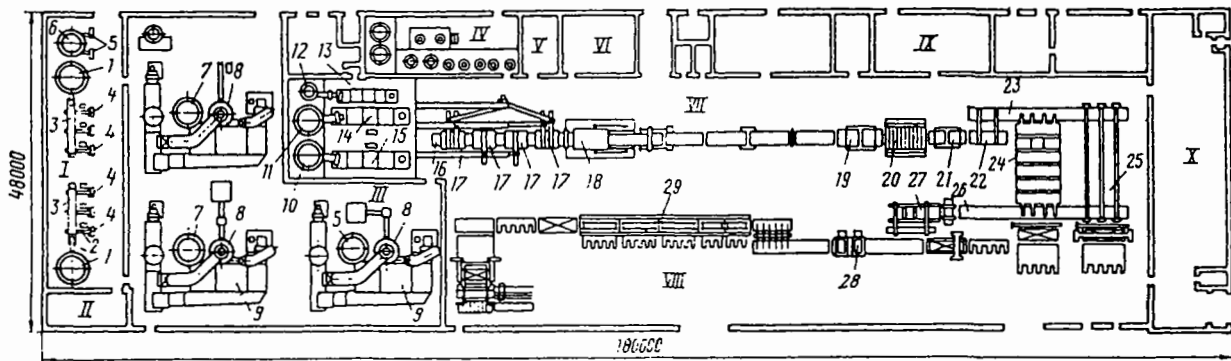


Рис. 13.8. Планировка цеха по производству пятислойных древесно-стружечных плит:

*I* – отделение подготовки стружки; *II* – заточное отделение; *III* – сушильное отделение; *IV* – приготовление связующих; *V* – лаборатория; *VI* – щитовая; *VII* – формовочно-прессовое отделение; *VIII* – отделение обрезки, шлифования и сортировки плит; *IX* – установка подогрева масла; *X* – бытовые помещения; 1, 6, 7, 10, 11, 12 – бункеры; 2 – шнековый дозатор; 3, 16, 22, 23, 25, 26 – конвейеры; 4 – центробежный станок; 5 – мельница; 8 – двухступенчатый сепаратор; 9 – двухступенчатая сушилка; 13, 14, 15 – смесители; 17 – формирующая машина; 18, 20 – прессы; 19 – загрузочная этажерка; 21 – разгрузочная этажерка; 24 – камера кондиционирования; 27 – обрезной станок; 28 – калибровально-шлифовальный станок; 29 – линия сортировки

*Древесно-стружечные плиты* изготавливают горячим прессованием отходов древесины (стружки) со связующим – мочевино- или фенолформальдегидной смолой. По способу производства различают ДСП плоского прессования и экструзионные, т. е. получаемые экструзией древесно-стружечной массы через щелевую головку. ДСП выпускают без облицовки и облицованными шпоном и полимерной пленкой, а также окрашенными. Этот материал широко используется в мебельной промышленности, строительстве и других областях.

Технологический процесс производства ДСП включает следующие основные операции: измельчение отходов древесины; сортировку измельченной древесины; приготовление рабочего раствора смолы, отвердителя и добавок; дозирование и смешивание компонентов связующего, гидрофобных и антисептических добавок и измельченной древесины; формирование стружечного ковра или пакетов; подпрессовку (предварительное уплотнение) стружечного ковра или пакетов; прессование плит; сортировку и складирование плит. На рис. 13.8 показана планировка цеха по производству пятислойных древесно-стружечных плит способом плоского прессования.

При изготовлении *цементно-стружечных плит* используют древесную муку, которую связывают с помощью цементирующих или связывающих веществ. Так называемый *ксилолит* производится из смеси, содержащей древесную муку, магнезиальный цемент, асбестовое волокно и другие компоненты. Смесь древесной ваты (продукт, вырабатываемый из хвои) с магнезиальным цементом и другими веществами используют для изготовления *фибролита*. ЦСП используют в строительстве, в том числе для изготовления наружных ограждающих панелей.

ЦСП обладают хорошими тепло- и звукоизоляционными свойствами, водостойки, огнестойки, морозостойки и бензостойки. Технологическая схема их производства представлена на рис. 13.9.

*Щитовой паркет* изготавливают из древесно-стружечных плит и отходов фанерного шпона. Паркетный щит состоит из четырех слоев: лицевого слоя, подслоя, ДСП и нижнего слоя, склеиваемых между собой с помощью различных клеев. Чаще других применяется карбамидный клей на основе смолы М19-62. Склеивание производится в прессе при температуре 110 – 120 °С и давлении 0,8 – 1,0 МПа.

Широкое применение находят материалы, изготовленные с применением в качестве дешевого наполнителя древесной муки.

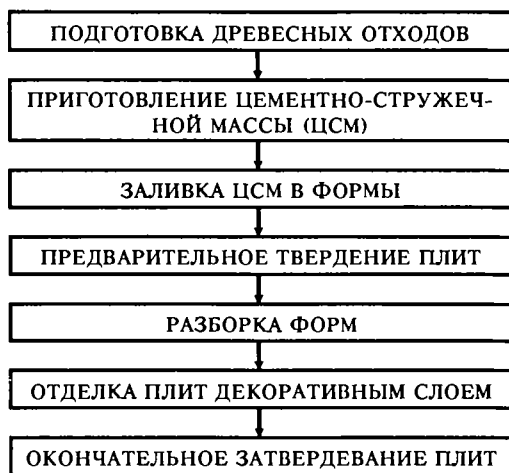


Рис. 13.9. Технологическая схема производства цементно-стружечных плит

Древесная мука, входящая в состав таких материалов, изготавливается методом сухого измельчения отходов древесины хвойных, лиственных пород и их смеси. Свойства муки зависят от качества исходного сырья и ее гранулометрического состава. Отходы, идущие на производство муки, не должны содержать более 5% коры и 3% гнили.

Предварительное измельчение отходов производится на молотковых мельницах, затем измельченный продукт сушится в паровых сушильных аппаратах и вновь поступает на измельчение до необходимого размера. Классификацию продуктов размола проводят двумя способами: просевом на ситовых машинах и воздушной сепарацией.

Древесную муку используют, например, в качестве наполнителя полимерных композиций. Так, из полипропилена, наполненного древесной мукой, изготавливают листовую формующийся облицовочный материал вудсток, широко применяемый в зарубежном и отечественном автомобилестроении. Листы, содержащие до 50% древесной муки, получают на двухшнековых экструдерах, снабженных устройствами для дегазации. Наиболее часто изделия из листового материала, наполненного древесной мукой, изготавливают штамповкой на вертикальных гидравлических или механических прессах. Листы перед формованием на штампе нагревают до 180 – 190 °С.

Из вудстока изготавливают внутренние панели дверей автомобиля, задние стенки спинок сидений, панели багажника и другие



детали облицовки. Применяется такой материал и в строительстве. Причиной широкого использования вудстока является низкая стоимость исходного сырья (полипропилена и древесной муки) в сочетании с хорошими технологическими (формуемость) и физико-механическими свойствами. Как видно из табл. 13.5, материал обладает высокой прочностью, теплостойкостью, низким коэффициентом линейного теплового расширения и другими необходимыми свойствами. Он выдерживает без изменения длительное воздействие температур от  $-20$  до  $140$  °С и теряет жесткость лишь при  $160$  °С, неогнеопасен, устойчив к действию органических растворителей.

Таблица 13.5

Сравнительные физико-механические свойства листовых полимерных материалов

| Показатели   | Полипропилен | АБС-пластик | Вудсток |
|--|--------------|-------------|---------|
| Плотность, кг/м <sup>3</sup>                             | 900 – 910    | 1050        | 1100    |
| Прочность при растяжении, МПа                            | 0,25 – 0,30  | 0,30 – 0,40 | 0,25    |
| Модуль упругости при растяжении, МПа                     | 0,014        | 0,02        | 0,01    |
| Относительное удлинение, %                               | 30           | 10          | 2       |
| Прочность при статическом изгибе, МПа                    | —            | 0,85        | 0,44    |
| Ударная вязкость по Изоду с надрезом, кДж/м <sup>2</sup> | 3,3 – 8,0    | 20          | 3,4     |
| Твердость по Роквеллу, НRB                               | 78           | 70 – 90     | 96      |
| Теплостойкость по ВИКа, °С                               | 95 – 110     | 102 – 110   | 155     |
| Коэффициент линейного теплового расширения $10^6$ , 1/°С | 110          | 90 – 110    | 28      |
| Усадка после формования, %                               | 1,7          | 0,4 – 0,9   | 0,7     |

Поскольку транспортирование отходов древесины на значительные расстояния требует больших затрат, их утилизация на предприятиях, удаленных от мест образования отходов, нерентабельна.

Использование древесных отходов должно быть организовано там, где перерабатывается исходная древесина. Для организации переработки отходов древесины важен региональный подход. Технологии производства различных строительных материалов предо-

ставляют широкие возможности для утилизации отходов древесины именно в масштабе регионов.

### 13.4. Использование опилок

Опилки, составляющие значительное количество отходов лесопиления и деревообработки, используются в качестве сырья для изготовления различных строительных материалов, а также в технологических целях.

Например, из них изготавливают *древесно-опилочные плиты* (ДОП), используемые для изготовления полов и отделки стен. Процесс состоит из следующих стадий:

- \* просеивания и сушки опилок;
- \* смешивания опилок со смолой в смесителе периодического или непрерывного действия;
- \* прессования при 160 – 170 °С и давлении 2,0 – 2,5 МПа в течение 30 с на 1 мм толщины плиты;
- \* вылеживания в течение 5 сут для снятия внутренних напряжений и усадки.

С применением древесных опилок изготавливают тырсолит, вибролит, паркелит, термoporит и другие строительные материалы. В состав этих материалов помимо опилок входят различные связующие и некоторые другие специальные компоненты (антисептики, антипирены и др.). Режимы прессования этих материалов зависят от типа применяемого связующего.

Используют опилки и для изготовления различных видов бетонов: арболита, опилкобетона, деревобетона, гипсоопилочного бетона и термиза.

*Арболит* относится к группе легких бетонов. В качестве вяжущего могут быть использованы портландцемент и гипс. Технологический процесс изготовления арболита состоит из следующих операций: замачивания опилок в ванне с водой с целью удаления водорастворимых веществ; смешивания в бетономешалке с водой, вяжущими и специальными добавками; укладки смеси в формы; уплотнения; выдержки в формах (в зависимости от марки изделия – 5 сут при 20 °С или 1 сут при 40 °С при влажности воздуха 75%).

*Опилкобетон* представляет собой конструкционно-изоляционный бетон, в котром опилки и песок используются в качестве заполнителя, цемент и известь – в качестве вяжущего. Технология изготовления опилкобетона состоит в перемешивании песка и вяжущего, добавлении к смеси опилок, перемешивании и добавлении к сухой смеси воды. Перемешивание осуществляется в бетономешалке.

*Деревобетон* от опилкобетона отличается использованием в смеси мелкозернистого гравия.

*Гипсоопилочный бетон* получают из строительного гипса, опилок и стружки. В табл. 13.6 приведены свойства гипсоопилочных блоков.

Таблица 13.6

Физико-механические свойства гипсоопилочных блоков

| Показатели                                     | Значение показателей при плотности, кг/м <sup>3</sup> |      |      |
|--|---|------|------|
|  | 650   | 700  | 800  |
| Прочность при сжатии, МПа                      | 2,0   | 2,5  | 3,4  |
| Теплопроводность, Вт/(м·К)                     | 0,25  | 0,26 | 0,28 |
| Влажность, %                                   | < 25  | < 25 | < 25 |
| Морозостойкость при переходе через 0 °С, циклы | > 15  | > 15 | > 15 |

*Термиз*, используемый в качестве теплоизоляционного материала для утепления стен и кровли, производят из гашеной извести, опилок, цемента и суглинка. Технология изготовления термиза состоит в смешивании в течение 3 – 4 мин гашеной извести в виде теста с цементом и измельченным суглинком влажностью 3 – 4%, добавлении в смесь увлажненных до 120 – 150% опилок и дальнейшем перемешивании всей композиции.

Благодаря высокой поглощающей способности и низкой стоимости опилки используются для изготовления подстилок на животноводческих фермах, для временного покрытия полов промышленных и транспортных предприятий, рынков и складов. Предпочтительно применение для этих целей сухих опилок. Кроме того, опилки используют в качестве мульчирующего материала в садоводстве и огородничестве для предупреждения роста сорных трав.

Абразивные свойства опилок делают их полезными для очистки полов производственных и общественных помещений, при окраске, полировке и чистке меховых и ковровых изделий, отделке металлов в качестве чистящего и шлифующего материала, ошпывании птицы, в производстве мыла и карборунда.

Используют опилки и в качестве очень дешевого наполнителя при изготовлении пластмассовых и глиняных изделий, в частности для изготовления пористого кирпича и черепицы, а также в производстве неразмываемых сырцовых глин. Кроме того, их применяют и в качестве заполнителя пустот при упаковке стеклянных и фарфоровых изделий, консервов. Сухие опилки применяют как изолирующий материал в строительстве зданий легкого типа.

### 13.5. Химическая технология переработки древесных отходов

При переработке отходов древесины методами лесохимической технологии получают такие важнейшие продукты, как древесный уголь, уксусную кислоту, скипидар, канифоль, дубильные вещества и др.

Гидролизная промышленность широко использует отходы древесины для производства кормовых дрожжей, этилового спирта, глюкозы, ксилита, фурфурола, органических кислот и других продуктов.

Для производства этих материалов в гидролизной промышленности используют низкокачественную неокоренную древесину с длиной кусков (бревен) от 0,5 до 6,5 м. Древесные отходы, используемые в гидролизном производстве, должны удовлетворять требованиям ОСТ 13-234-87.

Гидролизом древесины называют процесс взаимодействия полисахаридов, являющихся одними из основных компонентов древесины, с водой в присутствии катализаторов, в результате которого полисахариды распадаются, образуя моносахариды.

Получающиеся при гидролизе древесных отходов сахара могут быть выделены в кристаллическом виде, но в большинстве случаев они подвергаются дальнейшей биохимической или химической переработке. Биохимические методы переработки моносахаридов основаны на использовании различных микроорганизмов (дрожжей, дрожжеподобных грибков), которые в результате своей жизнедеятельности превращают моносахариды в различные ценные продукты (этиловый спирт, белковые вещества, уксусную кислоту, глюкозу и др.).

При химической переработке древесных отходов получают фурфурол, являющийся сырьем для получения синтетических смол, пластмасс, лекарственных препаратов и др.

В зависимости от скорости гидролиза полисахариды растительной ткани условно подразделяют на легко- и трудногидролизуемые. Большое влияние на скорость процесса оказывает степень измельчения древесины. Чем меньше частицы, тем глубже и быстрее идет гидролиз. Наиболее пригодны для гидролиза отходы древесины в виде опилок, в которые добавляется технологическая щепка.

В качестве основного сырья на гидролизных заводах используют древесину лиственных пород. Широкое распространение получили комплексные методы химической переработки древесины, в которых совмещены гидролиз, растворение лигнина (второго значительного компонента древесины) и получение целлюлозы. Примером такой схемы может быть производство сульфитной целлюлозы из ясеневой, буковой, осиновой или березовой древесины.

Во время варки щепы разного размера сначала превращается в целлюлозу мелкая щепа, а при доварке крупной щепы происходит значительное разрушение целлюлозы, образовавшейся из мелкой щепы. Поэтому при производстве целлюлозы очень важно иметь однородную щепу определенных размеров. Торцовые срезы щепы должны быть гладкими и расположены под определенным углом для обеспечения равномерного и быстрого проникновения варочного раствора в щепу по всем направлениям.

В зависимости от типа варочного раствора, т. е. применяемых реагентов, промышленные способы получения небеленой технической целлюлозы разделяют на три группы: кислотные, щелочные и комбинированные.

При сульфитном способе химическая переработка отходов древесины производится при повышенной температуре с применением в качестве варочного раствора сернистой кислоты и ее солей. Сульфитную целлюлозу получают из малосмолистой хвойной (ель, пихта) и лиственной (береза, осина, бук и др.) древесины.

Различают четыре основных вида сульфитной целлюлозы: небеленую, беленую, беленую облагороженную и растворимую.

Небеленую целлюлозу выпускают трех марок и применяют для выработки бумаги высокой прочности, писчей, газетной, типографской, стойкой обложечной бумаги, различных видов картона и др. Выход небеленой целлюлозы из древесины составляет 44 – 56%, а при ступенчатой варке доходит до 70%.

Беленая целлюлоза применяется в производстве высокопрочной типографской, тонкой, светочувствительной, чертежной, картографической и других видов бумаги. Беленую облагороженную целлюлозу используют для выработки пергамента, фибры, фильтровальной, туалетной и других бумаг. Растворимая целлюлоза применяется для выработки вискозы и штапельного волокна.

Бисульфитную целлюлозу получают при одноступенчатой сульфитной варке с применением раствора бисульфита магния или натрия. Выход бисульфитной целлюлозы и ее свойства выше, чем сульфитной.

При сульфатном способе целлюлозу варят в смеси водных растворов едкого натра с сернистым натрием. Получаемая этим способом целлюлоза обладает высокой прочностью и применяется для производства технических бумаг, картона, изоляционной и крафт-бумаги, а также для изготовления вискозных волокон. Достоинством сульфатного метода производства целлюлозы является возможность использования любых древесных отходов.

### 13.6. Другие методы переработки древесных отходов

Наряду с рассмотренными методами переработки древесных отходов, имеющими широкое промышленное распространение и большое самостоятельное значение, используются и менее распространенные, но также экономически целесообразные способы утилизации отходов деревообработки.

**Производство дубильных веществ.** Растительные дубильные вещества, носящие название таннидов, широко используются при выделке кож. Экстракт таких веществ, извлекаемый из коры деревьев, необратимо поглощается кожей и придает ей высокую износостойкость и водонепроницаемость.

Наибольшую ценность для производства имеет кора ели и лиственницы, содержащая не менее 8% таннидов. Влажность коры, используемой при производстве дубильных веществ, не должна превышать 19%.

Обезвоживание коры осуществляют сушкой на воздухе или в специальных сушильных установках, но чаще в две стадии: сначала на короткоотжимных прессах марки КП-6 снижают влажность с 80 – 85 до 55 – 60%, а затем доводят ее до требуемых значений на сушильных агрегатах.

Характеристики короткоотжимного пресса КП-6 приведены ниже:

|  |             |
|--|-------------|
| Производительность по отжатой коре влажностью 55%, т/ч | 6           |
| Скорость движения цепного пояса, м/с . . . . .         | 1 – 10      |
| Наименьшая толщина слоя отжатой коры, мм . . . . .     | 25          |
| Диаметр отжимного барабана, мм                         | 1400        |
| Ширина цепного пояса, мм                               | 525         |
| Число рабочих гидроцилиндров, шт. . . . .              | 6           |
| Давление, передаваемое валиками, МПа:                  |             |
| I . . . . .  | 9,6 – 30,0  |
| II . . . . .   | 10,8 – 41,9 |
| III . . . . .  | 11,9 – 60,0 |

Поставка коры потребителю производится в крытых контейнерах, автомобилях-щеповозах ЛТ-7А, ПС-22 и ЛТ-191, крытых вагонах, чтобы не подвергать ее во время транспортировки воздействию влаги, так как вода экстрагирует из коры дубильные вещества.

Производство дубильных веществ из коры осуществляется следующим образом. Кора измельчается, а затем высушивается в сушилках различных типов при температуре до 300 °С.

Измельчение коры производят в одно- и двухроторных ножевых дробилках, характеристики которых приведены в табл. 13.7.

Таблица 13.7

Характеристики дробилок для измельчения коры

| Показатели  | КР-4 | КР-5 | КР-6 | Ц6-02 | КРН-1/7 | КРН-1/15 | КРН-1/25 | КР-2 | КРН-2/25  |            |
|---|------|------|------|-------|---------|----------|----------|------|-----------|------------|
|   |      |      |      |       |         |          |          |      | I ступени | II ступени |
| Производительность (при влажности коры 55 – 80%), м <sup>3</sup> /ч | 25   | 50   | 6    | 15    | 7       | 15       | 25       | 2    | 25        | 25         |
| Число дисков, шт.   | –    | –    | 17   | 9     | 9       | 20       | 33       | 15   | 33        | 49         |
| Диаметр окружности резания, мм:                                     |      |      |      |       |         |          |          |      |           |            |
| большой   | 1300 | 1500 | 540  | 320   | 600     | 600      | 600      | 520  | 600       | 600        |
| малый   | –    | –    | 480  | 220   | 570     | 570      | 500      | 290  | 570       | 570        |
| Число ножей на диске, шт.   | –    | –    | 2    | 1     | 3       | 3        | 3        | 3    | 3         | 4          |
| Мощность привода, кВт   | 110  | 200  | 40   | 75    | 40      | 75       | 75       | 20   | 75        | 75         |
| Масса, т  | 5,1  | 6,5  | 2,14 | 1,9   | –       | –        | 5,8      | 0,5  | 8,3       | 8,3        |

Для этих же целей может использоваться молотковая дробилка марки МК-10, характеристики которой приведены ниже:

|  |       |
|--|-------|
| Производительность, м <sup>3</sup> /ч . . . . .      | 25    |
| Размеры частиц измельченной коры, мм                 | 4 – 8 |
| Установленная мощность, кВт . . . . .                | 75    |
| Частота вращения ротора, мин <sup>-1</sup> . . . . . | 735   |
| Диаметр ротора, мм                                   | 1000  |
| Габаритные размеры, мм:                              |       |
| длина . . . . .                                      | 2325  |
| ширина . . . . .                                     | 1240  |
| высота . . . . .                                     | 1550  |
| Масса, кг . . . . .                                  | 3660  |

Сушку измельченной коры производят в барабанной сушилке "Прогресс" с рабочим объемом 38 м<sup>3</sup> и частотой вращения 6 – 9 об/мин. Производительность сушилки по испаренной влаге составляет 2,2 – 3,0 т/ч.

Высушенная и измельченная кора в виде частиц размером 2 – 3 мм подается в специальные аппараты – диффузоры, где дубильные вещества экстрагируются водой. Затем полученный водный раствор дубильных веществ фильтруется с целью очистки от посторонних твердых частиц и в специальных аппаратах упаривается до необходимой концентрации (вплоть, если это необходимо, до пастообразного или даже твердого состояния).

Наряду с производством дубильных веществ кору используют для изготовления удобрений. С этой целью ее компостируют. Возможна следующая технология получения удобрений из коры: измельчение коры до размера частиц около 10 мм, смешивание с минеральными добавками, вызревание в компостной яме. Для повышения активности удобрений из коры в смесь добавляют аммиачную селитру, фосфатную муку и хлористый кальций в количестве 5; 10 и 2 кг на 1000 кг коры соответственно.

**Производство дегтя.** Кору березы используют для получения дегтя. Береста снимается со свежесрубленных деревьев, а иногда и с валежника и дров. Выход дегтя составляет 27 – 30% от массы переработанной бересты. Его применяют для изготовления дезинфицирующих средств, жировки кож (с целью придания им водоотталкивающих свойств), смазки шорно-седельных изделий, производства некоторых смазочных материалов и даже топлива для двигателей.

**Производство древесного угля.** Из отходов древесины получают древесный уголь. Наиболее экономично печное углежжение, но иногда вблизи лесосек все еще получают древесный уголь путем сжигания отходов в куче. Выход угля составляет 60 – 65% (объемн.) из полусухих хвойных отходов и 40 – 45% (объемн.) из сырых березовых отходов.

Печи для углежжения могут быть стационарными и передвижными. Последние используются для производства угля, когда количество образующихся отходов в данном месте невелико. Характеристики работы стационарных углевыжигательных установок приведены в табл. 13.8.

Таблица 13.8

Показатели работы углевыжигательных печей (для березовых отходов)

| Показатели   | Печь Грум-Гржимайло | Печь Козлова | Вертикальная непрерывнодействующая печь |
|--|---------------------|--------------|---|
| Количество перерабатываемой древесины, м <sup>3</sup> /сут | 76 – 100            | 105 – 126    | 256                                     |
| Выход, кг/м <sup>3</sup> :                                 |                     |              |   |
| угля   | 110                 | 132          | 93                                      |
| смолы  | 22                  | 23,5         | 37 – 43                                 |
| кислоты  | 15 – 19             | 20 – 26      | 16 – 18                                 |
| Содержание углерода в угле, %                              | 74                  | 73 – 78      | 90 – 95                                 |



*Использование древесной зелени.* Древесная зелень (ветки, хвоя, листья) отделяется от дерева еще на лесосеке и не попадает на лесопиление и деревообработку. Она является сырьем для производства хвойно-соляного лечебного экстракта (с добавлением поваренной соли), хвойного натурального экстракта, хвойных эфирных масел, витаминной муки (с высоким содержанием каротина, микроэлементов и других биологически активных веществ), хвойной хлорофилло-каротиновой пасты, натурального клеточного сока, веточного корма, древесного силоса и других веществ, имеющих практическую ценность в качестве лекарственных препаратов и корма для животных.

Отделенная от древесины зелень в стационарных условиях измельчается в молотковых дробилках без сит и пневмотранспортом подается в сушилку. Высушенная зелень измельчается повторно в мельницах молоткового типа. Полученная витаминная мука подвергается сушке в барабанной сушилке с помощью топочных газов, образующихся при сжигании газообразного или жидкого топлива. Одна из таких установок марки АВМ-0,4, снабженная необходимым вспомогательным оборудованием (циклоны, питатели, пневмопривод и другие), имеет установленную мощность 65,4 кВт, расход топлива 120 кг/ч и производительность по сухому продукту 310 – 700 кг/ч.

Промышленность выпускает также мобильные установки марок СХПБ-0,1 и СХПБ-0,2 для получения витаминной муки непосредственно на лесозаготовках.

*Производство топливных брикетов.* С целью использования древесных отходов в качестве топлива применяют брикетирование, которое улучшает транспортабельность и придает мелким отходам более удобный для применения вид.

Брикетирование возможно при любой начальной температуре отходов, но с повышением температуры возрастает прочность брикетов. При повышении температуры отходов можно снизить удельное давление прессования, не уменьшая при этом их прочность. Технологический процесс брикетирования древесных отходов состоит из следующих последовательных операций: измельчения, сортировки, сушки и прессования. Для прессования используют гидравлические прессы с номинальным усилием пуансона 30 – 100 т.

В общем виде технологическая схема производства брикетов из коры и мелких отходов древесины представлена на рис. 13.10. Отходы транспортером 1 подаются в промежуточный бункер с дозатором 2 и далее поступают в измельчитель 3. Измельченные отходы транспортером 4 перемещаются в сушилку 5, откуда по транспортеру 6 сыпаются в бункер 7 и далее с помощью питателя 8 попадают в пресс 9. Спрессованные брикеты транспортером 10 подаются

ся на склад готовой продукции. Основные свойства брикетов из мелких отходов древесины приведены ниже:

|   |            |
|---|------------|
| Плотность, кг/м <sup>3</sup> . . . . .          | 800 – 1100 |
| Прочность при статическом изгибе, МПа . . . . . | 1,5        |
| Влажность, % . . . . .                          | ≤ 18       |
| Теплота сгорания, кДж/кг . . . . .              | ~ 19600    |

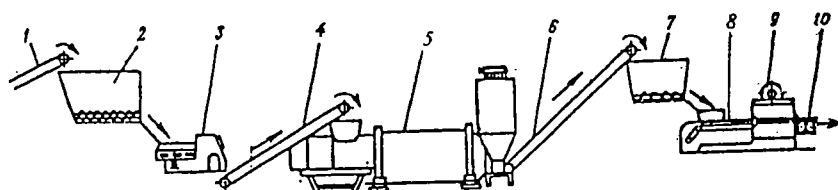


Рис. 13.10. Технологическая схема производства топливных брикетов

Свойства брикетов зависят от их объемной массы и влажности. Водостойкость брикетов, определяемая продолжительностью выдержки до полного разрушения погруженных в воду брикетов, составляет от 60 до 260 с.

Наилучшие показатели достигаются при влажности древесных отходов 8 – 15%. Критическая влажность, выше которой невозможно прессование брикетов, 18 – 25%.

# Глава 14. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МАКУЛАТУРЫ

Макулатура – один из наиболее распространенных видов отходов, как производственных, так и бытовых. Это всевозможные виды упаковки (бумага, картон), типографская продукция (газеты, журналы, плакаты, книги), чертежи, писчая бумага и многое другое. Макулатура состоит главным образом из целлюлозы, вырабатываемой из древесины, и является превосходным вторичным сырьем для целлюлозно-бумажной промышленности.

## 14.1. Преимущества и возможности использования макулатуры

Применение макулатуры чрезвычайно выгодно, так как позволяет экономить значительные материальные и энергетические ресурсы (табл. 14.1) и утилизировать отходы производства и потребления бумаги.

Таблица 14.1

Воздействие на окружающую среду процессов изготовления бумаги из первичного сырья и из облагороженной макулатуры (на 1000 т)

| Факторы воздействия                           | Первичное сырье | Облагороженная макулатура | Сокращение, % |
|---|-----------------|---------------------------|---------------|
| Расход первичного сырья, т                    | 1100            | 0                         | 100           |
| Расход технологической воды, м <sup>3</sup>   | 178600          | 152000                    | 15            |
| Расход энергии, кДж                           | 25122           | 9540                      | 62            |
| Количество веществ, загрязняющих атмосферу, т | 49              | 20                        | 59            |

Причина такой значительной разницы в воздействии на окружающую среду процессов производства бумаги из макулатуры и из первичного сырья – древесины видна из схемы, приведенной на рис. 14.1, где показано образование отходов на различных стадиях получения бумажной продукции из древесины.

Потребление макулатуры в последние десятилетия росло быстрыми темпами и сегодня во многих странах достигло своего возможного предела. Лидером в утилизации макулатуры является Япония, которая перерабатывает более 50% образующихся бумажных отходов, а использование отдельных видов макулатуры достигает теоретически возможного уровня. В этой стране в 1986 г. перерабатывалось 92,6% газет и 76,1% гофрированного картона.



Рис. 14.1. Технологические потери при производстве бумаги и картона из древесины

Несмотря на очевидные выгоды, использование макулатуры ограничивается требованиями, предъявляемыми к качеству товарной продукции. Чем выше требования к бумаге, тем меньше количество макулатуры может быть введено в состав целлюлозно-бумажной массы.

Пределы использования макулатуры при изготовлении бумаги и картона (максимальное содержание макулатуры) приведены ниже, %:

|                           |          |
|---------------------------|----------|
| Неотбеленная крафт-бумага | 10 – 25  |
| Отбеленная крафт-бумага   | 5 – 15   |
| Комбинированный картон    | 90 – 100 |
| Бумага:                   |          |
| газетная                  | 100      |
| писчая высококачественная | 10 – 80  |
| упаковочная, типографская | 10 – 80  |

Это связано с ухудшением качества выпускаемой продукции при дальнейшем увеличении содержания в сырье для ее производства вторичных материалов, происходящем вследствие:

- \* старения вторичных ресурсов из-за многократной регенерации;
- \* повышения содержания в макулатуре веществ, которые вводят в бумажную массу с целью получения специальных сортов бумаги;

- \* трудностей удаления новых видов печатных красок, используемых при современных способах печати (например, ксерокопировании, электрографии и др.).

У нас в стране сбор и утилизация отходов бумаги и картона также росли достаточно быстро в 70 – 80-х годах, причем темпы роста превышали среднемировые. К концу 80-х годов сбор макулатуры достиг более 78 %, а возврат 30 %, в странах ЕЭС возврат составлял 31 %, в США и Канаде 26 %. Использование макулатуры у нас в стране и в те годы было далеко от возможных пределов, что было связано с экономической выгодой и простотой использования первичного целлюлозного сырья.

В последние годы вследствие различных причин объемы применения макулатуры упали. Ее заготовка и применение стали нерентабельны прежде всего вследствие многократного увеличения затрат, необходимых для ее сбора и транспортировки к местам переработки. Однако положение это временное, и рано или поздно придется вернуться к полномасштабному использованию вторичных целлюлозно-бумажных ресурсов.

Основными потребителями макулатуры являются предприятия целлюлозно-бумажной промышленности (более 50 % перерабатываемой макулатуры), промышленности стройматериалов и др. Макулатура входит в состав более 70 сортов картона и бумаги (многослойный, переплетный, серый упаковочный, облицовочный, гофрированный картоны, обои, газетная, офсетная, копировальная, туалетная, упаковочная и другие виды бумаг).

Процесс переработки макулатуры с целью получения массы, пригодной для выработки бумаги и картона, включает следующие операции:

- \* дезагрегацию макулатуры на отдельные кусочки и пучки волокон;
- \* очистку целлюлозно-бумажной массы от посторонних примесей;
- \* роспуск кусочков и пучков волокон на отдельные волокна;
- \* сортировку и сгущение массы до необходимой концентрации;
- \* облагораживание макулатурной массы.

## 14.2. Дезагрегация макулатуры

Дезагрегация макулатуры производится с помощью гидроразбивателей различной конструкции. На этой стадии происходит измельчение макулатуры до состояния, пригодного для транспортировки бумажной массы насосами для дальнейшей обработки, а также удаление крупных механических включений. Отечественная промышленность для роспуска макулатуры производит вертикальные (типа ГРВм) и горизонтальные (типа ГРГм) гидроразби-

ватели; технические характеристики некоторых из них приведены в табл. 14.2.

Таблица 14.2

## Характеристики отечественных гидроразбивателей макулатуры

| Показатели                                 | ГРВм-12  | ГРВм-16  | ГРВм-24  | ГРВм-32   | ГРГм-24 | ГРГм-40 |
|--|----------|----------|----------|-----------|---------|---------|
| Производительность, т/сут                  | 60 – 120 | 45 – 160 | 75 – 240 | 120 – 320 | 80      | 200     |
| Диаметр ротора, мм                         | 850      | 1050     | 1450     | 1450      | 1450    | 1700    |
| Частота вращения ротора, мин <sup>-1</sup> | 395      | 330      | 225      | 255       | 235     | 187     |
| Объем ванны, м <sup>3</sup>                | 12       | 16       | 24       | 32        | 24      | 40      |
| Мощность электродвигателя, кВт             | 90       | 160      | 315      | 315       | 200     | 315     |
| Масса, кг                                  | 13360    | 13130    | 19015    | 20200     | 20100   | 22000   |

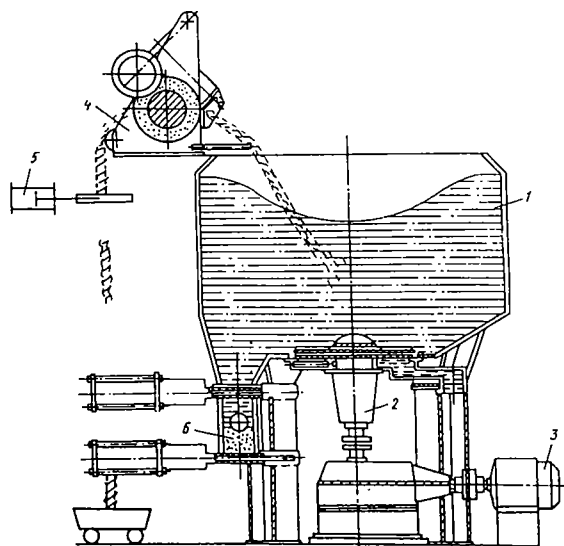


Рис. 14.2. Гидроразбиватель вертикального типа ГРВм с жгутовытаскивателем:

1 – ванна; 2 – роторный агрегат; 3 – привод; 4 – жгутовытаскиватель; 5 – жгуторезка; 6 – грязесборник

Предпочтительнее использовать гидроразбиватели с вертикальным расположением ротора, поскольку они занимают меньше площади и обеспечивают более интенсивную обработку массы и легкую замену ротора при ремонте.

Устройство вертикального гидроразбивателя показано на рис. 14.2.

Гидроразбиватель состоит из металлической ванны, верхняя часть которой имеет цилиндрическую, а нижняя – коническую форму. К внутренней поверхности ванны

приварены направляющие планки. Верхняя часть ванны имеет конусный отражатель. В нижней части ванны расположена перфори-

рованная плита. В днище ванны имеются отверстия для выхода дезагрегированной массы, выпуска тяжелых, крупных включений и промывки ванны.

Роторный агрегат вращается в подшипниковых опорах. На нем имеются восемь лопастей, рабочие плоскости которых наклонены под углом 90 град к перфорированной плите. Бумажная масса распускается под воздействием высокочастотных пульсирующих колебаний потока, возникающих вследствие вращения ротора. Крупные посторонние включения (провода, скрепки, шпагат, полимерные материалы) удаляются из гидроразбивателя с помощью жгутовытаскивателя, представляющего собой лебедку, на которую наматывается жгут, сплетаемый из этих отходов. Скорость образования жгута достигает 30 м/ч. Для удаления тяжелых включений современные гидроразбиватели снабжаются ковшовыми элеваторами.

Производительность гидроразбивателя зависит не только от его конструкции (диаметра и формы ванны, типа ротора, частоты его вращения, мощности), но и от вида перерабатываемой макулатуры, продолжительности обработки; концентрации массы в ванне, температуры и рН среды.

Дезагрегация макулатуры производится путем разрыва связей между волокнами в результате воздействия на нее лопастей ротора и ударов о неподвижные планки на стенке ванны.

Как правило, гидроразбиватели работают в непрерывном режиме при концентрации массы 2,5 – 3,5%; при этом тяжелые примеси удаляются через специальную камеру, в которой они предварительно промываются водой с целью исключения потерь волокна. Диаметр ванны у современных гидроразбивателей достигает 6,5 м, диаметр ротора – 3,5 м.

При дезагрегации макулатуры, содержащей различные смолы, применяют химические добавки и регулируют рН среды и температуру. При переработке макулатуры, содержащей мочевино- или меламинаформальдегидные смолы, процесс ведется при 60 – 80 °С в кислой среде при рН 3,5 – 4,5. Дезагрегацию макулатуры, содержащей полиамидные смолы, проводят в щелочной среде при рН 10 – 11 и температуре 50 – 60 °С.

Как кислая, так и щелочная среды отрицательно влияют на прочность целлюлозного волокна. Поэтому при обработке такой макулатуры с целью сохранения прочности волокон применяют химические вещества, роторы специальной конструкции и стремятся сократить продолжительность процесса. Повышение температуры и концентрации массы ускоряет процесс дезагрегации.

### 14.3. Очистка макулатурной массы

При дальнейшей обработке макулатурная масса подвергается дополнительной очистке от мелких тяжелых включений. Очистка производится на очистителях циклонного типа при высокой или низкой концентрации пульпы. Очистители имеют тангенциальный вход массы в верхней части и грязевые камеры в нижней части. Работа таких очистителей основана на использовании центробежной силы, создающей завихрения. Основные особенности очистителей различной конструкции связаны с перепадом давления на входе и выходе массы из очистителя, концентрацией макулатурной массы в воде, формой отверстия, через которое поступает масса, и системой удаления твердых частиц из грязевой камеры. На рис. 14.3 показаны схемы работы очистителей макулатурной массы.

Масса высокой концентрации (6%), попадающая тангенциально в очиститель через патрубок 7, под действием ротора 6, приводимого во вращение электродвигателем 8, получает дополнительное ускорение. В результате действия центробежных сил частицы с большей плотностью отбрасываются к стенкам циклона 5, опускаются вниз в грязевую камеру 2 и затем выводятся через клапан 1. Более легкая, очищенная масса поднимается вверх и по центральной трубе 4 удаляется из очистителя через выходной патрубок 9.

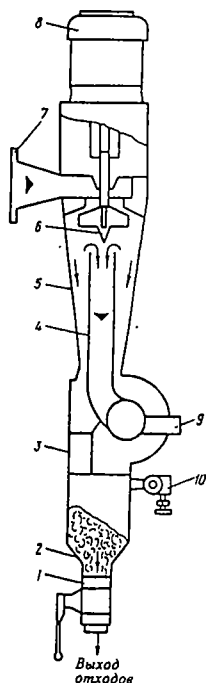


Рис. 14.3. Очиститель макулатурной массы высокой концентрации

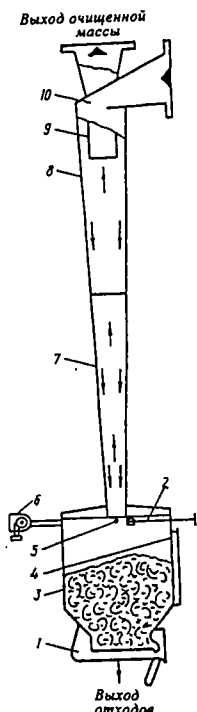


Рис. 14.4. Очиститель макулатурной массы низкой концентрации

Очиститель снабжен смотровым окном 3 и гидравлическим затвором 10 для подачи в грязевую камеру промывной воды. Такой очиститель работает при перепаде давления 20 кПа, имеет объем грязевой камеры 10 л, мощность ротора 2,2 кВт.

Очиститель массы низкой концентрации (рис. 14.4) работает при концентрации массы 3 – 5,5%. Масса поступает в очиститель через тангенциально расположенный



патрубок 10 и под действием центробежной силы отбрасывается к стенке, по которой медленно оседает вниз. Тяжелые частицы доходят до грязевой камеры 3, где и осаждаются, а очищенная масса, не дойдя до нижней части 7 очистителя, поднимается в верхнюю часть 8 и выводится через патрубок 9, расположенный по центру верхней части. Тяжелые частицы удаляются через клапан 1. Очиститель снабжен смотровым окном 4, задвижкой 2 гидравлического затвора 5 и клапаном 6 подачи воды в грязевую камеру.

Перепад давления в очистителе составляет 100 кПа, объем грязевой камеры 40 – 80 л, пропускная способность 400 – 1700 л/мин.

Очистители типа ОМ аналогичной конструкции с диаметром 140, 215, 405 мм, выпускаемые отечественной промышленностью, работают при перепаде давления 160 кПа и концентрации массы до 5% и имеют пропускную способность 670, 1000, 1800 л/мин.

Эффективность работы очистителя зависит от давления массы на входе, диаметра и формы входного отверстия, диаметра отверстия для выхода очищенной массы, длины вихреобразующей части, размеров и конструкции грязевой камеры.

Некоторые очистители работают без перепада давления, вращение массы внутри корпуса в таких очистителях создается ротором, имеющим электродвигатель.

Дезагрегацию макулатуры в очистителях заканчивают на стадии, когда полученную водно-целлюлозную массу можно перекачивать на дальнейшую обработку насосами.

#### 14.4. Роспуск агрегированных волокон

Для роспуска целлюлозной массы на отдельные волокна без комочков и пучков волокон в современной технологии используется специальное оборудование – энтштиперы. Эти установки работают по принципу конических дисковых мельниц при большой частоте вращения ротора (до 3000 об/мин). Необходимым условием надежной работы энтштиперов является хорошая очистка массы от твердых включений.

Роспуск волокнистой массы в энтштипере происходит при пропуске ее под давлением через отверстия и каналы, образуемые размалывающими элементами гарнитуры ротора и статора, зазор между которыми должен быть постоянным и может устанавливаться от 0,5 до 2 мм. Действующими силами процесса разволокнения бумажной массы в энтштипере являются трение между частицами и деталями машины, турбулентность и пульсация потока массы.

Концентрация поступающей в энтштипер массы составляет 3 – 6%, давление 40 – 50 кПа. Масса, поступающая под давлением в энтштипер через центральное отверстие, увлекается роторным кольцом и со скоростью 40 м/с отбрасывается на поверхности раз-

малывающих элементов статора, ударяется о следующее кольцо, имеющее вследствие конусности ротора более высокую окружную скорость.

Пройдя между всеми кольцами ротора и статора, масса разволокняется до фибрилл и выходит через выходное отверстие. В табл. 14.3 приведены характеристики некоторых энтштиперов, выпускаемых фирмой "Escher-Wiss".

Таблица 14.3

Характеристики энтштиперов фирмы "Escher-Wiss"

| Тип энтштипера | Максимальная производительность, т/сут | Установленная мощность, кВт | Максимальная частота вращения ротора, об/мин |
|----------------|--|-----------------------------|--|
| E0             | 20                                     | 22                          | 3000   |
| E1             | 60                                     | 50                          | 3000   |
| E2             | 120                                    | 132                         | 3000   |

Отечественная промышленность выпускает пульсационные мельницы для разволокнения бумажных комочков и пучков волокон (табл. 14.4), работающие при концентрации массы 2 – 5%.

Таблица 14.4

Характеристики пульсационных мельниц для разволокнения бумажной массы

| Тип мельницы | Максимальная производительность, т/сут | Установленная мощность, кВт | Давление на входе, кПа |
|--------------|--|-----------------------------|------------------------|
| МП-00        | 25                                     | 22                          | 50                     |
| МП-03        | 60                                     | 75                          | 50                     |
| МП-04        | 170                                    | 160                         | 50                     |
| МП-05        | 270                                    | 200                         | 50                     |

Пульсация ротора достигается при осевом его перемещении на 25 мм с помощью специального устройства, работающего по принципу винт-гайка. Частота пульсаций достигает  $1780 \text{ с}^{-1}$ .

Отечественные аппараты смонтированы на раме, в нижней части которой расположены грязевые камеры. Камера снабжена задвижкой для прерывания поступления массы во время удаления отходов из нее и запорным вентилям для регулирования подачи в нее промывной воды. В современных очистителях совмещены процессы очистки и грубой сортировки волокнистой массы.

## 14.5. Сортировка волокнистой массы

Следующей операцией при переработке смешанной макулатуры является сортировка массы, которая проводится в два этапа. На первом этапе на плоских вибрационных установках осуществляется грубая сортировка: из макулатуры удаляются тяжелые и легкие примеси. Второй этап (тонкая сортировка) осуществляется на центробежных сортировочных машинах.

Плоские вибрационные сортировочные машины марки СВ непрерывного действия работают без статического напора массы при концентрации 1 – 2%. Сито имеет отверстия, диаметр которых 6; 8 и 10 мм. Корпус вибрационного лотка, куда подается масса, имеет четыре амортизатора. Источником вибрации лотка с ситом является электродвигатель, соединенный с валом лотка через вибратор.

Частота колебаний сита равна  $1450 \text{ мин}^{-1}$ , амплитуда 2,2 мм. Дальнейшая тонкая сортировка волокнистой массы производится на центробежных сортировочных машинах.

Отличительной особенностью этих машин является неподвижно расположенное в корпусе цилиндрическое сито, внутри которого вращается лопастной ротор различной конструкции.

Несортированная масса подается в центральную часть машины, где она подхватывается лопастями ротора и отбрасывается на внутреннюю поверхность сита. При этом волокна, находящиеся в суспензии в беспорядочном состоянии, равномерно распределяются по поверхности сита, образуя фильтрующий слой. Завихрения массы способствуют разрушению фильтрующего слоя, а скоростной напор, создаваемый лопастями ротора, обеспечивает проталкивание кондиционного волокна через отверстия сита.

Прошедшие через сито наиболее тонкие и эластичные волокна, разбавленные водой до требуемой концентрации, отводятся в бассейн. Неразволокненные пучки волокон вместе с неволокнистыми примесями, образующими фильтрующий слой, под напором поступающей в сортировку массы продвигаются вперед и после отмывки отводятся через патрубок для удаления отходов.

Центробежная сортировка типа СЦ1,6-01 (рис. 14.5) состоит из сварного корпуса 1, на торцевой крышке которого в центральной ее части расположен изогнутый патрубок 3 для ввода массы в сортировку. На противоположной торцевой крышке имеется патрубок 7 для удаления отходов. В корпусе расположено цилиндрическое сито 2, состоящее из трех секций. Внутри сита вращается ротор 5 с радиально установленными лопастями и двумя поперечными перегородками, разделяющими по длине все сортирующее пространство на три зоны.

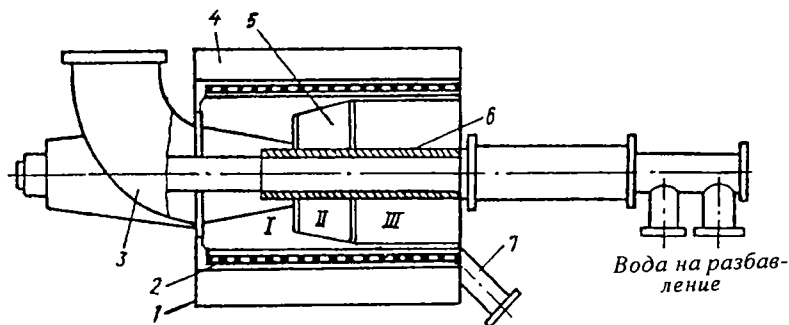


Рис. 14.5. Устройство центробежной сортировочной машины типа СЦ1,6-01

Через распределительную камеру с отверстиями, вращающуюся вместе с ротором, масса поступает в зону I сортировки, которая ограничена дисковой перегородкой, насаженной на вал ротора. Эта зона занимает около 40% всего пространства камеры. Лопастями ротора масса отбрасывается на внутреннюю поверхность сита, поступает в кольцевую камеру 4 и затем отводится через патрубок в бассейн.

Масса, не прошедшая через отверстия сита, перемещается по спирали в зону II. Здесь она разбавляется массой, которая прошла через зазор между валом ротора и внутренней поверхностью первой перегородки, и оборотной водой, поступающей через полый вал 6 ротора.

Оставшаяся масса пониженной концентрации перемещается в зону III, где сортировка продолжается. Не прошедшая через III зону масса выводится на вторую ступень сортировки.

Сортировочная машина типа СЦ1,6-01 работает при концентрации массы до 2,5%, имеет цилиндрическое сито площадью 1,6 м<sup>2</sup>. Ротор с восемью лопастями вращается со скоростью 690 мин<sup>-1</sup>. На производительность машины влияет степень загрязнения макулатурной массы.

Существуют сортировочные машины и другой конструкции. Производятся, например, вихревые конические установки типа УВК, работающие по принципу гидроциклонов, в которые сортируемая масса тангенциально подается с большой скоростью. Вихревые конические установки устанавливаются, как правило, в несколько ступеней.

Тяжелые крупные частицы макулатурной массы, попадая в установку типа УВК, отбрасываются к стенке, по которой опускаются вниз, а более легкое волокно, поднимаясь вверх, выносятся через выпускной патрубок, расположенный в верхней части установки. Концентрация массы, подаваемой в установку типа УВК, со-

ставляет 0,1 – 1,0%. Ниже приведены характеристики конических вихревых установок для сортировки волокнистой массы:

|  | УВК-120-02  | УВК-180-02  |
|--|-------------|-------------|
| Производительность (воздушно-сухая масса), т/сут . . . . .             | 120         | 180         |
| Концентрация массы (оптимальная), %                                    | 0,5         | 0,5         |
| Количество очистителей в установке, шт.:                               |             |             |
| I степени . . . . .  | 46          | 76          |
| II степени . . . . .   | 12          | 18          |
| III степени . . . . .  | 4           | 6           |
| Диаметр очистителя, мм . . . . .                                       | 160         | 160         |
| Сечение входного отверстия, мм . . . . .                               | 44×20       | 44×20       |
| Диаметр отверстия для выхода очищенной массы, мм . . . . .             | 38          | 38          |
| Диаметр выходного отверстия насадки для удаления отходов, мм . . . . . | 28          | 28          |
| Давление массы на входе в очиститель, МПа                              | 0,28        | 0,23 – 0,28 |
| Давление на выходе очищенной массы, МПа                                | 0,02 – 0,05 | 0,02 – 0,03 |
| Давление на выходе отходов, МПа . . . . .                              | 0,04 – 0,06 | 0,04 – 0,06 |
| Установленная мощность всех электродвигателей, кВт . . . . .           | 325         | 475         |

Многие виды современной макулатуры имеют сложный химический состав: помимо целлюлозных волокон они содержат битум, воск, парафин, водонерастворимые клеи и другие вещества. Все это значительно усложняет традиционную технологию переработки макулатуры, так как эти добавки загрязняют очистное оборудование и вызывают появление на бумажном полотне, получаемом из макулатуры, пятен, отверстий и других дефектов.

Такая макулатура подвергается термомеханической обработке, осуществляемой в диспергаторах различной конструкции при высокой концентрации массы. Термомеханическая обработка массы производится после дезагрегирования макулатуры, очистки ее от включений и сгущения до концентрации 25 – 35%. Существуют два способа термомеханической обработки: холодный и горячий.

При холодном способе диспергирование проводится при атмосферном давлении и температуре до 95°C. При горячем способе процесс осуществляется при повышенном до 0,3 – 0,5 МПа давлении и температуре 130 – 150°C. В первом случае частицы битума, парафина и других веществ измельчаются до размеров, при которых они не влияют на качество бумажной продукции, во втором – расплавляются и удаляются. Однако при горячем диспергировании происходит снижение механической прочности волокон вследствие воздействия высоких температур.

На процесс диспергирования и получения качественной целлюлозно-бумажной массы при термомеханической обработке влияют: температура, давление, состав макулатуры, концентрация массы, содержание добавок и другие факторы.

Термомеханическая обработка макулатурной массы проводится при режимах, указанных в табл. 14.5.

Таблица 14.5

Режимы термомеханической обработки макулатурной массы

| Вид макулатуры                           | Расход пара, т/т | Температура, °С | Концентрация массы, % | Расход электроэнергии, кВт·ч/т | Назначение вторичных волокон |
|--|------------------|-----------------|-----------------------|--------------------------------|------------------------------|
| Картон, газеты, типографские отходы      | 0,45             | 127             | 30                    | 0,42                           | Картон                       |
| Газеты, типографские отходы, перфокартон | 0,45             | 125             | 32                    | 0,40                           | Туалетная бумага             |
| Влагопрочные битумизированные мешки      | 0,50             | 145             | 5                     | 0,60                           | Крафт-мешки                  |

Как видно из данных табл. 14.5, потребляемая мощность и расход пара зависят от состава макулатуры и назначения вторичных волокон, т. е. от требований к очищенной волокнистой массе.

## 14.6. Облагораживание целлюлозной массы

При переработке газетной, книжной, журнальной и другой типографской макулатуры с целью удаления из нее печатных красок и повышения белизны массу после диспергирования облагораживают.

Содержание краски в макулатуре составляет в различных ее видах от 0,5 до 7%. Краска содержит 15 – 30% сажи (углерода) и 70 – 85% масел и смол.

Облагораживание является важнейшей стадией переработки макулатуры, от которой зависит качество целлюлозно-бумажных волокон и возможность их использования в составе высококачественной бумажной продукции. В настоящее время в России облагораживанию подвергаются до 65% используемой газетно-журнальной макулатуры (в мировой практике объем облагороженной макулатуры достигает 70%).

Существуют два способа проведения этой операции: промывка и флотация. Наибольшее распространение имеет последний с использованием поверхностно-активных веществ, что объясняется меньшими затратами на его проведение.

Затраты при различных способах облагораживания макулатурной массы приведены ниже:

|   | Флотация | Промывка |
|---|----------|----------|
| Удельный расход электроэнергии, кВт·ч/т       | 376      | 488      |
| Расход пара при $p = 0,95$ МПа, т/т . . . . . | 0,8      | 1,55     |
| Расход воды, м <sup>3</sup> /т . . . . .      | 4,8      | 90,0     |

Процесс облагораживания состоит из следующих фаз: подготовки волокнистой суспензии с отделением частиц краски от волокна и получения чистого волокна путем удаления частиц краски из суспензии.

Отделение краски происходит в результате дезагрегирования и диспергирования массы и воздействия на нее химических веществ. Под влиянием щелочных химикатов, тепла и механического воздействия связующие вещества, содержащиеся в краске, омыляются, и создаются предпосылки ее отделения от волокон. Для этого применяют соду и пероксиды натрия или водорода. В качестве отбеливающих химикатов применяют гипохлорит натрия  $\text{NaClO}$  и гидросульфит натрия  $\text{NaHSO}_3$ . Разрушение связи между краской и волокном ускоряется при повышении температуры во время роспуска макулатуры в гидроразбивателе.

Удаление отделившейся от волокон краски производится методом флотации, который основан на увлечении частиц краски пузырьками воздуха вследствие различной смачиваемости частиц краски и волокна. Пузырьки воздуха, поднимаясь, увлекают за собой краску и выносят ее на поверхность суспензии, где она вместе с образующейся пеной перетекает в приемную камеру.

Для более полного отделения краски используют предварительную выдержку пульпы в башенном коллекторе перед флотацией, что особенно эффективно для отделения трудноудаляемой краски при переработке высококачественной макулатуры.

С целью создания условий для селективной флотации применяют флотоагенты, которые добавляют в суспензию волокна перед флотационной установкой. Роль флотоагентов заключается в улучшении пенообразования при флотации. Для этого применяют неионогенные алкилфенольные поверхностно-активные вещества (ПАВ) в сочетании с жирными кислотами (например, олеиновой). Наиболее целесообразно на стадии предварительного диспергирования и выдержки в башенном коллекторе использовать ПАВ, а затем во время флотации применять жирные кислоты; имеющие длинную молекулярную цепочку с водовоспринимающим (гидрофильным) и водоотталкивающим (гидрофобным) концами.

Гидрофильные группы собирают частицы краски и, поднимаясь вверх с пузырьками воздуха, создают на поверхности суспензии

устойчивую пену, которая удаляется из камеры с помощью специальных приспособлений.

На полноту и скорость удаления частиц краски влияют такие характеристики процесса флотации, как расход воздуха, диаметр пузырьков, скорость их всплытия и т. д. Концентрация волокнистой массы во флотаторе не должна превышать 1,2%, так как при более высоком ее значении возрастает вязкость суспензии, что затрудняет всплытие пузырьков воздуха с осевшей на них краской.

Обычно устанавливают последовательно две флотационные установки. При малом размере помещения установки можно располагать одну над другой в двух уровнях; их общая высота не превышает 4 м. Далее пена подается в центрифугу, где сгущается до концентрации 30 – 35%, после чего образовавшийся шлам удаляется в шламосборник, а облагороженная масса также сгущается и поступает в бассейн.

Степень белизны облагороженной массы зависит от качества макулатуры, способа нанесения печати, состава красителей и связующих и от технологии отделения краски от волокон.

Распушенная, очищенная и отбеленная волокнистая масса является прекрасным сырьем для производства различной бумажной продукции и картона. Ее использование осуществляется по технологии, принятой в целлюлозно-бумажной промышленности наряду с первичным сырьем, полученным из древесины и другого природного целлюлозного сырья.

В последние годы разработаны новые способы облагораживания макулатуры. Интересен следующий способ удаления клеящих веществ, которыми пропитаны некоторые виды бумажной продукции. Процесс осуществляется в смесителе, где подогретая дезагрегированная макулатурная масса перемешивается с перлитовым песком. При этом песок адсорбируется расплавленным клеем и при последующей флотации вместе с ним удаляется.

Представляет интерес способ обеззараживания макулатурной массы с помощью ионизирующего излучения [доза 10 – 30 кДж/кг (1 – 3 Мрад)], что позволяет использовать такую макулатуру в производстве бумаги для упаковки пищевых продуктов. Облучение макулатуры производится в кипах при концентрации абсолютно сухого волокна 88%.



# Глава 15. ПЕРЕРАБОТКА ОТХОДОВ НЕФТЕПРОДУКТОВ

К нефтепродуктам относят большую группу материалов, получаемых из нефти, в том числе: топлива, масла, смазки и др. К топливам относятся бензин, газотурбинные, дизельные, бытовые топлива, мазуты. Масла подразделяются на моторные, трансмиссионные, энергетические и индустриальные. Ассортимент смазок чрезвычайно широк и включает более 200 марок полужидких, пластичных и твердых материалов. Все нефтепродукты, как правило, являются многокомпонентными системами. В их состав входят различные добавки (антидетонаторы, противостарители, загустители, присадки и др.), которые предназначены для придания нефтепродуктам технических свойств, обеспечивающих их работоспособность в специфических условиях.

## 15.1. Источники и классификация нефтесодержащих отходов

Нефтесодержащие отходы и нефтепродукты являются одними из основных загрязнителей окружающей среды. Они образуются при транспортировке сырой нефти и продуктов ее переработки, эксплуатации различных машин и механизмов, в первую очередь автотранспорта, авариях транспорта, очистке транспортных емкостей и в других случаях.

Основные потребители нефтепродуктов сосредоточены в крупных промышленных центрах. Это предприятия транспорта и различных отраслей промышленности: машиностроения, химической, нефтехимической, легкой, металлургической и многих других, использующих топливо, смазочные масла, промывочные жидкости и другие продукты переработки нефти.

Около 65% общих потерь нефтепродуктов в окружающую среду составляют сбросы от промышленных механизмов и транспортных средств. Кроме неизбежных потерь, связанных с реализацией технологических процессов (угар масла, испарение топлива, унос СОЖ со стружкой металла и т. п.), большие потери нефтепродуктов происходят из-за плохой организации труда и слабой технологической дисциплины, а иногда и просто из-за варварского отношения к природе. Примером может служить слив отработанного масла из двигателя автомобиля прямо на землю.

Использование нефтепродуктов (бензина, керосина и др.) в качестве моющих средств является давно устаревшей технологией, приводящей к загрязнению окружающей среды и нерациональному использованию ресурсов. Более эффективно использовать для этих

целей специальные моющие растворы. Несмотря на это, еще очень часто нефтепродукты используют для очистки загрязненных агрегатов транспортных средств и другой техники.

Другим источником нефтесодержащих отходов являются очистные сооружения предприятий. Большинство из них не имеет замкнутого цикла и после очистки сбрасывает загрязненную воду в общегородские канализационные системы или прямо в водоемы и реки. Во многих случаях содержание нефтепродуктов в сточных водах, поступающих в городскую канализацию, достигает 100 мг/л, а иногда и значительно больше (автотранспортные предприятия). В Москве, где экологический контроль за очистными сооружениями особенно жесткий, сточные воды предприятий, поступающие на станции аэрации, содержат нефтепродуктов от 3 до 13,7 мг/л. На этих станциях в дальнейшем улавливается 80 – 97% нефтепродуктов. Однако имеющие место эпизодические залповые выбросы нефтепродуктов в сточные воды резко усложняют работу станций аэрации.

Большие количества сточных вод, загрязненных нефтепродуктами, поступает в канализационные системы от предприятий нефтепродуктообеспечения (нефтебаз, средств доставки нефтепродуктов и т. п.). Среди таких сточных вод – отстойные, промывочные, технологические, а также загрязненный нефтепродуктами конденсат.

Значительное количество нефтепродуктов поступает в городскую канализацию вместе с ливневыми водами, смывающими с покрытий дорог, дворов, проездов, территорий заводов нечаянно пролитые нефтепродукты, умышленно слитое на землю и асфальт масло, конденсат выхлопных газов автотранспорта и другие нефтесодержащие отходы. Зимой нефтепродукты попадают в канализационную систему и водоемы вместе со сбрасываемым снегом, который содержит их до 0,6 кг/м<sup>3</sup>.

Еще один источник нефтесодержащих отходов – технологическая вода после мойки автотранспортных средств. Только на мойку автомобилей расходуется свыше 500 млн. м<sup>3</sup> воды, а кроме этого, значительное количество воды расходуется на мойку внутризаводских подъемно-транспортных машин, работающих с использованием топлива нефтяного происхождения.

Со временем происходит накопление нефтепродуктов в водоемах, реках и в почве, поскольку объем попадающих в них отходов превышает возможности природы к самоочищению от нефтесодержащих отходов биохимическими методами.

Нефтесодержащие отходы можно разбить на следующие основные группы: отходы безреагентной обработки нефтесодержащих сточных вод; отходы, образовавшиеся в результате реагентной обработки нефтесодержащих сточных вод; смешанные отходы труд-

норазделяемых нефтесодержащих материалов (станочных эмульсий, синтетических ПАВ, флотоконцентратов и др); принимаемые на регенерацию масла; продукты очистки нефтяных резервуаров.

К первой группе относятся осадки и жидкие отходы, задерживаемые на очистных сооружениях предприятий, шламы из шламонакопителей нефтеперерабатывающих заводов. Такие отходы содержат много воды, но легко отделяются от нее.

Ко второй группе отходов относятся осадки, образующиеся при очистке сточных вод с применением химических веществ (сульфата алюминия, хлорида железа, гидроксида кальция и др.), имеющие сложные физические свойства (гелеподобность), в результате чего отделение воды от нефтепродуктов затруднено.

Третья группа отходов содержит мало горючих компонентов, а физико-химические свойства их таковы, что они практически не поддаются отделению от воды.

К четвертой группе отходов относятся высококонцентрированные отходы нефтепродуктов, требующие специфических методов утилизации.

Для обезвреживания нефтесодержащих отходов могут применяться рассмотренные выше методы фильтрации, химической и биохимической обработки, сжигания и др. Разработанные способы утилизации являются высокоэффективными, так как наряду с обезвреживанием токсичных продуктов позволяют получать ценную продукцию.

## 15.2. Обезвоживание нефтесодержащих отходов

Для уменьшения объемов нефтеотходов, а также для повышения эффективности применяемых способов утилизации их предварительно отделяют от воды. Для этого применяют отстаивание, фильтрацию, центрифугирование, разделение в гидроциклонах, сушку, вымораживание. Так, отходы первой группы легко разделяются при отстаивании: за 1 ч объем осадка уменьшается на 35%. Для фильтрации отходов с высоким содержанием нефтепродуктов применяют ленточные фильтры и ручные фильтр-прессы. Для улучшения фильтрации нефтеотходов проводят интенсивное их перемешивание, усредняющее состав, а также добавляют в них золу, полиэлектrolиты и другие реагенты, изменяющие физико-химические свойства отходов и облегчающие процесс фильтрации. Осадки и отходы второй и третьей групп, также содержащие большое количество воды, гравитационными методами обезвоживаются плохо и требуют иных способов разделения. Для улучшения фильтрации нефтесодержащих осадков второй группы в них добавляют коагулянты, например известь (10 г/л) и хлорид железа (1 г/л). После коагуляции производится фильтрация на вакуум-фильтре. Произ-

водительность фильтра достигает  $40 \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$ , а влажность осадка составляет  $68 - 75\%$ .

Осадки моечной воды при мойке автотранспорта легко разделяются в центробежном поле, для чего используют гидроциклоны, соединенные с бункерами-уплотнителями. В гидроциклоне происходит сгущение осадка, а в бункере-уплотнителе – дальнейшее его обезвоживание методами уплотнения. Недостатком этого метода является значительный (до  $50\%$ ) унос мелкодисперсной твердой фазы с водой. Для этих же целей применяются центрифуги непрерывного или периодического действия, обладающие высокой устойчивостью к эрозионному износу. Содержание твердой фазы в очищенной воде после центрифуги, как правило, составляет не более  $0,001\%$ , а влажность твердого осадка – не более  $24\%$ .

Очистка моечной воды автопредприятия может быть организована по схеме, приведенной на рис. 15.1.

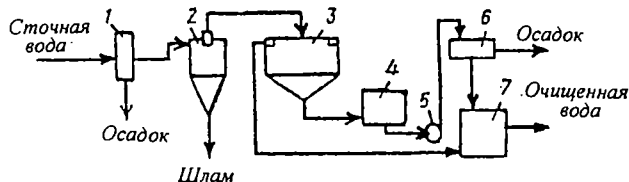


Рис. 15.1. Схема установки для очистки моечной воды автопредприятия:

- 1 – решетка; 2 – гидроциклон; 3 – уплотнительный бункер;  
4, 7 – емкости; 5 – насос; 6 – центрифуга

Однако, учитывая огромное количество предприятий, имеющих в своем хозяйстве автотранспорт, рассчитывать сегодня на то, что все они будут иметь очистные сооружения, оснащенные центрифугой, фильтром и другим оборудованием, не приходится. Поэтому более рационально использовать мобильные установки, способные очищать нефтесодержащие моечные воды предприятий по заранее согласованному графику с последующим вывозом твердой фазы и нефтесодержащего шлама на дальнейшую утилизацию.

### 15.3. Сжигание нефтеотходов

Нефтеотходы, которые нельзя регенерировать, подвергаются сжиганию. При горении таких отходов, содержащих значительное количество воды, происходят сложные химические процессы, связанные с испарением воды и наличием ее паров в зоне пламени. Это повышает скорость горения отходов вследствие увеличения количества активных центров, каковыми являются положительно и отрицательно заряженные ионы, образующиеся в результате диссоциации воды. Появление в зоне пламени обводненного топлива

большого числа активных центров атомарного водорода  $H^+$  и гидроксидов  $OH^-$  во много раз ускоряет реакцию окисления топлива.

Вода не только является инициатором реакции, но и участвует в протекании самих реакций. Это подтверждается изменением интенсивности свечения пламени, которое наблюдается с увеличением содержания воды в смеси. При сжигании обводненных топлив уменьшается дымление, которое является следствием дефицита кислорода в зоне протекания реакции.

Процесс сжигания нефтесодержащих отходов может реализовываться в топках различной конструкции: камерных, циклонных, надслоевых. Особый интерес представляет турбобарботажный способ горения, который характеризуется следующими основными признаками:

1. Процесс сжигания осуществляется в цилиндрической или узкой кольцевой камере при большой кратности обмена в тонком слое, приводимом во вращательное турбулентное движение. Слой топлива быстро прогревается и частично распыляется на более мелкие, чем при других способах, капли.

2. Процесс ведется при пониженном количестве первичного воздуха и при большой его скорости. Барботажные элементы объединены в коллекторные блоки.

3. Подача вторичного воздуха в камеру сгорания осуществляется над слоем отходов тангенциально с пересечением ее рабочего сечения. Недоиспарившиеся капли, вынесенные из слоя под действием центробежной силы, сепарируются на стенках камеры сгорания, что исключает механическую неполноту сгорания.

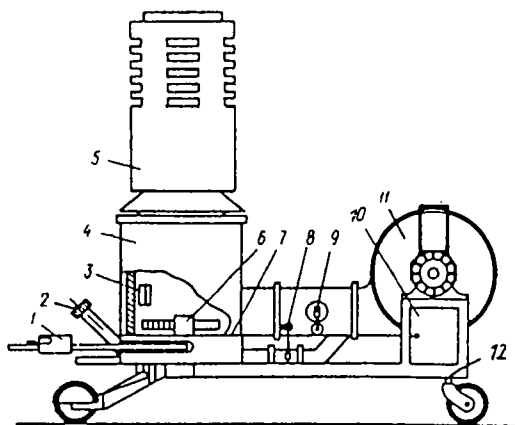
4. Процесс сжигания ведется при повышенном значении коэффициента избытка воздуха.

Турбобарботажная установка "Вихрь-1" с печью производительностью 200 кг/ч показана на рис. 15.2.

Рис. 15.2. Передвижная установка "Вихрь-1":

1 — регулятор подачи нефтеотходов; 2 — запальный патрубок; 3 — отверстия для подачи "вторичного" воздуха; 4 — камера сгорания; 5 — труба; 6 — турбобарботажная крестовина; 7 — днище горелки; 8 — шибер "первичного" воздуха; 9 — шибер "вторичного" воздуха; 10 — энергоблок; 11 — вентилятор;

12 — шасси



При определенных условиях (коэффициент избытка воздуха  $\alpha = 1,4 - 1,9$ ; закрутка "вторичного" воздуха со скоростью свыше 50 м/с) печи диаметром до 0,6 м можно изготавливать цельнометаллическими без футеровки и водяного охлаждения из обычной нержавеющей стали 1Х18Н9Т, что упрощает и удешевляет их конструкцию.

В печах диаметром более 0,8 м эффект вращающегося кольца холодного воздуха значительно ослабевает, и такие установки нуждаются в футеровке огнеупорным материалом, так как их стенки нагреваются выше 700°C.

Установки "Вихрь" выпускаются с утилизацией тепла и с мокрой (реагентной и безреагентной) очисткой дымовых газов. Мобильные установки такого типа могут широко применяться для сжигания горючих отходов непосредственно на месте их образования.

Основные характеристики турбобарботажной установки "Вихрь", разработанной для сжигания нефтеотходов, приведены ниже:

|   |  |
|---|--|
| Высота слоя отходов, см . . . . .   | 0,2 – 3,0  |
| Коэффициент избытка воздуха . . . . .   | 1,4 – 1,9  |
| Количество первичного воздуха, % от общего расхода . . . . .                        | 5 – 10   |
| Скорость выхода первичного воздуха, м/с . . . . .                                   | > 50   |
| Характер подачи вторичного воздуха  | Закрутка по внутренней и наружной сторонам кольцевой камеры                      |
| Допустимое содержание в отходах, %:   |  |
| влаги . . . . .   | < 60   |
| твердых минеральных примесей . . . . .  | < 15   |
| Размер частиц твердых примесей, мкм . . . . .                                       | 0 – 2000   |
| Суммарная площадь сечения барботажных отверстий, % от общей площади ванны . . . . . | < 0,1  |
| Конструкционный материал камеры сгорания:   |  |
| при диаметре < 0,6 м . . . . .  | Нержавеющая сталь  |
| при диаметре > 0,6 м . . . . .  | Сталь с футеровкой огнеупорным кирпичом  |
| Рекомендуемые к сжиганию углеводороды   | От ЛВЖ до тяжелых мазутов ( $t_{\text{кип}} = 30 - 360 \text{ }^\circ\text{C}$ ) |

Для сжигания нефтесодержащих жидких отходов, в том числе промстоков и отработанных углеводородных топлив, не подлежащих регенерации, представляет интерес мобильная установка, смонтированная на двухосном шасси-прицепе МАЗ 5224В, основным элементом которой является циклонная печь. В состав установки, разработанной Конструкторским бюро транспортно-химиче-

ского машиностроения, входят камеры сгорания и выброса, нагреватель, емкости с топливом и водой, центробежный и струйный насосы, запорно-регулирующая аппаратура и система управления.

Камера сгорания представляет собой охлаждаемую воздухом циклонную печь, снабженную огнеупорной футеровкой. Пары отходов с помощью воздуха подаются в камеру через четыре тангенциально установленных сопла, топливо для поддержания горения впрыскивается через центробежные форсунки, моторы установлены радиально в устьях воздушных сопел. Циклонный принцип организации сжигания создает хорошую турбулизацию веществ, подаваемых в камеру. Основные характеристики мобильной установки, смонтированной на базе шасси МАЗ 5224В приведены ниже:

|   |            |
|---|------------|
| Производительность при обезвреживании<br>промстоков, кг/ч . . . . .         | > 500      |
| Производительность при обезвреживании<br>паров, м <sup>3</sup> /ч . . . . . | > 200      |
| Расход топлива (Т-1; дизельное), кг/ч . . . . .                             | 50 – 140   |
| Потребляемая мощность, кВт . . . . .  | < 60       |
| Запасы:   |            |
| топлива, т . . . . .  | 1,8        |
| воды, т . . . . .   | 0,55       |
| сжатого воздуха ( $P = 20$ МПа), т . . . . .                                | 0,08       |
| Продолжительность непрерывной работы, ч                                     | 15         |
| Температура в камере сгорания, °С   | 900 – 1000 |

Главным достоинством этой установки является мобильность, что позволяет использовать ее для периодической очистки стоков, содержащих нефтеотходы, накапливающиеся на сравнительно небольших предприятиях, в частности, в различных автотранспортных хозяйствах, пунктах мойки автомобилей, небольших производственных предприятиях, для которых строительство дорогостоящих очистных сооружений экономически неэффективно.

Отработанные минеральные масла после некоторой переработки могут быть превращены в полноценное топливо, ничем не уступающее продуктам переработки сырой нефти. С этой целью их подвергают термическому крекингу и дистилляции.

Установки, разработанные для этих процессов, включают реактор, дефлегматор, холодильник, камеру дожигания легколетучих фракций, центрифугу, фильтры. При необходимости производства фракций нефтепродуктов с узким диапазоном температур кипения (например, бензина, дизельного топлива, мазута) установка комплектуется дистилляционной колонной.

Некоторые характеристики установок для крекинга отработанных минеральных масел приведены в табл. 15.1.

Таблица 15.1

Характеристики установок для крекинга отработанных минеральных масел

| Показатели   | Значения показателей при производительности, м <sup>3</sup> /год |      |       |       |
|--|--|------|-------|-------|
|  | 6000   | 7000 | 12000 | 15000 |
| Потребляемая мощность, МВт/год                         | 250  | 300  | 400   | 500   |
| Потребность в сжатом воздухе, тыс. м <sup>3</sup> /год | 400  | 400  | 400   | 400   |
| Количество образующегося кокса, т/год                  | 240  | 280  | 480   | 600   |

Голландская фирма "Breda BV" производит экономичные отопители производственных и складских помещений модели "Thermobile", работающие на отработанных моторных маслах, загрязненном дизельном топливе и других нефтепродуктах (табл. 15.2). Отопители обеспечивают полное сгорание отработанных нефтепродуктов без дыма и запаха, которое осуществляется с помощью специального испарителя. Сбор несгоревших остатков на тарелке позволяет исключить загрязнение дымовых газов и обеспечить санитарно-гигиенические требования к уровню воздействия на атмосферу.

Таблица 15.2

Технические характеристики обогревателей "Thermobile"

| Показатели  | АТ 306      | АТ 305/307  | АТ 400/400С | АТ 500/500С | АТА 70 | АТА 100 |
|---|-------------|-------------|-------------|-------------|--------|---------|
| Тепловая мощность, кВт                            | 20,0 – 29,0 | 20,0 – 29,0 | 16,0 – 41,0 | 35,0 – 58,0 | 66,0   | 100,0   |
| Расход топлива, л/ч                               | 2,0 – 3,0   | 2,0 – 3,0   | 2,5 – 4,3   | 3,8 – 6,2   | 6,8    | 11,8    |
| Емкость топливного бака, л                        | 50          | 50          | 42          | 55          | 40     | 40      |
| Производительность вентилятора, м <sup>3</sup> /ч | Нет         | 1000        | 3000        | 4250        | 5500   | 8000    |
| Потребляемая электрическая мощность, Вт           | 50          | 175         | 220         | 440         | 1760   | 2020    |
| Диаметр отводной трубы, мм                        | 130         | 130         | 130         | 180         | 180    | 180     |
| Габаритные размеры, мм:                           |             |             |             |             |        |         |
| длина   | 690         | 870         | 880         | 980         | 1310   | 1600    |
| ширина  | 540         | 540         | 750         | 850         | 870    | 1090    |
| высота  | 1160        | 1360        | 1030        | 1270        | 1870   | 2290    |
| Масса без топлива, кг                             | 60          | 74/83       | 130         | 175         | 280    | 450     |
| Объем обогреваемого помещения, м <sup>3</sup>     | 700         | 750         | 1100/1000   | 1500/1300   | 1800   | 3000    |



Для обезвреживания нефтесодержащих шламов, в составе которых присутствует значительное количество минеральных примесей, также используется сжигание.

Хотя доля шлама, образующегося в процессе нефтепереработки, невелика (1%), их общее количество в нашей стране достаточно велико. А поскольку нефтешламы содержат 20 – 25% нефтепродуктов, утилизация образующегося при сжигании тепла представляет значительный интерес.

Процесс проводится в печах с "кипящим" слоем, в многоподовых и барабанных печах. Температура отходящих газов достигает 800 °С, что позволяет устанавливать котел-утилизатор с получением перегретого пара и горячей воды.

Более рациональные методы утилизации нефтяных шламов заключаются в применении пиролиза для получения горючих газов, термической обработке нефтеотходов на движущемся твердом теплоносителе, нагретом до 350 – 750 °С. Образующаяся при этом паро-газовая смесь конденсируется, а затем отстаивается с разделением на воду и нефтепродукты.

#### 15.4. Химическое обезвреживание нефтесодержащих отходов

Этот способ вдвое дешевле сжигания, так как не только позволяет исключить ущерб окружающей среде, но и получить товарные продукты, которые могут быть использованы в дорожном строительстве и для других целей. Один из распространенных способов утилизации нефтесодержащих отходов состоит в обработке их негашеной известью, предварительно обработанной стеариновой кислотой или другим поверхностно-активным веществом. В итоге получают сухой гидрофобный порошок, который можно использовать в качестве строительного материала при сооружении дорог и для других целей.

Химическое обезвреживание используют также для очистки поверхности водоемов от пролитой нефти. Для рассеивания нефти применяют препараты эмульгирующего действия, которые представляют собой ПАВ, разбавленные органическим растворителем. Такие препараты способны к биологическому разложению под действием бактерий. Энергичное перемешивание с водой обработанных ими путем опрыскивания с воздуха нефтяных пятен приводит к рассеиванию отходов в толще воды и последующему биохимическому окислению.

В последние годы для сбора нефтепродуктов с поверхности водоемов и извлечения их из сточных вод используют жидкости, об-

ладающие магнитными свойствами. Магнитные жидкости представляют собой многокомпонентные коллоидные системы, состоящие из воды, минеральных масел, магнитных материалов (Fe, Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>) и других веществ. Магнитные жидкости на углеводородной основе (керосине и др.) хорошо растворяются в нефтепродуктах. При необходимости очистки водоема от нефти магнитную жидкость распыляют по его поверхности, а затем (после ее растворения в нефтепродуктах) полученную смесь собирают с помощью магнитного устройства, передвигающегося по поверхности водоема.

### 15.5. Биохимическая обработка нефтесодержащих отходов

Биохимическая обработка нефтесодержащих отходов основана на способности некоторых микроорганизмов превращать ароматические и алифатические углеводороды в безвредные диоксид углерода и воду. Эти реакции происходят в аэробных условиях.

Одна из технологических схем биохимической обработки нефтеотходов разработана отечественными специалистами из Тюмени. Специально разработанный бактериальный препарат "Путидойл" на основе природного штамма обладает окисляющей активностью в отношении углеводородов нефти, разрушая их до продуктов, относящихся к экологически нейтральным соединениям.

Препарат представляет собой мелкодисперсный порошок с концентрацией бактерий не ниже 100 млрд. в одном грамме сухого вещества. Влажность препарата – не более 10%. Порошок может применяться для очистки сточных вод, водоемов, акваторий морей, технологических резервуаров, танков, судов, территорий нефтебаз и т. п. Препарат сохраняет работоспособность при температуре от –50 до 70 °С. Он активен только в кислородной среде и погибает в анаэробных условиях. После применения препарата на загрязненной нефтепродуктами почве выход биомассы возрастает в четыре раза по сравнению с урожаем почвы до загрязнения, так как продукты обезвреживания являются отличным удобрением.

Продолжительность процесса обезвреживания загрязненной нефтью почвы составляет 2,5 мес; после этого срока возобновляется ее растительный покров.

## 15.6. Регенерация отработанных минеральных масел

Основную часть нефтеотходов, образующихся на промышленных и транспортных предприятиях, составляют минеральные масла. На рис. 15.3 приведены источники образования и направления утилизации отработанных масел. Масла применяются в узлах трения различных машин и механизмов для снижения коэффициента трения и износа поверхностей трущихся деталей. Смазочные масла образуют на их поверхности микропленку толщиной в десятые доли микрона, которая позволяет уменьшить износ деталей в сотни раз. Общая масса минеральных масел, поступающих в отходы в течение года во всем мире, оценивается в 40 млн. т. Из них только 20 млн. т собирается, а подвергается переработке не более 2 млн. т, что составляет не более 5% от количества образующихся отходов (табл. 15.3).

Таблица 15.3

Образование и потребление отработанных масел в некоторых странах, тыс. т/год

| Страны              | Потребление масел | Сбор отработанных масел | Переработка отработанных масел |
|---------------------|-------------------|-------------------------|--------------------------------|
| Россия и страны СНГ | 7800              | 1700                    | 260                            |
| США                 | 10000             | 4000                    | около 400                      |
| Канада              | 1400              | —                       | около 250                      |
| Германия            | 1460              | 730                     | 400                            |
| Великобритания      | 800               | 200                     | 150                            |
| Франция             | 850               | 250                     | 200                            |
| Италия              | 630               | 200                     | 150                            |
| Голландия           | 500               | 200                     | 15                             |
| Чехия и Словакия    | 350               | 147                     | 125                            |

Как видно из данных табл. 15.3, отношение к отработанным маслам разное. Наиболее прогрессивные страны подвергают переработке до 30 – 38% отработанных масел, обеспечивая при этом высокую полноту их сбора, а также качество товарной продукции. Как правило, это страны, не имеющие своих источников нефтепродуктов и закупающие их за рубежом.

Образование отходов минеральных масел связано с тем, что в процессе работы машин и механизмов масло окисляется, загрязняется продуктами износа деталей, металлической стружкой и пылью. При этом происходит изменение физико-химических свойств масел ниже допустимых пределов. Наиболее загрязненными оказываются масла, слитые из картеров двигателей внутреннего сгорания.



Рис. 15.3. Источники образования и направления утилизации отработанных масел

Неутилизированные отработанные масла наносят непоправимый ущерб окружающей среде, отравляя воду, воздух и почву. Некоторые из них обладают канцерогенными свойствами и длительно не распадаются в естественных условиях.

В то же время отработанные масла являются сырьем для производства вторичных материалов и должны собираться с целью регенерации. По данным специалистов, выход качественных вторичных масел из отработанных составляет 60–80%, в то время как при переработке сырой нефти выход товарных масел не превышает 10%. Так, в Канаде нефтеперерабатывающая фирма "Эссо" поставляет на рынок масла, содержащие 50% регенерированных продуктов. Во Франции собирается для рекуперации ежегодно до 200 тыс. т отработанных масел. Однако в связи с тем, что затраты на регенерацию превышают стоимость свежеприготовленных масел, регенерированный продукт становится неконкурентоспособным. Выход из создавшегося положения состоит в том, что государство законодательно обязывает поставщиков смазочных масел использовать в их составе до 15% регенерированных продуктов.

В странах ЕС установлены жесткие нормы контроля за образованием и использованием отработанных масел. Любая деятельность, связанная с накоплением, транспортировкой и утилизацией отработанных масел в этих странах лицензируется. В нашей стране работы по сбору и утилизации отработанных масел ведутся с 1930 г., когда их порядок был определен приказом ВСНХ. В более поздние годы сбор и использование отработанных нефтепродуктов организовывались ВО "Вторнефтепродукт" при Госснабе СССР. В 80-х годах в стране был достигнут высокий уровень сбора и утилизации отработанных масел, который к началу 90-х годов достиг 1700 тыс. т/год. Однако в последние годы сбор и утилизация отработанных масел неуклонно снижаются (в 1994 г. сбор составил 470 тыс. т). Это приводит к все более негативному влиянию на окружающую среду.

Согласно ГОСТ 21046–86 "Нефтепродукты отработанные. Общие технические условия" отработанные нефтепродукты подразделяются на масла моторные отработанные (ММО) (в том числе трансмиссионные), масла промышленные отработанные (МИО) и смеси нефтепродуктов отработанных (СНО).

По свойствам отработанные нефтепродукты должны соответствовать требованиям, приведенным в табл. 15.4.

Таблица 15.4

Требования к отработанным нефтепродуктам, поступающим на регенерацию

| Наименование показателей  | Норма для масел |            |            |
|---|-----------------|------------|------------|
|   | ММО             | МИО        | СНО        |
| Кинематическая вязкость при температуре 50 °С, мм <sup>2</sup> /с | > 35            | 5 – 35     | –          |
| Условная вязкость при 20 °С, мм <sup>2</sup> /с                   | > 40            | 13 – 40    | –          |
| Температура вспышки в открытом тигле, °С                          | ≥ 100           | ≥ 120      | –          |
| Содержание, % (масс.):<br>механических примесей<br>воды           | ≤ 1<br>≤ 2      | ≤ 1<br>≤ 2 | ≤ 1<br>≤ 2 |

Временным положением о системе обращения с нефтеотходами, введенным постановлением Правительства г. Москвы с 01.01.98, установлены шесть категорий нефтеотходов.

К 1-, 2- и 3-й категориям относятся различные масла и их смеси, пригодные для переработки или использования. К 4-й категории отнесена смесь нефтеотходов, также пригодная для переработки или использования. 5-я категория объединяет нефтеотходы, непригодные для переработки с целью дальнейшего использования и подлежащие экологически обоснованному уничтожению. К 6-й категории отнесены опасные нефтеотходы, содержащие особо токсичные компоненты (полихлорированные бифенилы, терфенилы и др.). Эти отходы должны уничтожаться на специальных установках. Согласно постановлению от 18.10.97 № 807 предприятия, осуществляющие прием, переработку и уничтожение отработанных нефтепродуктов, обязаны иметь лицензию на право проведения этих работ, а сами работы выполнять по экологически обоснованным технологиям при максимальном вовлечении нефтеотходов в хозяйственный оборот в качестве вторичных материальных ресурсов.

Методы регенерации отработанных масел подразделяются на физические, физико-химические, химические и комбинированные.

К *физическим методам* относятся отстаивание, центрифугирование, фильтрация, перегонка.

Отстаивание – наиболее простой и дешевый способ отделения от отработанных масел большей части воды и примесей крупных твердых частиц, осуществляется в отстойниках различной геометрии. Центрифугирование также позволяет отделить воду и твердые частицы от масла; процесс выполняется с помощью центрифуг периодического или непрерывного действия, не требует больших затрат времени и энергии. Фильтрация позволяет отделить от масла дисперсные частицы практически любых размеров, а также воду; выполняется на различных фильтрах, например фильтр-прессах.

Более прогрессивны ленточные, барабанные и дисковые вакуум-фильтры, работающие в непрерывном режиме. Фильтрующими элементами являются пористые материалы: текстиль, бумага, картон и др. Для отделения воды от масла иногда применяют сепарирующие центрифуги.

Перегонка позволяет отделить от масла легколетучие фракции, в частности бензин, попадающий в масло при неисправном двигателе. Еще более эффективна вакуумная перегонка, при которой получают в качестве дистиллята высококачественные базовые масла. Перегонка может осуществляться в несколько стадий с использованием тонкопленочного испарителя. Остаточное давление в системе составляет 8 – 12 кПа, температура на первой стадии составляет 218 – 260 °С, на заключительной 325 – 345 °С. Реализация метода требует специального оборудования, значительных капитальных и текущих затрат и может быть осуществлена на специализированных предприятиях.

Очень часто в регенерационной установке сочетаются несколько физических методов, например магнитная сепарация металлических частиц и фильтрация с помощью центрифуги.

Интересный опыт регенерации отработанных масел физическими методами накоплен финской фирмой "Экокем". Отработанные масла собираются с промышленных предприятий, станций технического обслуживания автомобилей, автозаправочных станций и т. п. При переработке сначала методом центрифугирования из масла выделяют металлы и другие взвешенные частицы, затем масло фильтруют и обезвоживают. Для изготовления из образовавшегося "сырого" масла продукта, пригодного для использования в качестве смазочного материала, в него добавляют соответствующие присадки. Фирма "Экокем" на неспециализированном предприятии регенерирует в год 50 тыс. т отработанных масел.

К *физико-химическим методам* относятся коагуляция, адсорбция и экстракция, т. е. методы, основанные на использовании поверхностно-активных веществ, адсорбентов, экстрагентов и т. п.

Коагуляция позволяет очистить отработанное масло от загрязнений путем коагулирования (укрупнения) частиц. Для этих целей применяют электролиты, поверхностно-активные вещества, некоторые высокомолекулярные соединения с гидрофильными свойствами и др.

Наиболее эффективным коагулянтом является метасиликат натрия. В промышленности при очистке масел применяют 30%-ные (масс.) водные растворы этого соединения. Расход его составляет 5% (масс.) от отработанного дизельного масла и 3% от отработанного индустриального масла. На процесс влияют интенсивность и продолжительность перемешивания, температура масла и другие факторы. Адсорбция используется для окончательной очистки и

проводится с помощью отбеливающей глины, силикагеля, алюмосиликатов и других веществ. Для осуществления процесса необходимо специальное оборудование: периодические или непрерывные адсорберы. Экстракция применяется для разделения на фракции отработанных масел с помощью селективных растворителей, т. е. таких веществ, которые способны избирательно растворять те или иные компоненты смеси. В частности, экстракционная очистка отработанных масел проводится с помощью пропана, который растворяет собственно масло и не растворяет асфальто-смолистые вещества, образовавшиеся при его эксплуатации и старении.

К *химическим методам* регенерации масел относятся очистка отработанных масел с помощью кислоты или щелочи, а также осушка и гидрогенизация.

Осушка производится с помощью негашеной извести и других водопоглощающих веществ, а гидрогенизация – путем обработки масла водородом на поверхности катализатора. В результате гидрогенизации непредельные углеводороды превращаются в предельные, что приводит к очистке масла от примесей и повышению его стабильности при эксплуатации. Эта технология требует значительных капитальных и текущих затрат.

*Комбинированные методы* регенерации заключаются в сочетании нескольких названных выше приемов очистки.

Технология, разработанная специалистами Белградского нефтеперерабатывающего завода и основанная на комбинации различных методов, включает следующие стадии переработки отработанных минеральных масел: термическую обработку, экстракцию растворителем, каталитическую гидрообработку и вакуумную перегонку. При термической обработке из отработанного масла удаляются вода и легкие фракции и агломерируются продукты деструкции масла. При экстракции растворителем из масла удаляются отработавшие ресурс добавки и продукты распада масел, образовавшиеся при их эксплуатации.

Во время каталитической гидрообработки масло стабилизируется перед последующей перегонкой на вакуумной установке. Тяжелые фракции, оставшиеся после дистилляции, а также легкий дистиллят используются как добавка к битумам или в качестве топлива. Полученные в результате дистилляции масла не уступают по качеству первичному базовому продукту и после добавления необходимых присадок, загустителей и других компонентов являются ценной товарной продукцией.

В ряде случаев для регенерации отработанные масла смешиваются с сырой нефтью и полученную смесь перерабатывают по полной технологической схеме. Метод прост, но высокая зольность и содержащиеся в масле присадки отрицательно влияют на работу



технологического оборудования. Поэтому его применение допустимо только в очень ограниченных количествах (не более 1% отработанных масел от сырой нефти).

При массовой регенерации масел, когда смешиваются масла различных марок, необходимо полное удаление всех видов присадок, даже тех, которые не полностью исчерпали свой ресурс.

Отечественной промышленностью выпускается ряд комплектов установок для регенерации различных масел. Среди них есть промышленные стационарные установки с большой производительностью и небольшие установки, предназначенные для очистки масел на транспортных и промышленных предприятиях.

В связи с сокращением объемов сдачи отработанных масел предприятиям ГАО "Вторнефтепродукт", особую актуальность приобрела очистка и регенерация масел на местах их образования. Поэтому особый интерес представляют регенерационные установки небольшой мощности, работающие в периодическом режиме. В табл. 15.5 приведены характеристики некоторых регенерационных установок для очистки различных масел.

Работа установки УПТМ-8К основана на использовании физических и физико-химических методов регенерации: фильтрации, коагуляции, отстаивания, выпаривания (рис. 15.4). В процессе работы установки отработанное масло насосом 2 через фильтр грубой очистки 1 и теплообменник 27 подается в электропечь 16, в которой нагревается до 200 °С, и далее поступает в испаритель 17, где из масла удаляются вода и легколетучие фракции. Затем масло с помощью насоса 26 поступает в смеситель 14, куда из емкости 10 насосом 13 подается 20%-ный раствор коагулянта в количестве 2 – 3% от массы поступающего на переработку масла. Перемешанное с коагулянтом масло поступает в автоклав-отстойник 15, где происходит отстаивание продукта и удаление коагулированных частиц. Затем из автоклава-отстойника масло поступает во второй испаритель 23 для удаления следов воды. С нижней его части масло насосом 24 через теплообменник 27 и холодильник 28 перекачивается в контактную мешалку 6, а затем – в фильтр-пресс 9 для проведения контактной доочистки отбеливающей глиной и удаления механических примесей с размером частиц более 1 – 2 мкм. Очищенное масло поступает в двухсекционную емкость 5, откуда насосом 4 перекачивается в емкости регенерированного масла либо возвращается на повторную очистку. Для получения технологических масел предусмотрен фильтр тонкой очистки 29. В этом случае масло после испарителя 23, минуя контактную мешалку 6 и фильтр-пресс 9, подается на фильтр тонкой очистки 29, затем – в двухсекционную емкость 5, откуда перекачивается в резервуары регенерированного масла.

## Технические характеристики установок для регенерации отработанных масел

| Характеристики                      | УПТМ-8К        | УРММ-50        | УРМ-100М   | УРТМ-200         | УРИМ-0,8       | УРМХМ-1,6М                               |
|-------------------------------------|----------------|----------------|--|------------------|----------------|--|
| Вид масла                           | Индустриальные | Моторные       | Дизельные, индустриальные, турбинные, трансформаторные | Трансформаторные | Индустриальные | Масла для компрессоров холодильных машин |
| Производительность, л/ч, не менее   | 240            | 50             | 100 – 200*   | 200              | 90             | 100                                      |
| Выход очищенного масла, %, не менее | 85             | 65             | 65 – 90**  | 90               | 80             | 78                                       |
| Установленная мощность, кВт         | 120            | 23,3           | 33   | 54,2             | 5              | 20                                       |
| Габариты, мм:                       |                |                |  |                  |                |  |
| блока 1                             | 4000×2000×2400 | 3000×2000×2280 | 2700×1400×2850   | 1580×710×1720    | 2700×1670×2040 | 3740×2000×2400                           |
| блока 2                             | —              | 1740×810×2430  | 2860×1360×2710   | 2270×1760×1830   | 1484×568×1090  | 560×560×2100                             |
| блока 3                             | —              | 750×425×1715   | 1160×530×1020  | 1160×530×1020    | —              | 600×300×1900                             |

\* Для дизельных 100, для остальных 200 л/ч.

\*\* Для дизельных 65 – 70; индустриальных 80; турбинных, трансформаторных 85 – 90%.

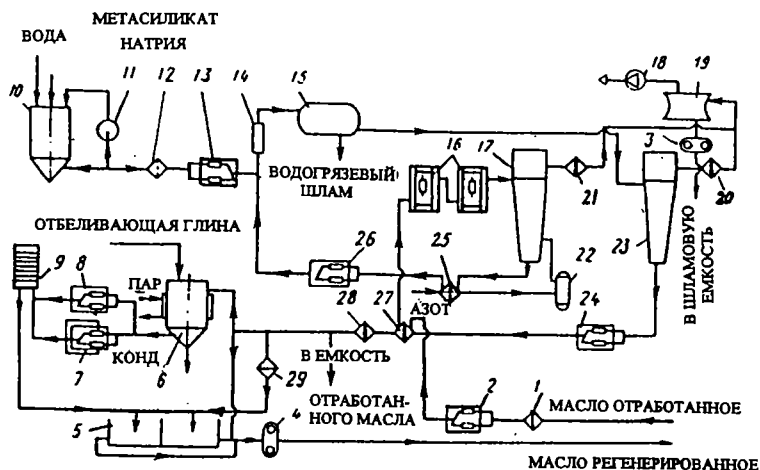


Рис. 15.4. Функциональная схема установки УПТМ-8К:

1. — фильтр грубой очистки; 2, 8, 13, 24, 26 — насос-дозатор НД; 3 — агрегат электронасосный; 4 — узел выдачи готовой продукции; 5 — емкость двухсекционная; 6 — мешалка контактная; 7 — насос плунжерный; 9 — фильтр-пресс; 10 — емкость приготовления коагулянта; 11 — насос ХМ; 12 — фильтр грубой очистки; 14 — смеситель; 15 — автоклав-отстойник; 16 — электропечь; 17 — испаритель; 18 — насос вакуумный ВВН1-1,5; 19 — сборник отгона; 20, 21 — холодильник-конденсатор; 22 — адсорбер; 23 — испаритель; 25 — холодильник; 27 — теплообменник; 28 — холодильник; 29 — фильтр тонкой очистки

Установка УРММ-50, предназначенная для регенерации моторных масел, позволяет также перерабатывать в полноценные продукты индустриальные и турбинные отработанные масла. Работа установки основана на последовательном сочетании методов коагуляции, отстаивания, фильтрации и адсорбции. В ее состав входит следующее оборудование: емкость для приготовления коагулянта, мешалка-отстойник, фильтр-водоотделитель, фильтры грубой и тонкой очистки масла, насосы, расходные и накопительные емкости.

Установка УРМ-100М предназначена для регенерации любых масел, за исключением масел для компрессоров холодильных машин. Технология регенерации масел на этой установке включает коагуляцию, отстаивание, выпаривание, фильтрацию. В отличие от других установка УРМ-100М имеет узел подготовки и дозирования в регенерированное масло необходимых присадок. В состав установки входят мешалка-отстойник, электропечь, испаритель, холодильник, вакуум-насос, фильтр-пресс, накопительные и расходные емкости (в том числе емкость-мешалка для присадок и насос-дозатор), а также ряд насосов.

Вакуумно-адсорбционная установка УРТМ-200 (рис. 15.5) предназначена для регенерации отработанных трансформаторных

масел адсорбционным методом, а также для их вакуумной сушки в зависимости от степени загрязненности масел.

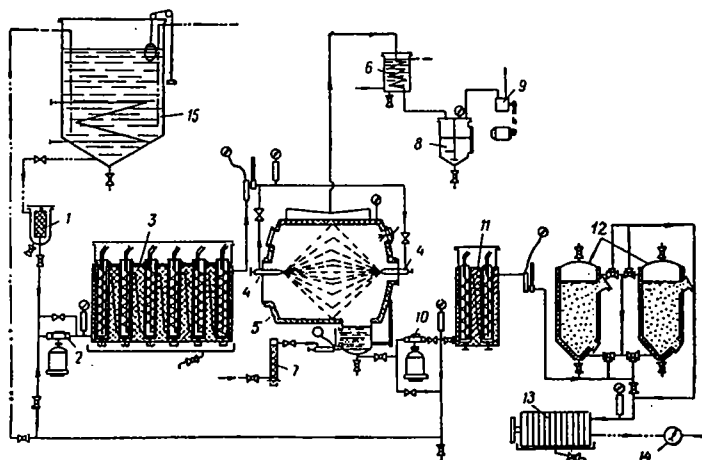


Рис. 15.5. Схема вакуумно-адсорбционной установки УРТМ-200

Процесс включает очистку отработанного масла от крупных частиц на фильтрах грубой очистки, нагревание, распыление с вакуумной сушкой и фильтрацию регенерированного масла. Помимо этих процессов масло подвергается очистке с помощью адсорбентов в адсорберах. Установка может включать специальную емкость-мешалку для стабилизации регенерированного масла антиокислительной присадкой. Комплект оборудования установки УРТМ-200 включает фильтр грубой очистки 1, шестеренные насосы 2 и 10, электропечи 3 и 11, отгонный куб 5 с форсунками 4, холодильник 6, воздушный фильтр 7 (для осушки воздуха), сборник воды 8, вакуумный насос 9, два адсорбера 12, фильтр-пресс 13, маслясчетчик 14 и приемную емкость отработанного масла 15.

Установка УРИМ-0,8 предназначена для очистки собираемых отдельно по маркам отработанных промышленных масел, не содержащих присадок, а также для очистки промывочных жидкостей. Установка состоит из двух блоков: контактирования и фильтрации. Процесс очистки включает фильтрацию отработанного масла с целью очистки от крупных частиц механических примесей, нагревание, промывку водой, отстаивание, коагуляцию, очистку с помощью отбеливающей глины и фильтрацию очищенного масла на фильтр-прессе.

Установка УРМХМ-1,6 (рис. 15.6), разработанная ГАО "Вторнефтепродукт", предназначена для регенерации масел для компрессоров аммиачных холодильных машин.

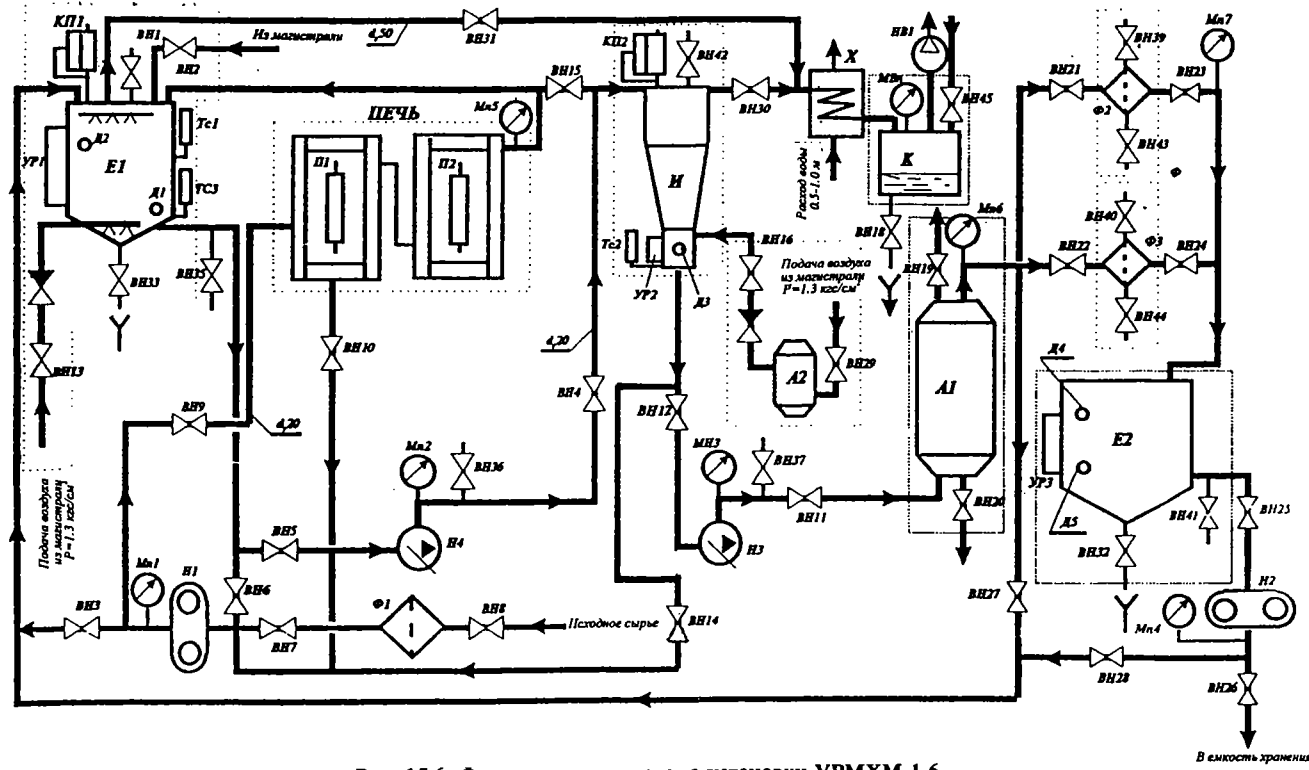


Рис. 15.6. Функциональная схема установки УРМХМ-1,6

Процесс очистки масла на установке УРМХМ-1,6 включает фильтрацию отработанного масла от крупных частиц, нагревание, двукратное промывание водой с целью удаления аммиака, отстаивание, повторное нагревание, испарение воды под вакуумом, адсорбцию и фильтрацию с помощью фильтров тонкой очистки. Установка состоит из мешалки Е1, двух секций электропечи П1 и П2, испарителя И, двух адсорберов А1 и А2, холодильника Х (для конденсации паров воды), сборника конденсата К, сборника чистого масла Е2, фильтров грубой и тонкой очистки Ф1, Ф2 и Ф3, вакуумного насоса НВ1, двух шестеренных насосов Н1 и Н2, двух плунжерных насосов Н3 и Н4, контрольно-измерительных приборов (термометров Тс1, Тс2 и Тс3; датчиков-реле уровня жидкости Д1 – Д5; указателей уровня жидкости УР1, УР2 и УР3; манометров Мн 1-7; мановакуумметра МВН), вентилях ВН1 – ВН45, а также шкафа управления (на схеме не показан).

Установка позволяет получать регенерированные масла марок ХА-23р и ХА-30р, ни в чем не уступающие исходным маслам ХА-23 и ХА-30, а по некоторым показателям и превосходящие их.

В качестве фильтров тонкой очистки на регенерационных установках может использоваться фильтр марки ФОСН-60 (рис. 15.7), представляющий собой цилиндрический сосуд со съёмной крышкой,

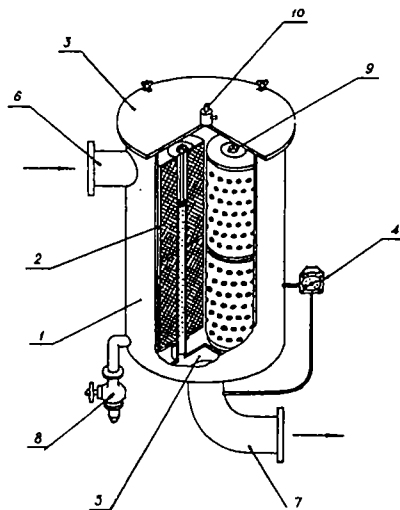


Рис. 15.7. Конструкция фильтра ФОСН-60 для тонкой очистки масла:

1 – корпус; 2 – фильтрующий элемент; 3 – крышка; 4 – манометр; 5 – маслоприемник; 6 – входной патрубок; 7 – выходной патрубок; 8 – патрубок для слива отстоя; 9 – прижимная гайка; 10 – воздушник

имеющий патрубки диаметром 150 мм для подвода и слива масла, а также патрубков меньшего диаметра для слива отстоя.

Масло, поступающее в фильтр для тонкой очистки, нагнетается насосом под давлением 0,6 МПа. В качестве сменных фильтрующих элементов используются фильтрыэлементы Реготмас 561-1 с различной тонкостью фильтрации. В зависимости от марки фильтрыэлемента фильтр обеспечивает тонкость фильтрации от 5 до 60 мкм и пропускную способность от 10 до 90 м<sup>3</sup>/ч соответственно.

Большая фильтрующая поверхность фильтрыэлементов (от 9,4 до 14,3 м<sup>2</sup> в зависимости от марки) обеспечивает значительный ресурс их работы до замены.

В ряде случаев целесообразна очистка сравнительно не-

больших количеств отработанных масел непосредственно на месте образования с целью повторного их использования. Такая очистка целесообразна в тех случаях, когда ресурс работы присадок не выработан, а масло требует только очистки от загрязнений. Для этих целей могут быть использованы малогабаритные передвижные установки небольшой мощности УМЦ-901А и СОГ-904А. Для очистки масел в полевых условиях или в условиях ограниченного пространства может использоваться ранцевая переносная установка на базе гидроочистителя ГЦН-907А, разработанная для угледобывающей промышленности. Масса установки, уместающейся в двух ранцах, составляет 60 кг; установка производительностью 600 л/ч потребляет 2 кВт электроэнергии.

Промышленность выпускает установки для очистки и регенерации отработанных минеральных масел различной производительности, которые могут и должны повсеместно использоваться с целью экономии сырья и защиты окружающей среды.

### 15.7. Утилизация смазочно-охлаждающих жидкостей

На машиностроительных и металлургических предприятиях при обработке и прокатке металла применяются смазочно-охлаждающие жидкости (СОЖ), представляющие собой эмульсии масла в воде. Масляные эмульсии – это коллоидные двухфазные системы, в которых одна жидкость (масло) диспергирована в виде капелек в другой жидкости (воде). Обычно срок службы эмульсий не превышает 1 мес.

Приготовление эмульсии состоит в смешивании масла с водой и эмульгатором. Все масляные эмульсии обладают большой устойчивостью. При обычном отстаивании в течение 3 мес концентрация масла снижается всего на 10 – 20%.

Разрушению эмульсий, т. е. расслоению системы, препятствует упругая оболочка эмульгатора (органической кислоты), молекулы которого ориентированы углеводородным радикалом в сторону частицы масла, а карбоксильной группой – в сторону воды.

Сброс отработанных СОЖ в канализацию наносит вред окружающей среде и расточителен. Утилизация отработанных СОЖ осуществляется путем разрушения эмульсии, разделения ее на компоненты и очистки последних. Содержание масла в СОЖ достигает 50 г/л, а количество СОЖ, подлежащих замене на предприятии, составляет 1 – 300 м<sup>3</sup>/сут. Поэтому регенерация отработанных эмульсий на крупных предприятиях экономически эффективна.

Для разрушения эмульсий применяют следующие методы: центрифугирование, фильтрование, реагентную коагуляцию, термический метод, а также их комбинацию.

В процессе центрифугирования при большой частоте вращения (фактор разделения – не менее 7250) происходит разрушение кол-

лоидной системы, в результате которого масло, имеющее меньшую плотность, чем вода, отделяется от дисперсионной среды. Для облегчения этого процесса в эмульсию добавляют кислоту, в присутствии которой разрушается гидратная оболочка эмульгатора на поверхности частиц масла. Содержание ее в смеси должно обеспечивать pH среды, равный 1 – 2, что требует использования центрифуги в кислотостойком исполнении.

Для фильтрования СОЖ на базе фильтр-пресса ФПАКМ разработан многорунный фильтр типа МБ1 с бумажной лентой, уложенной на латунной сетке, протянутой между фильтрующими плитами. Фильтр МБ1 выпускается с размерами фильтрующих поверхностей 5;

10 и 20 м<sup>2</sup>. Фильтрование проводится под давлением до 0,2 МПа. Управление всеми операциями автоматизировано, но конструкция фильтра допускает работу и в полуавтоматическом режиме.

Реагентная коагуляция заключается в добавлении к эмульсии сернокислого алюминия, хлорного или сернокислого железа в сочетании с известковым молоком или едким натром. Общее количество реагентов 7 – 8 г/л. После разрушения эмульсии вследствие протекания химических реакций в процессе отстаивания минеральные компоненты выпадают в осадок. Образующийся осадок удаляется и утилизируется.

Наиболее эффективны централизованная переработка СОЖ на крупных промышленных установках методом реагентной флотации, а также термические методы утилизации.

Принципиальная схема непрерывной установки по разрушению отработанных СОЖ методом флотации приведена на рис. 15.8.

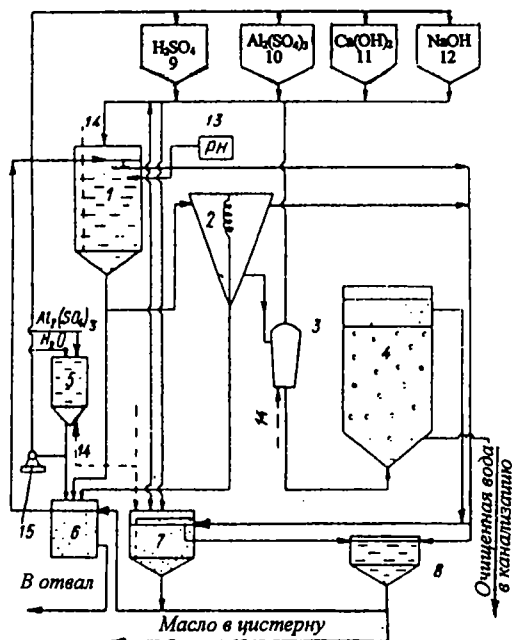


Рис. 15.8. Схема флотационной установки для разрушения СОЖ:

1 – отстойник; 2 – сепаратор; 3 – ресивер; 4 – флотатор; 5 – емкость с коагулянтами; 6 – шламособорник; 7 – сборник пены; 8 – сборник масла; 9 – 12 – дозаторы реагентов; 13 – pH-метр; 14 – сжатый воздух; 15 – насос



При этой технологии основная часть масла (85 – 90%) отделяется уже в центробежном сепараторе 2. Полученное после сепаратора масло может использоваться в качестве топлива или для приготовления свежих эмульсий. Более глубокая очистка эмульсии (точнее – того, что от нее осталось после сепарации) производится во флотаторе 4 с использованием реагентов. Принципиальная схема термической установки обезвреживания СОЖ приведена на рис. 15.9.

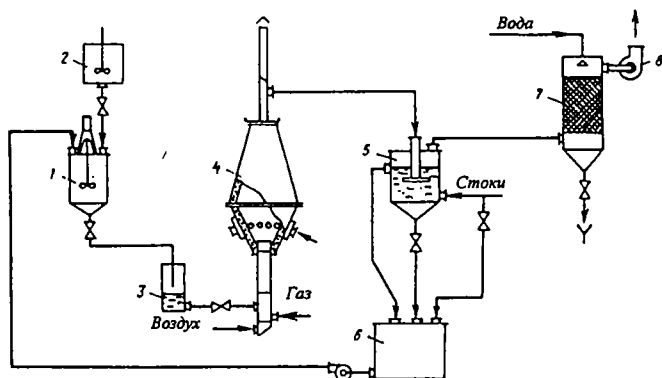


Рис. 15.9. Схема установки для термического обезвреживания СОЖ:

1 – сборник; 2 – мерник ПАВ; 3 – уравнильный сосуд; 4 – парогенераторный реактор; 5 – барботажный аппарат; 6 – сборник стоков; 7 – скруббер; 8 – вентилятор

Принцип действия такой установки состоит во вспенивании эмульсии с помощью ПАВ в сборнике 1 и подаче пены в парогенераторный реактор 4, где она равномерно сгорает при 1500 – 1600 °С. Дымовые газы, проходя через барботажный аппарат 5, отдают тепло для упаривания СОЖ. Конденсация пара, содержащегося в дымовых газах, выходящих из барботажного аппарата 5, производится водой в скруббере 7. Выходящая из него чистая вода подается в систему оборотного водоснабжения. Производительность установки составляет 5 т/ч.

# Глава 16. ПЕРЕРАБОТКА НЕКОТОРЫХ ЖИДКИХ ОТХОДОВ

## 16.1. 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.

При очистке сточных вод гальванического производства методом коагуляции образующиеся шламы содержат в пересчете на сухое вещество, %: 30 – 70 железа, 5 – 10 хрома, 2 – 5 никеля, 1 – 3 кальция, 1– 2 магния и другие элементы.

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 недоступимо 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.

При огневой переработке гальванических шламов температура отходящих газов составляет для различных процессов от 900 до 1600 °С, коэффициент расхода воздуха – от 0,35 до 1,2. Удельная объемная нагрузка реактора составляет около 600 кг/ч шлама на 1 м<sup>3</sup> реактора.

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.

Использование до 10% порошка, полученного в результате сушки шлама, в составе глазури керамических облицовочных плиток позволяет увеличить их глянец. Варку стекла для получения таких плиток производят при 1410 – 1460 °С в слабовосстановительной или окислительной среде.

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.

Весьма перспективны гидрометаллургические методы переработки гальванических шламов, так как они 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 реэкстракцией 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 несомненно 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.

## 16.2. 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 огнем 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 (рис. 16.1).

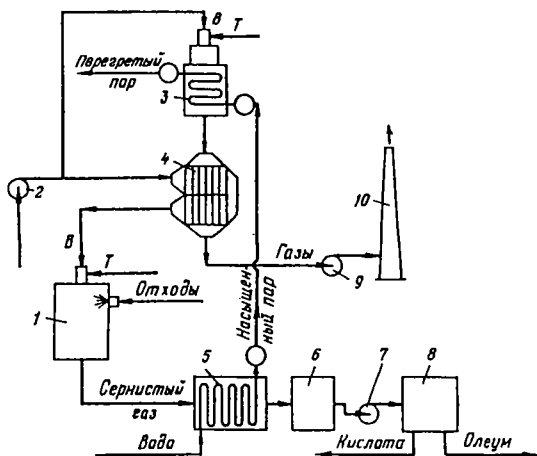


Рис. 16.1. Схема установки для регенерации серной кислоты методом термического расщепления (В – воздух; Т – топливо)

Сернокислотный раствор с помощью форсунок распыляют в потоке продуктов сгорания топлива в огневом реакторе 1. Туда же с помощью вихреподувки 2 подается воздух, предварительно пропущенный через воздухоподогреватель 4. Органические примеси при этом окисляются с образованием  $\text{CO}_2$  и  $\text{H}_2\text{O}$ , а серная кислота расщепляется с образованием  $\text{SO}_2$ . Сернистый газ из огневого реактора поступает в котел-утилизатор 5, а из него – в систему очистки 6, где очищается от пыли, сернокислотного тумана и подвергается сушке, после чего с помощью газодувки 7 подается в узел получения кислоты 8. Насыщенный пар из котла-утилизатора 5 подается в пароперегреватель 3, а оттуда – потребителям. Очищенные дымовые газы с помощью дымососа 9 выбрасываются в атмосферу через дымовую трубу 10.

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.

### 16.3. Переработка отходов растворителей

Многие технологические процессы в промышленности и на транспорте связаны с использованием органических растворителей, которые, выполнив свою роль, уносятся с воздухом вентиляционной системой, загрязняя окружающую среду, либо сливаются в накопители и заменяются на свежие. Общее количество растворителей, ежегодно расходуемых предприятиями страны, приближается к 0,5 млн. т. Все растворители относятся к легковоспламеняющимся жидкостям (ЛВЖ), являющимся пожаро-, взрывоопасными веществами. Их сброс в накопители, унос паров в атмосферу наносят серьезный ущерб окружающей среде.

По степени опасности ЛВЖ делят на три группы (табл. 16.1).

Таблица 16.1.

Температура вспышки ЛВЖ

| Группа опасности ЛВЖ   | Температура вспышки в тигле, °С |          |
|------------------------|---------------------------------|----------|
|                        | закрытом                        | открытом |
| I – особо опасные      | < - 18                          | < 13     |
| II – постоянно опасные | - 18 – 23                       | 13 – 27  |
| III – опасные          | 23 – 26                         | 27 – 66  |

Отходы растворителей необходимо собирать и подвергать утилизации. Однако предприятия далеко не всегда утилизируют растворители, так как по экономическим соображениям не заинтересованы в их повторном использовании. Объясняется это тем, что многие методы регенерации растворителей экономически неэффективны.

В основе рекуперации растворителей лежит адсорбция – поглощение паров вещества пористыми адсорбентами, например углеродными (активными углями) или минеральными (силикагелем). Иногда в качестве поглотителей используют нелетучие жидкости (такой процесс называется абсорбцией). Процесс адсорбции наиболее эффективно происходит, когда размер пор адсорбента в несколько раз превышает размер поглощаемых молекул. Адсорбция резко уменьшается с повышением температуры из-за более энергичного теплового движения газовых молекул. Эта зависимость используется для выделения поглощаемых веществ из адсорбента.

Рекуперация растворителей может быть организована в периодическом и непрерывном цикле. При периодической схеме воздух, содержащий пары растворителя, проходит через неподвижный слой адсорбента, из которого после его насыщения извлекается утилизируемый растворитель.



В непрерывно действующих адсорберах движущийся слой поглотителя последовательно проходит зоны адсорбции и десорбции рекуперационной установки. К преимуществам таких установок относят достаточно высокие скорости обрабатываемых потоков, компактность оборудования, высокий коэффициент использования адсорбентов, сокращение энергозатрат на периодические нагрев и охлаждение адсорбера, возможность автоматизации процесса. Для осуществления непрерывного процесса в адсорберах нового поколения используется адсорбирующая угольная ткань, которая движется перпендикулярно газовому потоку.

Поскольку в промышленности широко распространено использование периодической технологии рекуперации растворителей, ниже рассмотрена работа установки такого типа, используемой в технологии производства поливинилового спирта. В этом производстве используют метанол, этанол, этилацетат, бензин и другие растворители. Суммарное содержание их паров в отходящих газах достигает  $80 - 90 \text{ г/м}^3$ . Учитывая, что объем отходящих газов составляет  $100 - 150 \text{ м}^3/\text{мин}$ , общий объем паров растворителей  $12 - 20 \text{ т/сут}$ . Выброс в атмосферу такого количества растворителей опасен для биосферы, не говоря уже о больших экономических потерях. Поэтому при производстве поливинилового спирта осуществляется рекуперация растворителей. Периодический процесс (рис. 16.2) проводится в четыре стадии: адсорбция, десорбция, сушка и охлаждение.

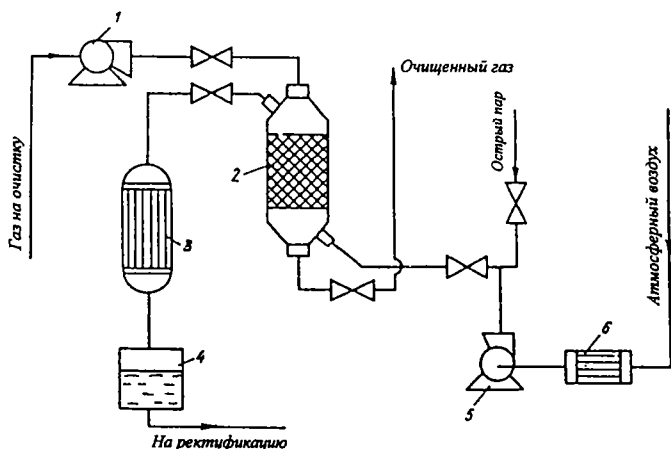


Рис. 16.2. Схема рекуперации растворителей при производстве поливинилового спирта

Паровоздушная смесь с помощью газодувки 1 направляется в адсорбер 2, где проходит через неподвижный слой адсорбента толщиной более  $0,6 \text{ м}$ . Наилучшим адсорбентом для паров и газовых

выбросов является активный уголь. Отечественная промышленность производит несколько марок активных углей: AP-A, AP-B, AP-B.

При прохождении адсорбера пары растворителей адсорбируются на поверхности активного угля, а очищенный воздух выбрасывается в атмосферу. После насыщения адсорбента парами растворителей подача паровоздушной смеси в адсорбер прекращается, и начинается вторая стадия процесса, т. е. десорбция. В адсорбер с помощью газодувки 5 в течение 1,5 – 2 ч подается острый водяной пар с температурой 110 – 115 °С. Десорбируемые пары растворителя вместе с парами воды конденсируются в холодильнике 3, куда они попадают, выйдя из адсорбера. Образовавшийся конденсат стекает в декантатор 4, где происходит расслоение жидкости – смеси растворителей и воды.

Из декантатора вода сливается в обратную систему водоснабжения, а смесь растворителей подается на ректификацию, где происходит их разделение и получение индивидуальных продуктов, используемых повторно в процессе синтеза поливинилового спирта. После завершения десорбции паров растворителей процесс переходит в третью стадию: активный уголь сушат горячим воздухом с температурой 105 – 110 °С, подогрев которого осуществляют в калорифере 6. По окончании сушки в адсорбер подается охлажденный воздух с температурой не более 30 °С и наступает четвертая стадия процесса рекуперации – охлаждение адсорбента.

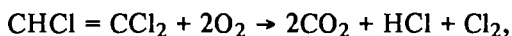
Конечно, процесс рекуперации растворителей экономически оправдан только при большом количестве образующихся отходов, поскольку рекуперационная установка достаточно дорога, а сам процесс длителен и многостадийен. Поэтому он применяется только на тех предприятиях, где образуются значительные количества отработанных растворителей. На предприятиях, где количество образующихся отходов ЛВЖ невелико, преобладает огневой метод их обезвреживания.

Сжигание отходов растворителей должно проводиться либо в специальной установке на территории предприятия, либо по согласованию с местными органами санитарного и пожарного надзора на специально отведенных полигонах. При уничтожении отходов ЛВЖ удобно использовать передвижную турбобарботажную установку "Вихрь". При этом необходимо тщательно соблюдать нормы техники безопасности, так как многие растворители не только легко воспламеняются, но их пары образуют с воздухом взрывоопасные смеси.

Некоторые виды растворителей и других летучих продуктов можно сжигать только на установках с полной очисткой дымовых газов. К ним относятся соединения, содержащие ртуть, свинец, мышьяк, кремний, марганец, фосфор, галогены (хлор, бром, иод, фтор), нитросоединения, амины, цианиды и др.

Поскольку в промышленности широко используются хлорсодержащие растворители, кратко остановимся на особенностях их утилизации. Наибольшее распространение имеют дихлорэтан, четыреххлористый углерод, трихлорэтилен и дихлорпропилен.

При сжигании хлорсодержащих растворителей образуется хлор, являющийся высокотоксичным газом, улавливание которого представляет значительные трудности. Для исключения образования элементарного хлора необходимо сжигать пары таких растворителей совместно с природным газом, что позволит увеличить выход хлористого водорода и, следовательно, товарной соляной кислоты. Это можно проследить на примере сжигания трихлорэтилена. В первом случае, когда сжигание происходит только в среде воздуха, реакция протекает по уравнению:



т. е. в результате реакции образуются и хлористый водород, и чистый хлор.

Во втором случае при сжигании совместно с метаном из одной молекулы трихлорэтилена образуются три молекулы соляной кислоты, а газообразный хлор не выделяется вовсе:



Процесс проводят при температуре 1000 – 1700 °С. Коэффициент избытка воздуха не должен превышать 1,1 – 1,2, так как при большем значении часть газообразного хлора, не превращаясь в HCl, улетает вместе с дымовыми газами. При коэффициенте избытка воздуха более 1,5 образуется чрезвычайно токсичное вещество – фосген (COCl<sub>2</sub>), относящийся к боевым отравляющим веществам. Опасная для жизни концентрация фосгена составляет 450 мг на 1 м<sup>3</sup> воздуха.

Существуют и другие способы утилизации хлорсодержащих растворителей, такие, как ректификация, ионный обмен, адсорбция на молекулярных ситах. Но все они сложны, малопроизводительны и вследствие этого дороги.

## 16.4. Регенерация лакокрасочных материалов

На машиностроительных, судостроительных, электротехнических и других предприятиях широко используются лакокрасочные материалы. Наиболее распространенным способом их нанесения остается распыление из краскопульта в окрасочных камерах. Из этих камер непрерывно отсасывается воздух, который вместе с растворителем уносит в вентиляционную систему и частицы краски. Последние задерживаются на гидрофилтрах – завесах из струй

воды, непрерывно орошающих стенки камер, и стекают вместе с ней в ванну окрасочной камеры. В общей сложности в ванну попадает от 20 до 50% распыляемой краски. Загустевшая краска после очистки ванн является отходом производства и собирается в контейнеры.

Наиболее рационально отходы лакокрасочных материалов подвергать регенерации. Такой опыт их утилизации имеется на большинстве предприятий транспортного машиностроения, где количество образующихся отходов лакокрасочных материалов велико.

Процесс регенерации отходов красок включает сбор и сортировку, нагревание с целью удаления влаги, смешивание с растворителем, диспергирование, очистку, разбавление до заданной вязкости и расфасовку.

Регенерация лакокрасочных материалов может осуществляться по периодической технологии, схематично изображенной на рис. 16.3.

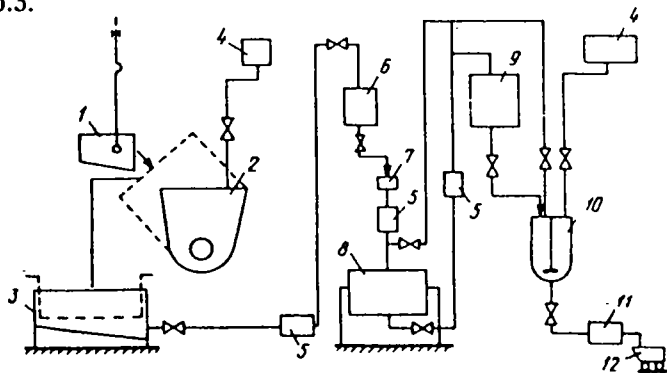


Рис. 16.3. Схема технологического процесса переработки отходов лакокрасочных материалов:

1 - контейнер; 2 - смеситель; 3 - фильтр грубой очистки; 4 - дозатор; 5 - насосы; 6 - диссольвер; 7 - сетчатый фильтр; 8 - шаровая мельница; 9 - бисерная мельница; 10 - мешалка лопастная; 11 - фильтр тонкой очистки; 12 - емкость

Подлежащие регенерации отходы, как правило, находятся в пастообразном или даже твердом состоянии и нуждаются в растворении или разбавлении. Поэтому их вместе с растворителем загружают в смеситель, где перемешивают в течение 4 – 5 ч, в результате чего затвердевшая краска набухает и частично растворяется в растворителе. Полученная смесь пропускается через сетчатый фильтр с размером ячеек  $10 \times 10 \text{ мм}^2$ . Затем очищенная от крупных включений смесь поступает в диссольвер (высокоскоростной смеситель), где в течение 2 – 3 ч происходит диспергирование. Полученную суспензию фильтруют через сетку с размером ячеек  $1 \text{ мм}^2$ . Из диссольвера суспензия насосом перекачивается в шаровую мельни-

цу, где в течение 4 – 8 ч происходит дальнейшее диспергирование краски. Если после этого частицы краски имеют необходимую дисперсность, то она из мельницы поступает в лопастной смеситель, где разбавляется до нужной вязкости растворителем и затем сливается в приемную емкость для последующей расфасовки и упаковки. В том случае если частицы смеси, вышедшей из шаровой мельницы, имеют размер выше допустимого, диспергирование продолжается в бисерной мельнице, где происходит перетирание суспензии в течение 3 – 4 ч до получения заданной дисперсности. Затем производятся разбавление, розлив и упаковка краски.

Ниже приведены сравнительные свойства первичной и регенерированной эмали марки АС-182:

|  | Первичная  | Регенерированная  |
|--|--|---|
| Цвет . . . . .   | Желтый   | Желтый, возможен оттенок                                    |
| Внешний вид пленки   | Однородная, глянцевая, без посторонних включений | Однородная, глянцевая, допускаются незначительные включения |
| Условная вязкость по вискозиметру ВЗ-246 при 20 °С, Ст . . . . . | 80 – 160   | > 40  |
| Блеск пленки по блескомеру, % . . . . .                          | > 50   | > 40  |
| Массовая доля летучих веществ, % . . . . .                       | 52 – 58  | > 40  |
| Укрывистость, г/м <sup>2</sup> . . . . .                         | < 100  | < 60  |
| Прочность пленки при ударе, см . . . . .                         | > 50   | > 50  |

Поступающие на регенерацию отходы красок могут находиться в различном физическом состоянии: от жидкого до твердого, отчего зависят продолжительность переработки и состав используемого оборудования.

Важнейшей операцией процесса регенерации лакокрасочных материалов является диспергирование твердой фазы в растворителе. Поэтому подбору оборудования для этих целей необходимо уделить большое внимание. Для диспергирования наиболее часто используют двухлопастной смеситель с Z-образными лопастями, планетарную мешалку, шнековый смеситель, трехвалковую краскотерку, шаровую и бисерную мельницы, диссольвер. Аппараты смесительного типа используют на начальной стадии регенерации пастообразных и твердых отходов. Мельницы применяют для приготовления из отходов маловязких лакокрасочных материалов.

На рис. 16.4 показан двухлопастной смеситель периодического действия. Выпускаемые аппараты такого типа имеют рабочий объем от 200 до 1000 л. Лопасты смесителя вращаются в противополо-

ложных направлениях с различной скоростью (соотношение скоростей вращения 1:2). Выгрузка пасты после диспергирования производится в специальные емкости, называемые дежами, путем опрокидывания корпуса смесителя, который вращается вокруг оси вала передней лопасти. Корпус смесителя снабжен рубашкой для обогрева.

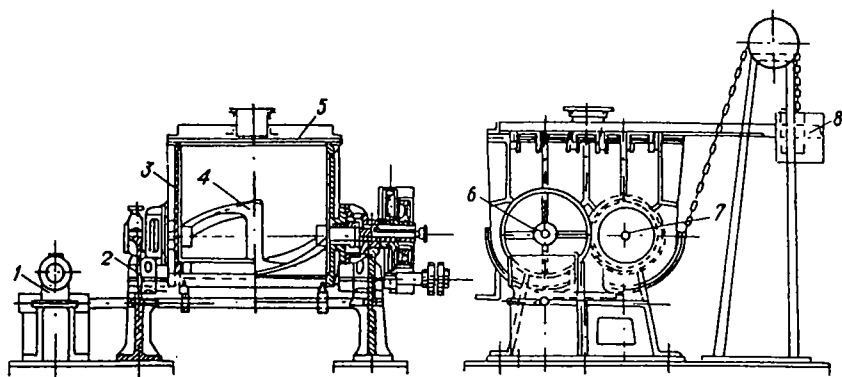


Рис. 16.4. Двухлопастной смеситель с Z-образными лопастями:

1 — привод; 2 — станина; 3 — корпус; 4 — лопасть; 5 — крышка; 6 — вал передней лопасти; 7 — вал задней лопасти; 8 — противовес

Удобны также смесители с вертикальной планетарной мешалкой (рис. 16.5).

Разрушение комков краски в таком смесителе происходит между лопастями вращающихся валов мешалок, причем валы помимо вращения вокруг собственной оси совершают вращение вокруг оси вала редуктора вместе с закрепленной на нем рамой.

На заключительной стадии диспергирования чаще всего применяют бисерные мельницы с вертикальным или горизонтальным расположением рабочей камеры. Эти аппараты имеют большую произво-

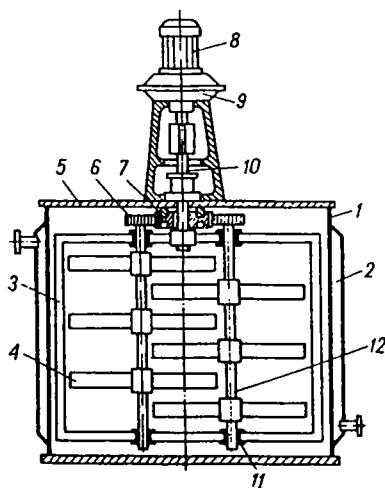


Рис. 16.5. Смеситель с вертикальной планетарной мешалкой:

1 — корпус; 2 — водяная рубашка; 3 — рама; 4 — лопасти; 5 — крышка; 6 — ведомая шестерня; 7 — ведущая шестерня; 8 — электродвигатель; 9 — редуктор; 10 — вал редуктора; 11 — подшипники; 12 — вал мешалки

дительность, обеспечивают высокую дисперсность измельчаемого материала, а следовательно, и высокое качество регенерированной краски. Они просты, надежны и экономичны в эксплуатации. Измельчение в бисерной мельнице осуществляется за счет интенсивного движения краски в смеси с бисером, которое происходит при помощи ротора, на валу которого расположены диски. Скорость вращения ротора достигает  $2000 \text{ мин}^{-1}$ . Оптимальный объем камеры не превышает 150 л у горизонтальных и 300 л у вертикальных мельниц. Мелющие тела (бисер) — изготовленные из стекла или стали шарики диаметром 0,5 – 2 мм. Объемное заполнение камеры бисером составляет 20 – 60% для вертикальных и до 90% — для горизонтальных аппаратов. Производительность бисерных мельниц зависит от конструкции дисков, формы рабочей камеры, скорости вращения ротора, размера и вида материала бисера, степени заполнения камеры и состава измельчаемого материала. Более производительными и менее энергоемкими являются бисерные мельницы с горизонтально расположенной камерой.

Другой важной операцией процесса регенерации лакокрасочных материалов является очистка от частиц, имеющих размер выше допустимого. Для этого используют центрифуги и различные фильтры: сетчатый, плитный, тарельчатый, патронный.

Центрифуги используют главным образом на начальной стадии для предварительного отделения посторонних включений с плотностью более высокой, чем плотность краски. На рис. 16.6 показана конструкция сетчатого фильтра.

В процессе работы сетчатого фильтра осадок на фильтровальной сетке постоянно смывается потоком части отфильтрованной краски (на что расходуется до 15 – 20% отфильтрованной массы), которая подается под давлением через сальниковую муфту и полый вал в паз лопасти.

Тарельчатые фильтры, часто используемые для тонкой фильтрации лакокрасочных материалов, выпускаются с ручной и меха-

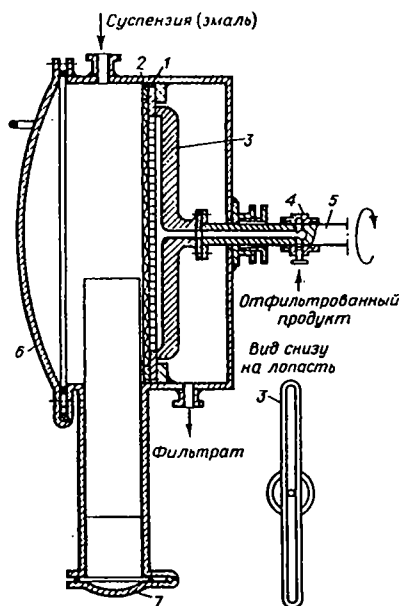


Рис. 16.6. Сетчатый фильтр с непрерывной очисткой сетки:

- 1 — перфорированная перегородка; 2 — фильтровальная сетка; 3 — вращающаяся лопасть; 4 — сальниковая муфта; 5 — вал лопасти; 6 — откидная крышка; 7 — люк для выгрузки отфильтрованной массы

низированной выгрузкой осадка. Фильтровальным материалом в них являются бумага или картон специальных сортов. Фильтры работают под давлением до 0,6 МПа. Поверхность фильтрации может достигать 40 м<sup>2</sup>. Тарельчатые фильтры имеют высокую производительность, но при фильтрации необходимо использовать вспомогательные материалы, которые служат для создания на фильтрующей перегородке слоя, предохраняющего фильтровальный материал от быстрого забивания пор осадком. В качестве таких материалов используют перлит, диатомит и другие инертные вещества. На рис. 16.7 показана конструкция тарельчатого фильтра.

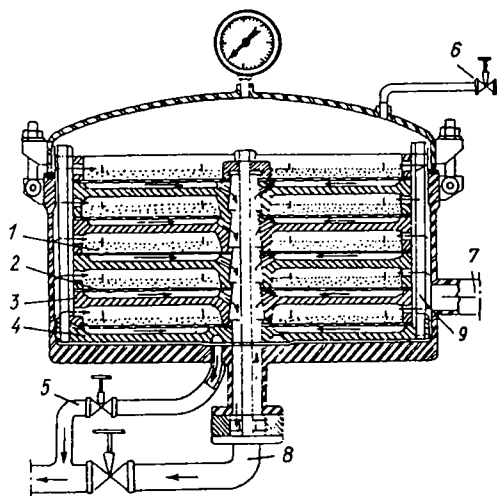


Рис. 16.7. Тарельчатый фильтр с ручной выгрузкой осадка:

1 – фильтровальный материал; 2 – перфорированная пластина; 3 – тарелка; 4 – фильтровальный диск; 5 – труба для фильтрата, прошедшего через диск; 6 – вентиль для подачи воздуха; 7 – патрубок для ввода фильтруемой краски; 8 – сливная труба для очищенной краски; 9 – камера для подачи краски на фильтровальные тарелки

Очистка лакокрасочных материалов в фильтрах различной конструкции происходит, как правило, под давлением, величина которого зависит от свойств и состава фильтруемого материала, а также от конструкции фильтра.

Регенерированные лакокрасочные материалы используются для окраски менее ответственных с точки зрения внешнего вида деталей, а также для нанесения промежуточных слоев краски при многослойном окрашивании. Регенерированные грунтовка и шпатлевка используются по своему прямому назначению.

При регенерации красок необходимо учитывать их химический состав, физические свойства, наличие в рецептуре токсичных и пожароопасных компонентов.

При наличии в краске масел, они не подлежат регенерации, так как получающийся продукт не обладает необходимыми для лакокрасочных материалов свойствами. Краски различных марок и



химического состава после смешивания также практически непригодны для регенерации. Такие отходы подлежат сжиганию или захоронению, что наносит не только экономический ущерб предприятию, но и разрушает окружающую природную среду. Сжигание должно производиться в специальных установках с обезвреживанием дымовых газов и недопустимо на открытом воздухе. Удобно сжигать отходы лакокрасочных материалов в мобильных установках небольшой мощности "Вихрь", о которых говорилось выше. При достаточном количестве отходов возможна утилизация тепла отходящих дымовых газов, а также сбор на фильтрах содержащихся в красках оксидов металлов и других ценных продуктов.

Захоронение отходов красок может производиться только с разрешения соответствующих региональных органов экологического контроля на оборудованных полигонах.

# Глава 17. ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ПЕРЕРАБОТКЕ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОТХОДОВ

Переработка отходов осуществляется с помощью сложных технологических процессов, при этом используемое оборудование и сами отходы могут являться источниками травматизма, профзаболеваний, пожаро- и взрывоопасности и наносить ущерб жизни и здоровью обслуживающего персонала. Поэтому при переработке промышленных отходов требуется тщательное соблюдение как общих, так и специальных правил безопасного ведения работ.

Мероприятия, направленные на обеспечение безопасности при переработке отходов, должны быть предусмотрены в соответствии с ГОСТ 12.3.002-75 на стадии подготовки технологического проекта и разработки конструкторской документации.

При организации работ по утилизации отходов следует учитывать строительные нормы и правила (СНиП), Правила эксплуатации сосудов, работающих под давлением, Правила эксплуатации электроустановок, Правила эксплуатации подъемно-транспортных механизмов и др.

При этом следует руководствоваться правилами охраны труда при использовании химических веществ, при выполнении кузнечно-прессовых работ, а также правилами для машиностроительных предприятий, разработанными Министерством труда и социального развития Российской Федерации.

Наряду с общими мерами безопасного ведения работ при переработке отходов следует предусматривать и специальные меры, характерные именно для этих технологических процессов.

Одно из важных требований, которые следует соблюдать при утилизации отходов, состоит в необходимости их отдельного сбора, хранения, транспортировки и переработки, поскольку некоторые отходы, являясь нетоксичными и непожароопасными, находясь в контакте друг с другом, становятся опасными.

Все поступающие на переработку отходы должны иметь паспорт с описанием природы отхода, его свойств и происхождения, что позволяет принять правильные меры безопасного ведения работ. В частности, в техническом паспорте на отходы должны быть отражены следующие сведения: пожаро- и взрывоопасность, токсичность, стабильность, химическая активность, физико-механические свойства и др.

При сборе и подготовке к переработке отходов цветных металлов следует осуществлять пиротехнический контроль, так как среди таких отходов могут быть стреляные гильзы, патроны, а также самолетный лом и другие пожароопасные материалы.

При утилизации амортизованных автотранспортных средств необходим контроль за наличием в них остатков горюче-смазочных материалов, которые должны быть полностью удалены из расходных емкостей и трубопроводов перед началом работ.

Одной из важнейших операций, используемых при переработке практически всех видов твердых отходов, является измельчение с последующей сортировкой по крупности. Для измельчения применяются различные дробилки и мельницы, а для сортировки – грохоты, большинство из которых являются вибрационными.

При дроблении и сортировке отходов помимо потенциальной опасности от самих отходов значительную опасность для работающих представляет шум. Поэтому при проектировании предприятий по переработке отходов, особенно участков по измельчению и сортировке, необходимо предусматривать в соответствии с ГОСТ 12.1.003–83 "ССБТ. Шум, общие требования безопасности" комплекс мер по снижению шума.

Шум – это хаотическое сочетание звуковых колебаний, различных по интенсивности и частоте. Различают низко-, средне- и высокочастотные шумы. Они оказывают вредное воздействие на организм человека. Длительное воздействие шума приводит к расстройствам нервной системы, нарушению работы сердечно-сосудистой системы, ухудшению слуха, а иногда и полной глухоте. Производственный шум снижает работоспособность, уменьшает производительность труда, является причиной травматизма из-за ослабления внимания работающих.

Шум на рабочем месте не должен превышать предельно допустимых уровней (ПДУ), т. е. ежедневной дозы воздействия, не вызывающей у человека биологических изменений. Предельно допустимые уровни воздействия шума приведены ниже:

|   |       |    |    |    |    |     |      |      |      |      |      |
|---|-------|----|----|----|----|-----|------|------|------|------|------|
| Уровень шума, дБ(А)                         | . . . | 90 | 93 | 96 | 99 | 102 | 105  | 108  | 114  | 117  | 120  |
| Допустимая продолжительность воздействия, ч | . . . | 8  | 4  | 2  | 1  | 0,5 | 0,25 | 0,12 | 0,03 | 0,02 | 0,01 |

Наибольшее снижение уровня шума в помещении достигается при одновременном применении звукоизолирующих, звукопоглощающих, звукоотражающих и вибропоглощающих материалов и конструкций.

Помещения, в которых установлено дробильное оборудование, необходимо отделять от других звукоизолирующими перегородками. Хорошими звукоизолирующими свойствами обладают пористые материалы с замкнутым строением ячеек (пенополиэтилен, ячеистый бетон и др.). В отдельных случаях такое оборудование следует капсулировать в звукоизолирующие кабины, а управление им осуществлять с центрального пульта, удаленного от источника шума на значительное расстояние. Такие помещения необходимо от-

дельвать звукопоглощающими материалами, способными поглощать падающую на них звуковую энергию и преобразовывать ее в тепловую. Звукоизоляционные и звукопоглощающие материалы помимо основных свойств, связанных с их назначением, должны отвечать ряду специфических требований, вытекающих из условий их применения в конкретных конструкциях. Они должны обладать необходимыми прочностными, санитарно-гигиеническими, противопожарными и другими свойствами, перечень и значение которых зависят от условий работы. Хорошими звукопоглощающими свойствами обладают минеральная вата, пенополиуретан с открытыми ячейками, мягкие перфорированные древесно-волоконистые плиты и другие материалы.

В тех случаях, когда применение звукопоглощающих материалов не дает необходимого снижения шума, для защиты рабочих мест следует применять акустические экраны. Такие экраны представляют собой сплошные щиты из твердых материалов (металл, дерево и др.), облицованные со стороны источника шума звукопоглощающим материалом толщиной 50 – 60 мм.

Другим видом негативного воздействия на рабочих, занятых измельчением отходов, является вибрация. Длительное воздействие вибрации на человека приводит к профзаболеваниям: у него изменяется давление, повышается утомляемость, появляется вибрационная болезнь (табл. 17.1). Воздействие вибрации на работающих должно быть ограничено в соответствии с ГОСТ 12.1.012-90 "ССБТ. Вибрационная безопасность. Общие требования".

Таблица 17.1

## Влияние вибрации на человека

| Частота колебаний, Гц | Амплитуда колебаний, мм | Характер воздействия  |
|-----------------------|-------------------------|---|
| 40 – 50               | 0,016 – 0,05            | Нервное возбуждение, депрессия  |
| 40 – 50               | 0,05 – 0,1              | Поражение нервной системы, сердца, органов слуха  |
| 40 – 50               | 0,1 – 0,3               | Образование застойных очагов возбуждения, возможность развития вибрационной болезни         |
| 50 – 100              | 0,1 – 0,3               | Поражение центральной нервной системы, сердца, органов слуха, развитие вибрационной болезни |

Для гашения вибраций и снижения их воздействия применяют меры, предусмотренные ГОСТ 26568-85 "Вибрация. Методы и средства защиты. Классификация". В частности, с этой целью виб-

рационные грохоты подвешивают на пружинах и рессорных амортизаторах, фундаменты дробильного оборудования виброизолируют по всему периметру с тем, чтобы предотвратить передачу виброколебаний через грунт.

Для гашения колебаний оборудования применяют комбинированные амортизаторы, состоящие из стальных пружин и резиновых подкладок, так как пружинные амортизаторы гасят низкочастотные колебания, а резиновые изолируют от высокочастотных колебаний. Хороших результатов удастся достичь путем применения резино-металлических виброопор типа ОВ-31, на базе которых разработаны унифицированные равночастотные виброизоляторы, обеспечивающие виброизоляцию различного стационарного оборудования.

На тонкостенные плоскости оборудования, являющиеся источником шума, наклеивают вибропоглощающие битумные или резиновые накладки. Толщина накладок должна в 2 – 3 раза превышать толщину листа, на который она наклеивается.

Рабочие, занятые обслуживанием дробильного оборудования, должны быть обеспечены индивидуальными средствами защиты слуховых органов в соответствии с ГОСТ 12.4.051-78 "ССБТ. Средства индивидуальной защиты органов слуха. Общие технические требования и методы испытаний", которые могут быть внутренними и внешними. Внутренние средства – это вкладыши из эластичного материала (ваты, поролона), которые располагают в наружной части слухового прохода (например, "беруши"). Более удобны и эффективны озвученные противозумные наушники типа "Мелодия", которые плотно прикрывают ушную раковину и являются акустическим фильтром. Они уменьшают высокочастотный шум, не мешая слышать человеческий голос.

Применение наушников при уровнях шума свыше 130 дБ(А) неэффективно. Для защиты от такого шума выпускают шумозащитные шлемы, плотно облегающие не только околоушную область, но и всю голову.

Сбор, сортировка, транспортировка, хранение, измельчение и другие операции переработки твердых отходов связаны со значительным выделением пыли. Многие виды пыли токсичны, но даже такая, казалось бы, безвредная пыль, как бытовая, приводит к заболеванию аллергией и другими болезнями дыхательных путей. Поэтому содержание пыли в рабочей зоне строго регламентируется.

Снижение содержания пыли в воздухе рабочих помещений до санитарных норм достигается следующими способами:

- \* герметизацией технологического оборудования с применением эластичных прокладок из резины и герметиков;
- \* использованием мокрых процессов дробления и переработки в тех случаях, когда это допустимо по технологии;

- \* сокращением количества перегрузок материалов из одного оборудования в другое;
- \* исключением перепадов высот в расположении зоны выгрузки материала из одной машины и зоны загрузки его в другую установку;
- \* проведением мокрой уборки цехов и оборудования;
- \* организацией общей и местной вентиляции, создающей разрежение воздуха в зоне работы оборудования и в цехе;
- \* созданием водяных завес путем тонкого распыления воды в зонах с особо высоким пылеобразованием, что приводит к локализации пыли в местах ее образования.

Кроме того, используются средства индивидуальной защиты согласно ГОСТ 12.4.041-89 "ССБТ. Средства индивидуальной защиты органов дыхания фильтрующие. Общие требования".

Выделяющиеся при переработке отходов токсичные вещества в виде газов, жидкостей и пыли, попадая в организм работающих, могут стать причиной острых отравлений и хронических профзаболеваний. Степень воздействия токсичных веществ на живой организм зависит от их концентрации в воздухе. Существующие нормы устанавливают предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе. Считается, что при концентрации ниже ПДК вредное вещество не оказывает на работающего какого-либо воздействия даже при его постоянном нахождении на рабочем месте в течение 8 ч в сутки.

В процессе переработки промышленные отходы могут из безопасной формы перейти в опасную, т. е. стать токсичными, пожаро-, взрывоопасными и т. п. Поэтому меры безопасности при работе с отходами необходимо соблюдать на всех стадиях переработки, тщательно проверяя возможность протекания тех или иных процессов с целью выявления веществ и материалов, образующихся при воздействии на отходы.

Потенциальную опасность при различных видах обработки представляют полимерные материалы. Так, некоторые термореактивные полимеры и строительные материалы на их основе (минеральная вата, древесно-стружечная и древесно-волоконистая плиты) представляют опасность, так как выделяющийся при их утилизации газообразный фенол является токсичным. При сжигании поливинилхлоридных материалов (клеенки, обуви, одежды, обивочных искусственных кож, линолеума, некоторых видов обоев и т. д.), возможно выделение хлора, соляной кислоты, диоксинов и других токсичных продуктов. Хлорзамещенные углеводороды разрушают центральную нервную систему. Поэтому их обезвреживание путем сжигания должно проводиться в специальных печах, имеющих устройство для нейтрализации хлора (например, негаше-

ной известью), сбора и утилизации хлористого водорода (соляной кислоты).

При горении полиуретанов в определенных условиях выделяется синильная кислота, являющаяся сильным ядом, поэтому сжигание отходов этих материалов необходимо проводить только в специально приспособленных для этого печах при избытке кислорода, в регламентированных условиях.

Некоторые низкомолекулярные и полиядерные углеводороды, образующиеся при распаде полимеров, являются канцерогенными. Поэтому следует тщательно следить за полнотой сгорания таких отходов при термической утилизации, а также осуществлять жесткий контроль за содержанием токсичных продуктов в воздухе рабочей зоны, чтобы они не превышали ПДК, установленных органами санитарного надзора. Необходимая безопасность обеспечивается соответствующей кратностью обмена воздуха, небольшим разрежением воздуха в рабочей зоне, герметизацией оборудования и другими способами.

Одна из возможных опасностей, возникающих при хранении горючих отходов, — их самопроизвольное возгорание или даже взрывание. Возгорание происходит в результате повышения температуры отходов при их химическом или биологическом разложении, протекающем с выделением тепла. Если масса хранящихся отходов велика, а выделяющееся тепло не отводится (не рассеивается) в окружающую среду, то температура отходов может превысить критическое значение и начнется возгорание. Поэтому органические отходы не следует хранить в больших количествах, особенно в теплых влажных условиях, когда скорость процессов разложения резко возрастает. Массу таких отходов необходимо рассредоточивать, а отходы при необходимости поливать водой во избежание возгорания.

Условия для взрыва возникают при определенных соотношениях горючих газов, выделяющихся при разложении органических отходов, с кислородом воздуха. Поэтому в тех случаях, когда разложение отходов происходит в замкнутых объемах, необходимо строго следить за процессами газообразования с тем, чтобы содержание выделяющегося газа не достигало взрывоопасной концентрации.

Особую опасность представляют отходы, образующиеся при сносе строительных конструкций, имеющих в своем составе асбесто-содержащие материалы (асбоцементные плиты, трубы, шифер и т. п.), поскольку асбестовая пыль способствует возникновению раковых заболеваний. Во многих странах мира приняты законы, запрещающие применение этого материала в строительстве и на транспорте. У нас в стране такого законодательства нет, и асбестовые материалы широко используются в качестве термостойкого, термоизоляционного материала. При переработке строительных от-

ходов, содержащих асбест, необходимо соблюдать меры предосторожности. Основную опасность представляет асбестовая пыль, падающая в легкие при вдыхании загрязненного воздуха. Поэтому необходимо жестко контролировать содержание асбестовой пыли в рабочей атмосфере. Для различных видов асбеста в ряде стран приняты следующие значения ПДК: для хризолита – 12 асбестовых волокон в  $1 \text{ см}^3$  за 10 мин, а для кроцидолита – 0,2 асбестового волокна в  $1 \text{ см}^3$  за 10 мин. Согласно отечественным нормам содержание асбестовой пыли в воздухе рабочей зоны не должно превышать  $2 \text{ мг/м}^3$ .

Реальное содержание асбестовой пыли при разборке строительных конструкций во много раз превышает ПДК. Поэтому прежде всего необходимо установить, какой асбест присутствует в элементах строительных конструкций и машинах. Затем необходимо решить, какой метод защиты следует применить – сухой или мокрый, так как от этого зависит вид защитной одежды и индивидуальных средств защиты органов дыхания. Для защиты от хризолитовой пыли достаточно применять респиратор по ГОСТ 12.4.028–76 "ССБТ. Респираторы ШБ-1 "Лепесток". Технические условия", а в случае кроцидолита необходимо использовать изолирующие дыхательные аппараты: респиратор РМП-62 или противогаз с избыточным давлением.

Строительные конструкции, содержащие асбест, при разрушении необходимо пропитывать водой, обильно поливая их из шланга. Это позволяет значительно уменьшить образование пыли. Капельное орошение водой не так эффективно, как пропитка, хотя тоже несколько снижает содержание пыли в воздухе.

Разобранные конструкции, содержащие асбест, следует сразу помещать в полимерные мешки и удалять к местам складирования или захоронения.

Защитную одежду и респираторы (или противогазы) должны надевать все рабочие, находящиеся в зоне выделения пыли, независимо от вида выполняемой работы. Работы, связанные с пылением асбеста, целесообразно выполнять в то время, когда на рабочей площадке нет рабочих, занятых другими работами.

При транспортировке асбестосодержащих отходов нужно принять меры, исключающие рассеивание асбеста во время погрузки или выгрузки, а также при перемещении отходов. Места захоронения асбестосодержащих отходов должны быть тщательно изолированы и покрыты толстым слоем (не менее 25 см) утрамбованной земли или других уплотненных отходов.

Многие металлы являются опасными для здоровья человека, причем они способны при хранении или переработке переходить из безопасной формы в опасную. Потенциальную опасность представляют ртуть, мышьяк, кадмий, хром, кобальт, медь, никель, цинк и



др. Так, ртуть и ее соединения оказывают сильное отравляющее действие на живые организмы, приводя к психическим, двигательным, неврологическим расстройствам, нарушению деятельности почек, желудочно-кишечным заболеваниям и даже генетическим изменениям. Поэтому необходимо соблюдать осторожность при сборе, хранении, транспортировке и утилизации отработанных люминесцентных ламп, содержащих ртуть, не допуская их разбивания и рассеивания паров ртути в окружающую среду. Содержится ртуть и в батарейках, которые мы не собираем, а выбрасываем в контейнеры бытового мусора.

Свинец, содержащийся в аккумуляторах, которые сегодня очень часто в нашей стране не утилизируются, а выбрасываются в сборники бытовых отходов и затем вывозятся на свалку, также представляет серьезную опасность. Отравление свинцом ведет к нарушению функций головного мозга и снижает сопротивляемость инфекционным заболеваниям, а растворимые соли свинца являются кумулятивными ядами.

Очень ядовитыми являются кадмий и его соединения: они вызывают кровоизлияния, легочные заболевания, отравление, а при больших концентрациях приводят к летальному исходу.

При утилизации отходов растворителей следует помнить, что практически все они относятся к легковоспламеняющимся жидкостям, способным не только к воспламенению, но и к образованию с воздухом взрывоопасных газовых смесей. Кроме того, многие растворители являются токсичными веществами, и их содержание в воздухе не должно превышать ПДК.

При сравнительно небольшом количестве образующихся отходов растворителей их утилизацию проводят путем сжигания. Сжигание должно проводиться либо в специальной установке на территории предприятия, либо по согласованию с местными органами санитарного и пожарного надзора на отведенных полигонах.

Некоторые виды растворителей и других летучих продуктов можно сжигать только на установках с полной очисткой дымовых газов. К ним относятся соединения, содержащие галогены (хлор, бром, иод, фтор), нитросоединения, амины, цианиды и др.

Особую осторожность необходимо проявлять при работе с агрессивными жидкостями, избегая их разбрызгивания и попадания на кожные покровы и слизистую оболочку. Например, при утилизации аккумуляторов содержащуюся в них кислоту следует тонкой струей сливать в воду, непрерывно помешивая образующийся раствор.

В случае попадания агрессивных жидкостей на кожный покров необходимо немедленно обильно промыть его водой, а затем обработать соответствующим раствором (если это кислота, промыть 3 - 5%-ным раствором питьевой соды; если на кожу попала щелочь, промывают 1 - 2%-ным раствором борной кислоты).

При транспортировке отходов необходимо руководствоваться требованиями ГОСТ 12.3.020–80 "ССБТ. Процессы перемещения грузов на предприятиях. Общие требования безопасности". При проведении погрузочно-разгрузочных работ с помощью различных подъемно-транспортных машин и механизмов (кранов, электрокаров, конвейеров и т. д.) следует руководствоваться правилами, установленными ГОСТ 12.3.009–76 "ССБТ. Работы погрузочно-разгрузочные. Общие требования безопасности". В частности, необходима своевременная аттестация оборудования и оснастки, контроль за наличием и незагроможденностью проездов для транспорта и прохода для людей.

Оборудование, используемое при переработке отходов, должно иметь защитные кожухи, сетки, экраны из небьющегося стекла, снабженные блокировкой, обеспечивающей его отключение при их открывании, и не позволяющей включать оборудование при их открытом положении.

Согласно ГОСТ 12.4.011–75 "Средства защиты работающих. Классификация" в тех случаях, когда безопасность рабочего персонала не может быть обеспечена конструкцией оборудования или организацией технологического процесса, необходимо использовать средства индивидуальной защиты, к которым относятся изолирующие костюмы, спецодежда, спецобувь, средства защиты головы, рук, глаз, лица, органов слуха и др.

Рабочие, занятые сбором, транспортировкой и переработкой отходов, должны обеспечиваться индивидуальными средствами защиты в зависимости от вида и состояния отходов на данной стадии технологического процесса.

В качестве спецодежды необходимо использовать в зависимости от условий работы халаты, комбинезоны, фартуки по ГОСТ 12.4.029–76, теплоизолирующие костюмы по ГОСТ 12.4.044–87 и 12.4.045–87. Спецобувь также может быть различной: обычные рабочие ботинки, ботинки с повышенными фрикционными или противоударными свойствами, маслостойкие, кислотостойкие ботинки или сапоги и др. Спецобувь выпускается по ГОСТ 12.4.072–79, 12.4.024–76 и др.

Для защиты рук следует использовать в зависимости от выполняемой работы хлопчатобумажные и резиновые перчатки, брезентовые и утепленные рукавицы, перчатки из искусственной кожи и др.

Для защиты органов дыхания служат противопылевые респираторы различной конструкции и промышленные фильтрующие противогазы, органов слуха – наушники и "беруши", для защиты глаз – очки, выпускаемые по ГОСТ 12.4.001–80, которые могут быть с затемненными стеклами.

Для защиты головы необходимо применять шапочки, косынки, шлемы, а при работе с крупногабаритными тяжелыми отходами – защитные пластмассовые каски по ГОСТ 12.4.128–83 "ССБТ. Каски защитные. Общие технические требования и методы испытаний".

Изложенные меры безопасного ведения работ при сборе, транспортировке и утилизации отходов не являются исчерпывающими, поскольку ассортимент отходов, вовлекаемых в переработку, и используемое при этом оборудование постоянно расширяются. В зависимости от вида отходов и технологии их утилизации может возникнуть необходимость в дополнительных мерах, обеспечивающих безопасность обслуживающего персонала. Такие меры должны разрабатываться в каждом случае с учетом конкретных условий труда и потенциальной опасности перерабатываемых отходов.

# СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

*Абалкина И. Л., Соколов В. И.* Утилизация отходов в США: поиски резервов // США: экономика, политика, идеология. – 1988. – № 7. – С. 78 – 86.

*Абрамов А. А.* Флотационные методы обогащения: Учебник для вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Недра, 1993. – 412 с.

*Александров В. Ю., Кузубова Л. И., Яблокова Е. П.* Экологические проблемы автомобильного транспорта: Аналитический обзор / ГПНТБ СО РАН; Новосибирский обл. комитет по экологии и природным ресурсам. Сер. Экология. Вып. 34. – Новосибирск: ПО "Север", 1995. – 113 с.

*Альтцигер В. С., Красовский В. Н., Меерсон В. Д.* Производство обуви из полимерных материалов. – Л.: Химия, 1987. – 232 с.

*Анахин В. Д., Плисс Д. А., Монахов В. Н.* Вибрационные сепараторы. – М.: Недра, 1991. – 157 с.

*Анненков В. Ф., Гук В. К., Янцов В. М.* Изготовление прессованных деталей и изделий из отходов древесины. – Киев: Техніка, 1986. – 112 с.

*Арбузов В. В.* Композиционные материалы из лигнинных веществ. – М.: Экология, 1991. – 209 с.

*Бабачев Г. Н.* Зола и шлаки в производстве строительных материалов: Пер. с болг. *Л. Шариновой.* – Киев: Будівельник, 1987. – 136 с.

*Балишанская Л. Г., Бобович Б. Б., Замкова В. Н.* Использование отходов искусственных кож и пленочных материалов // Автомобильная промышленность. – 1984. – № 6. – С. 31 – 32.

*Балыбердин В. Н., Никольский В. Г., Аринштейн А. Э.* Диспергаторы для тонкого измельчения полимерных материалов, резин и их композитов // Техника машиностроения. – 1998. – № 4. – С. 94 – 101.

Безопасное обращение с отходами: Сборник нормативно-методических документов / Под ред. *И. А. Копайсова.* – СПб.: РЭЦ "Петрохимтехнология", "Интеграл", "Тема", 1999. – 448 с.

*Бернадинер М. Н., Шурыгин А. П.* Огневая переработка и обезвреживание промышленных отходов. – М.: Химия, 1990. – 304 с.

*Билькенрот К. Д., Кретцшмар О. К., Хайльман М.* Защита мусорных полигонов с помощью озокерита и полимерных силикатов // Российско-германский экологический журнал "Метроном". – 1992. – № 2. – С. 65 – 66.

*Бобович Б. Б.* Переработка промышленных отходов: Учебник для вузов. – М.: "СП Интернет Инжиниринг", 1999. – 445 с.

*Богданов В. В., Христофоров Е. И., Клоцунг Б. А.* Эффективные малообъемные смесители. – Л.: Химия, 1989. – 224 с.

*Болтачева Н. К., Бобович Б. Б.* Листовые и пленочные полимерные формующиеся материалы для интерьера автомобилей: Обзорная информация. – М.: НИИНавтопром, 1984. – 42 с.

*Болтачева Н. К., Бобович Б. Б., Балишанская Л. Г. и др.* Полипропилен, наполненный древесной мукой // Автомобильная промышленность. – 1985. – № 3. – С. 27 – 28.

*Бретшнайдер Б., Курфюст И.* Охрана воздушного бассейна от загрязнений: технология и контроль: Пер. с англ. – Л.: Химия, 1989. – 288 с.

*Вайсберг Л. А.* Проектирование и расчет вибрационных грохотов. – М.: Недра, 1986. – 144 с.

*Веркин Б. И., Назаренко А. П., Солянка В. Ф. и др.* Переработка изношенных покрышек, армированных металлокордом, с помощью криогенной технологии. – Харьков: Физико-технический ин-т низких температур АН УССР, 1987. – 40 с.

*Веселовская Е. В.* Сорбенты на основе промышленных углеродсодержащих отходов / Под ред. *Н. С. Серпокрылова.* – Новочеркасск: Новочеркасский государственный технический университет, 1995. – 90 с.

*Веселовский А. П., Фролов В. Я., Донской А. В.* Электродугоконтактная резка металлов. – СПб.: Энергоатомиздат, 1993. – 124 с.

*Волков А. Ю., Нагорнов В. П.* Переработка промышленных отходов // Автомобильная промышленность. – 1993. – № 5. – С. 32 – 33.

Вторичное использование полимерных материалов / Под ред. Е. Г. Любешкиной. – М.: Химия, 1985. – 192 с.

Вторичные материальные ресурсы легкой промышленности. Оборудование и использование: Справочник. – М.: Экономика, 1983. – 664 с.

Вторичные материальные ресурсы нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности (образование и использование) / Л. В. Жужкова, И. Н. Шимелис, И. Ф. Тетяев и др.: Справочник. – М.: Экономика, 1994. – 142 с.

Вторичные материальные ресурсы цветной металлургии: лом и отходы (образование и использование): Справочник. – М.: Экономика, 1984. – 152 с.

Вторичные материальные ресурсы черной металлургии/ В. Г. Барышников, А. М. Горелов, Г. Ю. Папков и др.: Справочник. – М.: Экономика, 1986. Т. 1. – 229 с.; Т. 2. – 344 с.

Гельвановский М. И., Трофимова И. Н. Экология и ресурсосбережение: наши проблемы и зарубежный опыт // Мировая экономика и международные отношения. – 1991. – № 12. – С. 126 – 137.

Гиндис Я. П. Технология переработки шлаков. – М.: Стройиздат, 1991. – 280 с.

Голуб А. А., Струкова Е. Б. Экономика природопользования. – М.: Аспект Пресс, 1995. – 188 с.

Горловский И. А., Козулин Н. А., Евтюков Н. З. Оборудование заводов лакокрасочной промышленности: Учебн. пособие для вузов. – СПб.: Химия, 1992. – 336 с.

Грейферы канатные для навалочных грузов. Типовые расчеты на прочность: Методика. РД31.46.07–87. – М.: В/О "Мортехинформреклама", 1987. – 144 с.

Донской А. В., Клубникин В. С. Электроплазменные процессы и установки в машиностроении. – Л.: Машиностроение, 1979. – 221 с.

Дорожные одежды с использованием шлаков/ А. Я. Тулаев, М. В. Королев, В. С. Исаев, В. М. Юмашев / Под ред. А. Я. Тулаева. – М.: Транспорт, 1986. – 221 с.

Доусон Г., Мерсер Б. Обезвреживание токсичных отходов: Сокр. пер. с англ. В. А. Овчаренко. – М.: Стройиздат, 1996. – 288 с.

Ерофеев Б. В. Экологическое право России: Учебник. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Ин-т международного права и экономики, 1995. Т. 1. – 352 с.; Т. 2. – 328 с.

Заготовка вторичных черных металлов /Н. Ф. Виноградов, В. Ф. Волобуев, В. М. Комаров и др.: Справ. изд. – М.: Metallургия, 1987. – 360 с.

Кай Крабиль. Очищенный газ с мусорных полигонов становится надежным энергоносителем // Российско-германский экологический журнал "Метроном". – 1992. – № 2. – С. 46 – 47.

Кармазин В. И., Кармазин В. В. Магнитные методы обогащения. – М.: Недра, 1984. – 416 с.

Карпенко И. С. Шлакопемзобетон для ограждающих конструкций. – Донецк: Донбасс, 1990. – 93 с.

Карпов Ю. В., Дворянцева Л. А. Защита от шума и вибрации на предприятиях химической промышленности. – М.: Химия, 1991. – 120 с.

Катасонов В. Ю. Экспорт природных ресурсов из СССР: необходимость новых подходов / В сб. "Экологическое развитие". – М.: Международный центр научной и технической информации. Комиссия по изучению производительных сил и природных ресурсов при Президиуме АН СССР, 1990. – № 1. – С. 46 – 52.

Кириллова Э. И., Шульгина Э. С. Старение и стабилизация термопластов. – Л.: Химия, 1988. – 240 с.

Клушанцев Б. В., Косарев А. И., Муйземек Ю. А. Дробилки. Конструкция, расчет, особенности эксплуатации. – М.: Машиностроение, 1990. – 320 с.

Коган Б. И. Инженерная экология: Энциклопедический словарь-справочник. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 1995. – 102 с.

Койбаш В. А., Резняков А. А. Оборудование предприятий вторичной цветной металлургии. – М.: Metallургия, 1976. – 232 с.

Колобов Г. А., Бредихин В. Н., Чернобаев В. М. Сбор и обработка вторичного сырья цветных металлов: Учебн. для вузов. – М.: Металлургия, 1993. – 289 с.

Коноваленко Н. Г. и др. Повторное использование отходов композиционных материалов на основе АБС-пластиков и ПВХ // Пластические массы. – 1986. – № 3. – С. 38 – 40.

Коробов В. В., Рушнов Н. П. Переработка низкокачественного древесного сырья: проблемы безотходной технологии. – М.: Экология, 1991. – 288 с.

Крапивина С. А. Плазмохимические технологические процессы. – Л.: Химия, 1981. – 248 с.

Криворот А. С. Конструкции и основы проектирования машин и аппаратов химической промышленности. – М.: Машиностроение, 1992. – 400 с.

Лебедев В. Н., Бальчугов Б. А. Изготовление бесцементных строительных материалов на основе утилизации промышленных и коммунальных отходов // Российско-германский экологический журнал "Метроном". – 1993. – № 5 – 6. – С. 55 – 57.

Лебедева Т. М., Шалацкая С. А. Переработка вторичного поливинилхлоридного сырья. Сер. Полимерные материалы и их применение. – Л.: ЛДНТП, 1991. – 23 с.

Лесин А. Д. Современное помольное оборудование. Вибрационные мельницы. – М.: ВНИИЭСМ, 1989. – 97 с.

Ливчак И. Ф., Воронов Ю. В., Стрелков Е. В. Охрана окружающей среды. – М.: Колос, 1995. – 271 с.

Лукьяненко В. М., Таранец А. В. Центрифуги: Справ. изд. – М.: Химия, 1988. – 384 с.

Мазур И. И., Молдаванов О. И., Шишов О. Н. Инженерная экология: Учебн. пособ. для вузов. – М.: Высшая школа, 1996. – Т. 1. – 637 с.; Т. 2. – 655 с.

Макаров В. М., Дроздовский В. Ф. Использование амортизованных шин и отходов производства резиновых изделий. – Л.: Химия, 1986. – 248 с.

Матросов А. С. Управление отходами. – М.: Гардарики, 1999. – 480 с.



Методические рекомендации по применению озонирования и сорбционных методов в технологии очистки воды от загрязнений природного и антропогенного происхождения. – М.: АО "НИИ коммунального водоснабжения и очистки воды", 1995. – 43 с.

Михайлов Г. М., Серов Н. А. Пути улучшения использования вторичного древесного сырья. – М.: Лесная промышленность, 1988. – 224 с.

Надутый В. П., Золотарева В. Л. Полимерные просеивающие поверхности виброгрохотов: Справ. пособие. – М.: Недра, 1993. – 142 с.

Небел Б. Наука об окружающей среде: Пер. с англ. – М.: Мир, 1993. – Т. 1. 424 с.; Т. 2. 336 с.

Ненахов Г. С. Ленточные конвейеры с канатным ставом: Обзор. – М.: ВНИИПИ, 1991. – 80 с.

Новый способ захоронения отходов: Экспресс-инф. "Ресурсосберегающие технологии". – М.: ВИНТИ, 1996. – № 1. – С. 25 – 26.

Оборудование для сжигания отходов в установке с "кипящим" слоем (с выработкой электроэнергии): Экспресс-инф. "Ресурсосберегающие технологии". – М.: ВИНТИ, 1995. – № 2. – С. 22 – 26.

Оборудование, сооружения, основы проектирования химико-технологических процессов защиты биосферы от промышленных выбросов / А. И. Родионов, Ю. П. Кузнецов, В. В. Зенков и др.: Учебн. пособие для вузов. – М.: Химия, 1985. – 352 с.

Объемные питатели: Каталог. – М.: ЦНИИхимнефтемаш, 1984. – 40 с.

Одум Ю. Экология: Пер. с англ. – М.: Мир, 1986. – Т. 1. 328 с.; Т. 2. 373 с.

Орлов Н. С. Ультра- и микрофлотация. Теоретические основы: Текст лекций. – М.: Изд. МХТИ, 1990. – 174 с.

О состоянии окружающей природной среды Российской Федерации в 1998 г.: Гос. доклад / Гос. комитет Российской Федерации по охране окружающей среды. – М.: Гос. центр экологических программ, 1999. – 574 с.

Охрана окружающей среды: Учебник для вузов / С. В. Белов, Ф. А. Барбинов, А. Ф. Козьяков и др. Под ред. С. В. Белова. - 2-е изд. - М.: Высшая школа, 1991. - 318 с.

Очистка промышленных газов от пыли / В. Н. Ужов, А. Ю. Вальдберг, Б. И. Мягков, И. К. Решидов. - М.: Химия, 1981. - 390 с.

Пальгунов П. П., Сумароков М. В. Утилизация промышленных отходов. - М.: Стройиздат, 1990. - 352 с.

Пенная сепарация и колонная флотация / Ю. Б. Рубинштейн, В. И. Мелик-Гайказян, Н. В. Матвеев, С. Б. Леонов. - М.: Недра, 1989. - 304 с.

Переработка использованных минеральных масел // Техника машиностроения. - 1997. - № 3. - С. 57.

Переработка отходов термопластов / Л. М. Варданян, А. Ф. Пиняев, В. И. Жданова и др. Обзор. инф. - М.: НИИТЭИхимпром, 1985. - 50 с.

Переработка шлаков и безотходная технология в металлургии / М. И. Панфилов, Я. Ш. Школьник, Н. В. Орининский и др. - М.: Металлургия, 1987. - 239 с.

Петканова Н. Н., Урумова Д. Г., Чернев В. П. Переработка текстильных отходов и вторичного сырья: Пер. с болг. - М.: Легпромбытиздат, 1991. - 240 с.

Петров В. В. Экологическое право России: Учебник для вузов. - М.: БЕК, 1995. - 557 с.

Полигонные технологии. Краткое техническое изложение. Всемирный фонд ресурсов: Экспресс-инф. "Ресурсосберегающие технологии". - М.: ВИНТИ, 1995. - № 21. - С. 17 - 27.

Полянский И. Ф. Региональная система управления вторичными ресурсами: Сб. "Экологическое развитие". - М.: Международный центр научной и технической информации. Комиссия по изучению производительных сил и природных ресурсов при Президиуме АН СССР, 1992. - № 2. - С. 64 - 72.

Пособие по проектированию полигонов по обезвреживанию и захоронению токсичных промышленных отходов (К СНиП 2.01.28-85). - М.: ЦИТП, 1990. - 45 с.

- Потураев В. Н.* Мельницы самоизмельчения. Киев.: Наукова думка, 1988. – 219 с.
- Правила по охране труда на предприятиях и в организациях машиностроения: ПОТ РО-14000-001-98. – М.: Министерство труда и социального развития РФ, 1998. – 144 с.
- Правила по охране труда при выполнении кузнечно-прессовых работ: ПОТ РМ-003-97 – М.: Министерство труда и социального развития РФ, 1998. – 72 с.
- Правила по охране труда при использовании химических веществ: ПОТ РМ-004-97 – М.: Министерство труда и социального развития РФ, 1998. – 105 с.
- Предельно допустимые концентрации (ПДК) веществ в атмосферном воздухе населенных мест. ГН 2.1.6. 695 – 98. – М.: Минздрав России, 1998. – 201 с.
- Ребрин С. П., Мерсов Е. Д., Евдокимов В. Г.* Технология древесноволокнистых плит, 2-е изд. – М.: Лесная промышленность, 1982. – 272 с.
- Родионов А. И., Клушин В. Н., Торочешников Н. С.* Техника защиты окружающей среды: Учебник для вузов. – М.: Химия. 1989. – 512 с.
- Российский статистический ежегодник: Статист. сб. – М.: Госкомстат России, 1998. – 813 с.
- Россия в цифрах: Краткий статист. сб. – М.: Госкомстат России, 1998. – 427 с.
- Санитарная очистка и уборка населенных мест / *А. Н. Мирный, Н. Ф. Абрамов, Х. Н. Никогосов и др.* – М.: Академия коммунального хозяйства им. Памфилова, 1997. – 314 с.
- Ситтиг М.* Извлечение металлов и неорганических соединений из отходов: Справочник / Пер. с англ. под ред. *Н. М. Эммануэля.* – М.: Металлургия, 1985. – 408 с.
- Смоляницкий Б. З.* Переработка макулатуры. – М.: Лесная промышленность, 1980. – 173 с.
- Соловьев Е. М., Кузнецова И. А., Тигрина О. В.* Оборудование для переработки отходов резиновой промышленности. Сер. ХМ-2 Оборудование для переработки пластмасс и резины: Обзорн. инф. – М.: ЦИНТИхимнефтемаш, 1987. – 36 с.

*Спейшер В. А.* Обезвреживание промышленных выбросов джиганием. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 168 с.

*Спиваковский А. О., Дьячков В. К.* Транспортирующие машины. Учебн. пособ. – М.: Машиностроение, 1983. – 487 с.

Средства защиты в машиностроении: Расчет и проектирование: Справочник / *С. В. Белов, А. Ф. Козьяков, О. Ф. Партолин* и др. – М.: Машиностроение, 1989. – 365 с.

*Стадницкий Г. В., Родионов А. И.* Экология: Учебн. пособ. для вузов. – СПб: Химия, 1996. – 240 с.

*Стахов Е. А.* Очистка нефтесодержащих сточных вод предприятий хранения и транспорта нефтепродуктов. – Л.: Недра, 1983. – 263 с.

*Тарасов Ю. Д.* Загрузочные и разгрузочные устройства ленточных конвейеров. – М.: Недра, 1995. – 202 с.

*Таубер Б. А.* Грейферные механизмы. – М.: Машиностроение, 1967. – 424 с.

Техногенное минеральное сырье России и направления его использования / *Л. А. Крючкова, С. И. Иванков*: Экспресс-информация "Ресурсосберегающие технологии". – М.: ВИНТИ, 1995. – № 20. – С. 2 – 34.

*Тихоцкая И. С.* Япония: проблемы утилизации отходов. – М.: Наука, 1992. – 104 с.

Углеволокнистые адсорбенты / Составители *А. В. Перлин* и др. – М.: НИИТЭхим, 1987. – 33 с.

Утилизация вторичных материальных ресурсов в металлургии / *К. А. Черепанов, Г. И. Черныш, В. М. Динельт* и др.: Учебн. пособ. для вузов. – М.: Металлургия, 1994. – 224 с.

Утилизация материалов на фирме "Мерседес-Бенц" // ATZ. – 1990. – № 12. – Р. 694 – 703; 1991. – № 1. – Р. 40 – 48. (нем.)

Утилизация твердых отходов / Под ред. *Д. Вильсона*: Сокращ. пер. с англ. *Э. Г. Тетерина* и *А. С. Скотникова*. – М.: Стройиздат, 1985. – Т. 1. 336 с. Т. 2. 346 с.

*Фадеева Т. А., Рябикова В. М., Иванова Т. Л., Топоркова Л. В.* Простые методы идентификации полимеров // Пластические массы. – 1986. – № 7. – С. 40 – 42.

*Федоров Ю. М., Иванов В. А.* Гидроразбиватели для целлюлозно-бумажной промышленности. – М.: ЦИНТИхимнефтемаш, 1991. – 51 с.

*Филин В. Я., Акимов М. В.* Современное оборудование для тонкого и сверхтонкого измельчения. – М.: ЦНИИхимнефтемаш, 1991. – 48 с.

*Химики – автолюбителям / Б. Б. Бобович, Г. В. Бровак, Б. М. Бунаков и др.* – 3-е изд. – СПб.: Химия, 1992. – 320 с.

*Чепурных Н. В., Новоселов А. Л.* Планирование и прогнозирование природопользования: Учебн. пособ. – М.: Интерпракс, 1995. – 288 с.

*Чулков П. В., Чулков И. П.* Топлива и смазочные материалы: ассортимент, качество, применение, экономия, экология: Справ. изд. – М.: Политехника, 1996. – 304 с.

*Шабельский В. А., Андреенок В. М., Евтюков Н. З.* Защита окружающей среды при производстве лакокрасочных покрытий / Под ред. *Е. А. Быкова.* – М.: Химия, 1985. – 120 с.

*Шарипов Л. Х.* Технологические схемы и оборудование дробильно-сортировочных предприятий: выбор, расчет: Учебн. пособ. – Воронеж: Изд-во ВГУ, 1996. – 184 с.

*Шварцман Г. М., Щедро Д. А.* Производство древесно-стружечных плит. – 4-е изд. – М.: Лесная промышленность, 1987. – 320 с.

*Шевелев Л. Н., Метушевская В. И.* Влияние подготовки и использования металлолома на развитие мировой черной металлургии. – М.: Металлургия, 1994. – 48 с.

*Шеин В. С., Ермаков В. И., Нохрин Ю. Г.* Обезвреживание и утилизация выбросов и отходов при производстве и переработке эластомеров. – М.: Химия, 1987. – 271 с.

*Шкоропад Д. Е., Новиков О. П.* Центрифуги и сепараторы для химических производств. – М.: Химия, 1987. – 256 с.

*Штарке Л.* Использование промышленных и бытовых отходов пластмасс: Пер. с нем. под ред. *В. А. Брагинского.* – Л.: Химия, 1987. – 176 с.

*Шуберт Г.* Подготовка металлических материалов: Ресурсы, классификация, измельчение / Пер. с нем. – М.: Metallургия, 1989. – 359 с.

Экологическая безопасность России: Материалы Межведомственной комиссии по экологической безопасности (окт. 1993 г. – июль 1994 г.) – М.: Юридическая литература, 1995. Вып. 1. – 224 с.

Экологические проблемы рационального использования смазочных материалов/ *И. Г. Фукс, А. Ю. Евдокимов, В. Л. Лашхи, Ш. М. Сайдахмедов.* – М.: Нефть и газ, 1993. – 164 с.

Экология Москвы/ *Ю. Н. Горшков, Л. И. Конова, М. А. Морозов* и др. – М.: ЛТД, 1995. – 205 с.

Advanced Thermoplastic Composites: Characterization and Processing. Edited by Haus-Henning Kausch in Collaboration with Roger Legres. – Munich, Vienna, New York, Barselona: Hauser Publishers, 1993. – 370 p.

*Ehrig R. J.*, Editor, *Plastics Recycling Products and Processes.* – Munich, Vienna, New York, Barselona: Hauser Publishers, 1992. – 289 p.

Filtration: Priciples a. practices/Ed.: *M. J. Matteson, C. Orr.* - 2 ed., rev. a. expanded. – New York; Basel: Dekker, 1987. – 736 p.

Handbook of separation process technology/Ed.: *R. W. Rousseau.* – New York et al.: Wiley, 1987. – 1010 p.

*H. Siebert.* Economics of the Environment: Theory and Policy, Third Ed. – Berlin, New York, London, Paris, Tokyo etc.: "Springer-Verlag", 1992. – 295 p.

*Kadar P., Walter P. D.* The performance of slag roadblases under accelerated of trafficking results and findings of the Prospect ALF trial. – Vermont South (Victoria), 1989. – 239 p.

*Melvold R. W., Gibson S. C., Scarberry R.* Sorbents for hazardous substance cleanup and control. – Park Ridge (NY): Noyes data corp., 1988. – 153 p.